

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DEL COMPORTAMIENTO DE PÓRTICOS DE CONCRETO REFORZADO CON EL MÉTODO DE LOS ESTIMADORES PUNTUALES**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Fuentes León, Tamara Alejandra  
Zambrano Peña, Gustavo Manuel

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, 2008

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DEL COMPORTAMIENTO DE PÓRTICOS DE CONCRETO REFORZADO CON EL MÉTODO DE LOS ESTIMADORES PUNTUALES**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Angelo Marinilli

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs.:  
Fuentes León, Tamara Alejandra  
Zambrano Peña, Gustavo Manuel  
Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, 2008

## ACTA

El día jueves 29 de Mayo de 2008 se reunió el jurado formado por los profesores

\_\_\_\_\_  
Agustín Mazzeo

\_\_\_\_\_  
Angelo Marinilli

\_\_\_\_\_  
Ricardo Bonilla

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **"EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DEL COMPORTAMIENTO DE PÓRTICOS DE CONCRETO REFORZADO CON EL MÉTODO DE LOS ESTIMADORES PUNTUALES"**. Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Fuentes, Tamara	20	VEINTE
Zambrano, Gustavo	20	VEINTE

Recomendaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

FIRMAS DEL JURADO

\_\_\_\_\_  
*Agustín Mazzeo*

\_\_\_\_\_  
*Angelo Marinilli*

\_\_\_\_\_  
*Ricardo Bonilla*

Caracas, 29 de Mayo de 2008

## **DEDICATORIA**

A mi Dios, por darme la vida y la capacidad de adquirir conocimiento. A mis "viejitos", Gustavo y Lola, por haberme criado y darme el amor y aprendizaje necesarios para ser hoy quien soy. A mi negrita linda, por amarme y estar siempre a mi lado en este camino. A toda mi familia, pilar fundamental en mi formación como persona y futuro ingeniero. Finalmente, a la Universidad Central de Venezuela, por haberme albergado entre sus brazos estos 5 años y dotarme de los conocimientos que el día de mañana plasmaré en mi país.

Gustavo.

Este trabajo de grado lo dedico a ti mi Dios, que me diste la oportunidad de vivir. A mis padres que me formaron con todo el amor, esforzándose cada día para darme una excelente educación. A mi amor por tenerme paciencia, comprenderme y ayudarme, te amo esposito. A mi hermano y a mi amiga Yohanna que me acompañaron en este camino, brindándome su apoyo y sabiduría. Gracias a todos!

Tamara.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro tutor, el profesor Angelo Marinilli, por su paciente y gran dedicación, persona sin la cual no hubiésemos podido realizar este Trabajo Especial de Grado. ¡Machete!.

A la profesora María Itriago, por todo el apoyo a lo largo de Metodología de la Investigación, lo cual nos permitió sentar las bases y fundamentos para nuestro Trabajo Especial de Grado.

A nuestros padres y madres, por el compromiso adquirido con nosotros, siendo co-autores de este trabajo, estando siempre presentes y brindándonos el apoyo necesario.

A la profesora Gabriela Tedesco, por toda la ayuda brindada en cuanto a la redacción y demás detalles básicos para la presentación de este trabajo.

Al Departamento de Ingeniería Vial y a la profesora Celia Herrera, por haberme adoptado en el mismo, lugar donde se materializó gran parte de esta tesis. (Gustavo).

A las aulas de clases, lugar que no llenó de conocimientos y lo largo de esta carrera.

## **RESUMEN**

### **“EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DEL COMPORTAMIENTO DE PÓRTICOS DE CONCRETO REFORZADO CON EL MÉTODO DE LOS ESTIMADORES PUNTUALES”.**

**Br. Tamara Fuentes, Br. Gustavo Zambrano.**

**Tutor Académico: Prof. Angelo Marinilli. Tesis. Caracas, UCV.**

**Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2008.**

Uno de los mayores riesgos potenciales en cuanto a pérdidas humanas y económicas en Venezuela son los eventos sísmicos. Cuando una estructura de concreto armado se ve frente a estas sollicitaciones, las respuestas que se produzcan dependerán de las propiedades mecánicas de la misma.

Existe incertidumbre en el comportamiento sismorresistente de las estructuras de concreto reforzado originada por la variabilidad de algunas propiedades mecánicas, específicamente la resistencia a compresión del concreto ( $f'_c$ ) y la tensión cedente del acero ( $f_y$ ). En este trabajo se realiza un estudio probabilístico mediante el método de la simulación de Monte Carlo y el método de los Estimadores Puntuales con el objetivo de evaluar que tan efectivo es éste último.

Para tal objetivo se seleccionaron 2 (dos) pórticos de concreto reforzado una de ellas provenientes de una edificación ubicada en la Universidad Central de Venezuela y el otro pórtico fue diseñado, considerando dimensiones usuales de instituciones educativas. Cada

uno de los pórticos fue analizado bajo el método estático no lineal (pushover).

Los resultados indican que la variabilidad existente en el esfuerzo cedente del acero y de la resistencia del concreto a compresión afecta el comportamiento resistente tanto de las secciones de vigas y de las columnas presentes en los pórticos analizados. Con estos valores se observó que el método de los Estimadores Puntuales arroja buenos resultados para la estimación de valores medios, ya que los coeficientes de variación son muy bajos, nunca observándose un porcentaje de variación mayor del 12%, con respecto al método de Montecarlo. Al igual que para el cálculo de desviación estándar y coeficientes de variación arroja buenos resultados para realizar una estimación aproximada e inmediata, pues los porcentajes de variación nunca fueron mayores del 30% en estos dos casos.

De esta forma se recomienda el uso del método de los Estimadores Puntuales como un estudio previo de algún análisis de valores, con el fin de ofrecer una visión preliminar del análisis probabilístico.

## ÍNDICE GENERAL

ACTA .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	xiii
LISTA DE GRÁFICOS/FIGURAS .....	xviii
LISTA DE ANEXOS .....	xix
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS .....	xxx
INTRODUCCIÓN.....	1
Etapa I: Recolección.....	1
Etapa II: Selección de estructuras y ejecución del modelado.....	1
Etapa III: Análisis de las estructuras.....	2
Etapa IV: Análisis de resultados.....	2
CAPÍTULO I.....	4
TEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.1 Planteamiento del problema .....	4
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos .....	6

CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Problema sísmico y comportamiento estructural.....	7
2.1.1 Problema sísmico en Venezuela.....	7
2.1.2 Efecto de los sismos sobre las edificaciones. ....	9
2.2 Sistemas estructurales y materiales .....	10
2.2.1 El concreto y sus propiedades.....	10
2.2.2 El acero y sus propiedades.....	12
2.2.3 El concreto reforzado como material constructivo y sus propiedades.....	14
2.2.4 Edificaciones aporticadas de concreto reforzado.....	15
2.2.5 Variabilidad de las propiedades mecánicas del concreto reforzado.....	16
2.3 Métodos de análisis probabilístico .....	17
2.3.1 Métodos probabilísticos. ....	17
2.3.2 Simulación de Monte Carlo.....	17
2.3.3 Método de los Estimadores Puntuales o de Segundos Momentos de Rosenblueth.....	18
2.4 Método de análisis.....	22
2.4.1 Método Estático no Lineal.....	22
2.5 Glosario .....	24

CAPÍTULO III .....	28
MÉTODO .....	28
3.1 Características generales de los pórticos a estudiar .....	29
3.1.1 Pórtico 1 .....	29
3.1.2 Pórtico 2 .....	30
3.2 Consideraciones en el análisis .....	33
3.3 Cargas actuantes .....	33
3.4 Procedimientos y etapas de la investigación .....	39
3.4.1 Recolección .....	39
3.4.2 Procesamiento de la Información .....	43
3.4.3 Análisis de Datos .....	47
3.4.4 Discusión y Conclusiones .....	47
CAPÍTULO IV .....	48
RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	48
4.1 Pórtico 1 .....	49
4.1.1. Valores resistentes para las secciones de vigas. Simulación de Monte Carlo. ....	49
4.1.2 Valores resistentes para las secciones de columnas. Simulación de Monte Carlo. ....	52
4.1.3 Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover). Simulación de Monte Carlo. ....	55
4.1.4 Valores de resistencia para las secciones de vigas. Estimadores Puntuales. ....	58

4.1.5	Valores de resistencia para las secciones de columnas. Estimadores Puntuales. ....	59
4.1.6	Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover). Estimadores Puntuales. ....	60
4.2	Pórtico 2.....	62
4.2.1	Valores de resistencia para las secciones de viga. Simulación de Monte Carlo. ....	62
4.2.2	Valores de resistencia para las secciones de columnas. Simulación de Monte Carlo. ....	64
4.2.3	Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover). Simulación de Monte Carlo.....	66
4.2.4	Valores de resistencia para las secciones de vigas. Estimadores Puntuales.....	70
4.2.5	Valores de resistencia para las secciones de columnas. Estimadores Puntuales. ....	71
4.2.6	Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover). Estimadores Puntuales. ....	72
4.3	Secuencia de Formación de Rótulas Plásticas.....	74
4.4	Cálculo de porcentajes de variación.....	75
4.4.1	Pórtico 1.....	76
4.4.2	Pórtico 2.....	83
CAPÍTULO V.....		90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		90

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS .....	97

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 3.1.Cargas de Entrepiso Pórtico 1. ....	35
Tabla 3.2. Cargas de Techo Pórtico 1. ....	36
Tabla 3.3. Cargas de Entrepiso Pórtico 2. ....	37
Tabla 3.4. Cargas de Techo Pórtico 2. ....	38
Tabla 3.5.Estadísticos aplicados para el Pórtico 1.....	41
Tabla 3.6. Valores de resistencia para el Pórtico 1. Método de Estimadores Puntuales.....	42
Tabla 3.7.Estadísticos aplicados para el Pórtico 2.....	42
Tabla 3.8. Valores de resistencia para el Pórtico 2. Método de Estimadores Puntuales.....	42
Tabla 3.9. Estadígrafo crítico para la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. ....	46
Tabla 4.1. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Simulación de Monte Carlo.....	49
Tabla 4.2. Valores de resistencia para las secciones de viga. Simulación de Monte Carlo.....	50
Tabla 4.3. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Simulación de Monte Carlo.....	51
Tabla 4.4. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia para las secciones de viga. Simulación de Monte Carlo.....	52

Tabla 4.5. Valores de resistencia para las secciones de columnas. Simulación de Monte Carlo. ....	53
Tabla 4.6. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia para las secciones de columnas. Simulación de Monte Carlo. ....	55
Tabla 4.7. Análisis estadístico de valores de salida. Simulación de Monte Carlo. ....	56
Tabla 4.8. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de salida. Simulación de Monte Carlo. ....	57
Tabla 4.9. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Estimadores Puntuales. ....	58
Tabla 4.10. Valores de resistencia para las secciones de vigas. Estimadores Puntuales. ....	59
Tabla 4.11. Valores de resistencia para las secciones de columnas. Estimadores Puntuales. ....	60
Tabla 4.12. Análisis estadístico de valores de salida. Estimadores Puntuales. ....	61
Tabla 4.13. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Simulación de Monte Carlo. ....	62
Tabla 4.14. Valores de resistencia para las secciones de viga. Simulación de Monte Carlo. ....	63
Tabla 4.15. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de entrada. ....	64
Tabla 4.16. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia para las secciones de viga. ....	64

Tabla 4.17. Valores de resistencia para las secciones de columnas. Simulación de Monte Carlo. ....	65
Tabla 4.18. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia para las secciones de columnas. ....	66
Tabla 4.19. Análisis estadístico de valores de salida. Simulación de Monte Carlo.....	67
Tabla 4.20. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover). ....	69
Tabla 4.21. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Estimadores Puntuales. ....	70
Tabla 4.22. Valores de resistencia para las secciones de vigas. Estimadores Puntuales.....	71
Tabla 4.23. Valores de resistencia para las secciones de columnas. Estimadores Puntuales.....	72
Tabla 4.24. Análisis estadístico de valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover). Estimadores Puntuales. ....	73
Tabla 4.25. Porcentaje de variación de la Media. Secciones. ....	76
Tabla 4.26. Porcentaje de variación de la Media. Materiales. ....	77
Tabla 4.27. Porcentaje de variación de la Media. Valores Pushover. ....	77
Tabla 4.28. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Secciones.....	78
Tabla 4.29. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Materiales.....	79

Tabla 4.30. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Valores Pushover. ....	79
Tabla 4.31. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación. Secciones. ....	80
Tabla 4.32. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación. Materiales. ....	81
Tabla 4.33. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación. Valores Pushover. ....	81
Tabla 4.34. Porcentaje de variación de la Media. Secciones. ....	83
Tabla 4.35. Porcentaje de variación de la Media. Materiales. ....	83
Tabla 4.36. Porcentaje de variación de la Media. Valores Pushover. ....	84
Tabla 4.37. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Secciones. ....	85
Tabla 4.38. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Materiales. ....	86
Tabla 4.39. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Valores Pushover. ....	86
Tabla 4.39. (Continuación). Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Valores Pushover. ....	86
Tabla 4.40. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación. Secciones. ....	87
Tabla 4.41. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación. Materiales. ....	87

Tabla 4.42. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación.  
Valores Pushover..... 88

## **LISTA DE GRÁFICOS/FIGURAS**

Figura 2.1. Curva esfuerzo – deformación de Hognestad sin confinamiento.....	10
Figura 2.2. Diagrama esfuerzo-deformación bilineal para acero de refuerzo.....	13
Figura 3.1. Vista general Pórtico 1.....	31
Figura 3.2. Secciones de columnas y vigas Pórtico 1. ....	31
Figura 3.3. Vista general Pórtico 2.....	32
Figura 3.4. Secciones de columnas y vigas Pórtico 2. ....	32
Figura Ilustrativa 3.5. Curva de Pushover. ....	44
Figura Ilustrativa 3.6. Curva bilineal de Pushover.....	45
Gráfico 4.1. Momento último positivo para la viga techo.....	51
Gráfico 4.2. Momento último en la columna piso uno, carga axial 45536kgf. ....	54
Gráfico 4.3. Ductilidad en la viga techo en función del desplazamiento.....	57
Gráfico 4.4. Momento para la viga.....	63
Gráfico 4.5. Desplazamiento máximo en la viga de entrepiso.....	65
Gráfico 4.6. Ductilidad en la viga techo en función del desplazamiento.....	68
Figura 4.1. Secuencia de rotulación del Pórtico 1. ....	74
Figura 4.2. Secuencia de rotulación del Pórtico 2. ....	74

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A.1. Valores $f_c$ y $f_y$ para SIMULACIÓN DE MONTE CARLO .....	98
Anexo A.2. CARGA AXIAL $P = 45536$ kgf. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Piso 1 .....	100
Anexo A.3. CARGA AXIAL $P = 68114$ kgf. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Planta Baja.....	103
Anexo A.4. CARGA AXIAL $P = 45536$ kgf. ESTIMADORES PUNTUALES. Piso 1 .....	106
Anexo A.5. CARGA AXIAL $P = 68114$ kgf. ESTIMADORES PUNTUALES. Planta Baja.....	106
Anexo A.6. FLEXIÓN PURA. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Piso 1 .....	107
Anexo A.7. FLEXIÓN PURA. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Planta Baja....	110
Anexo A.8. FLEXIÓN PURA. ESTIMADORES PUNTUALES. Piso 1 .....	113
Anexo A.9. FLEXIÓN PURA. ESTIMADORES PUNTUALES. Planta Baja.....	113
Anexo A.10. Viga de Techo. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Momento Negativo.....	114
Anexo A.11. Viga de Techo. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Momento Positivo .....	117
Anexo A.12. Viga de Techo. ESTIMADORES PUNTUALES. Momento Negativo.....	120
Anexo A.13. Viga de Techo. ESTIMADORES PUNTUALES. Momento Positivo .....	120

Anexo A.14.Viga de Entrepiso. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Momento Negativo .....	121
Anexo A.15.Viga de Entrepiso. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Momento Positivo. ....	124
Anexo A.16.Viga de Entrepiso. ESTIMADORES PUNTUALES. Momento Negativo.....	127
Anexo A.17.Viga de Entrepiso. ESTIMADORES PUNTUALES. Momento Positivo.....	127
Anexo A.18.Valores de Salida. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Techo .....	128
Anexo A.19.Valores de Salida. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Entrepiso .....	131
Anexo A.20.Valores de Salida. ESTIMADORES PUNTUALES. Techo .....	134
Anexo A.21.Valores de Salida. ESTIMADORES PUNTUALES. Entrepiso .....	134
Anexo A.22. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Superior-Izquierda .....	135
Anexo A.23. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Inferior-Izquierda .....	138
Anexo A.24. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Superior-Derecha.....	141
Anexo A.25. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Inferior-Derecha .....	144
Anexo A.26. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula Superior-Izquierda .....	147

Anexo A.27. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula Inferior-Izquierda .....	147
Anexo A.28. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula Superior-Derecha.....	148
Anexo A.29. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula Inferior-Derecha .....	148
Gráfico A.1. Momento cedente en la columna planta baja, carga axial 68114kgf. ....	149
Gráfico A.2. Curvatura cedente en la columna planta baja, carga axial 68114kgf. ....	149
Gráfico A.3. Momento último en la columna planta baja, carga axial 68114kgf. ....	149
Gráfico A.4. Curvatura última en la columna planta baja, carga axial 68114kgf. ....	149
Gráfico A.5. Momento cedente en la columna piso uno, carga axial 45536kgf. ....	150
Gráfico A.6. Curvatura cedente en la columna piso uno, carga axial 45536kgf. ....	150
Gráfico A.7. Momento último en la columna piso uno, carga axial 45536kgf. ....	150
Gráfico A.8. Curvatura última en la columna piso uno, carga axial 45536kgf. ....	150
Gráfico A.9. Momento cedente en la columna planta baja, flexión pura.....	151

Gráfico A.10. Curvatura cedente en la columna planta baja, flexión pura.....	151
Gráfico A.11. Momento último en la columna planta baja, flexión pura....	151
Gráfico A.12. Curvatura última en la columna planta baja, flexión pura. ..	151
Gráfico A.13. Momento cedente en la columna piso uno, flexión pura. ....	152
Gráfico A.14. Curvatura cedente en la columna piso uno, flexión pura.....	152
Gráfico A.15. Momento último en la columna piso uno, flexión pura.....	152
Gráfico A.16. Curvatura última en la columna piso uno, flexión pura. ....	152
Gráfico A.17. Momento cedente positivo para la viga techo. ....	153
Gráfico A.18. Curvatura cedente positiva para la viga techo. ....	153
Gráfico A.19. Momento último positivo para la viga techo.....	153
Gráfico A.20. Curvatura última positiva para la viga techo. ....	153
Gráfico A.21. Momento cedente positivo para la viga entrepiso. ....	154
Gráfico A.22. Curvatura cedente positiva para la viga entrepiso.....	154
Gráfico A.23. Momento último positivo para la viga entrepiso.....	154
Gráfico A.24. Curvatura última positiva para la viga entrepiso. ....	154
Gráfico A.25. Momento cedente negativo para la viga techo. ....	155
Gráfico A.26. Curvatura cedente negativa para la viga techo.....	155
Gráfico A.27. Momento último negativo para la viga techo. ....	155
Gráfico A.28. Curvatura última negativa para la viga techo.....	155
Gráfico A.29. Momento cedente negativo para la viga entrepiso.....	156
Gráfico A.30. Curvatura cedente negativa para la viga entrepiso. ....	156

Gráfico A.31. Momento último negativo para la viga entrepiso. ....	156
Gráfico A.32. Curvatura última negativa para la viga entrepiso.....	156
Gráfico A.33. Resistencia del concreto ( $f'c$ ).....	157
Gráfico A.34. Tensión cedente del acero ( $f_y$ ). ....	157
Gráfico A.35. Resistencia en la viga techo. ....	157
Gráfico A.36. Desplazamiento máximo en la viga techo.....	157
Gráfico A.37. Desplazamiento cedente en la viga techo. ....	158
Gráfico A.38. Ductilidad en la viga techo en función al desplazamiento. .	158
Gráfico A.39. Resistencia en la viga entrepiso. ....	158
Gráfico A.40. Desplazamiento máximo en la viga entrepiso.....	158
Gráfico A.41. Desplazamiento cedente en la viga entrepiso. ....	159
Gráfico A.42. Ductilidad en la viga entrepiso en función al desplazamiento. ....	159
Gráfico A.43. Rotación cedente - superior derecha en piso uno.....	159
Gráfico A.44. Rotación última - superior derecha en piso uno.....	159
Gráfico A.45. Ductilidad en función a la rotación - superior derecha en piso uno. ....	160
Gráfico A.46. Rotación cedente - inferior derecha en piso uno.....	160
Gráfico A.47. Rotación última - inferior derecha en piso uno.....	160
Gráfico A.48. Ductilidad en función a la rotación - inferior derecha en piso uno. ....	160
Gráfico A.49. Rotación cedente - superior izquierda en piso uno. ....	161

Gráfico A.50. Rotación última - superior izquierda en piso uno.....	161
Gráfico A.51. Ductilidad en función a la rotación - superior izquierda en piso uno. ....	161
Gráfico A.52. Rotación cedente - inferior izquierda en piso uno. ....	161
Gráfico A.53. Rotación última - inferior izquierda en piso uno.....	162
Gráfico A.54. Ductilidad en función a la rotación - inferior izquierda en piso uno. ....	162
Anexo B.1. Valores $f'_c$ y $f_y$ para SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.....	163
Anexo B.2. Condición Balanceada y Flexión Pura. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Columna Piso 1 .....	166
Anexo B.3. Condición Balanceada y Flexión Pura. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Columna Planta Baja .....	169
Anexo B.4. Condición Balanceada y Flexión Pura. ESTIMADORES PUNTUALES. Columna Piso 1 .....	172
Anexo B.5. Condición Balanceada y Flexión Pura. ESTIMADORES PUNTUALES. Columna Planta Baja .....	172
Anexo B.6. Viga de Techo y Entrepiso. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Viga Simétrica .....	173
Anexo B.7. Viga de Techo y Entrepiso. ESTIMADORES PUNTUALES. Viga Simétrica.....	176
Anexo B.8.Valores de Salida. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Entrepiso ...	177
Anexo B.9.Valores de Salida. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Techo.....	180
Anexo B.10.Valores de Salida. ESTIMADORES PUNTUALES. Entrepiso .....	183

Anexo B.11. Valores de Salida. ESTIMADORES PUNTUALES. Techo.....	183
Anexo B.12. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula PB Izquierda .....	184
Anexo B.13. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula PB Derecha .....	187
Anexo B.14. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula P1 Izquierda .....	190
Anexo B.15. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula P1 Derecha .....	193
Anexo B.16. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga Entrepiso-Derecha.....	196
Anexo B.17. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga Entrepiso-Izquierda .....	199
Anexo B.18. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga Techo-Izquierda .....	202
Anexo B.19. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula PB Izquierda.....	205
Anexo B.20. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula PB Derecha .....	205
Anexo B.21. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula P1 Izquierda .....	206
Anexo B.22. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula P1 Derecha .....	206

Anexo B.23. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga Entrepiso-Derecha.....	207
Anexo B.24. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga Entrepiso-Izquierda .....	207
Anexo B.25. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga Techo-Izquierda .....	208
Gráfico B.1. Carga axial en el punto balanceado de la columna planta baja.....	209
Gráfico B.2. Momento en el punto balanceado de la columna planta baja.....	209
Gráfico B.3. Curvatura en el punto balanceado de la columna planta baja.....	209
Gráfico B.4. Compresión pura de la columna planta baja. ....	209
Gráfico B.5. Tracción pura de la columna planta baja.....	210
Gráfico B.6. Momento cedente en la columna piso uno, flexión pura.....	210
Gráfico B.7. Curvatura cedente en la columna piso uno, flexión pura. ....	210
Gráfico B.8. Momento último en la columna piso uno, flexión pura.....	210
Gráfico B.9. Curvatura última en la columna piso uno, flexión pura.....	211
Gráfico B.10. Carga axial en el punto balanceado de la columna piso 1. ....	211
Gráfico B.11. Momento en el punto balanceado de la columna piso uno. ....	211
Gráfico B.12. Curvatura en el punto balanceado de la columna piso uno. ....	211

Gráfico B.13. Compresión pura de la columna piso uno.....	212
Gráfico B.14. Tracción pura de la columna piso uno.....	212
Gráfico B.15. Momento cedente en la columna planta baja, flexión pura.....	212
Gráfico B.16. Curvatura cedente en la columna planta baja, flexión pura.....	212
Gráfico B.17. Momento último en la columna planta baja, flexión pura. ...	213
Gráfico B.18. Curvatura última en la columna planta baja, flexión pura....	213
Gráfico B.19. Momento cedente en la viga. ....	213
Gráfico B.20. Curvatura cedente en la viga.....	213
Gráfico B.21. Momento último en la viga.....	214
Gráfico B.22. Curvatura última en la viga. ....	214
Gráfico B.23. Resistencia del concreto ( $f'_c$ ). ....	214
Gráfico B.24. Tensión cedente del acero ( $f_y$ ).....	214
Gráfico B.25. Resistencia en la viga de techo.....	215
Gráfico B.26. Desplazamiento máximo en la viga de techo. ....	215
Gráfico B.27. Desplazamiento cedente en la viga de techo.....	215
Gráfico B.28. Ductilidad en la viga de techo en función al desplazamiento. ....	215
Gráfico B.29. Resistencia en la viga de entrepiso. ....	216
Gráfico B.30. Desplazamiento máximo en la viga de entrepiso. ....	216
Gráfico B.31. Desplazamiento cedente en la viga de entrepiso .....	216

Gráfico B.32. Ductilidad en la viga de entrepiso en función al desplazamiento. ....	216
Gráfico B.33. Rotación cedente - superior derecha en piso uno.....	217
Gráfico B.34. Rotación última - superior derecha en piso uno. ....	217
Gráfico B.35. Ductilidad en función a la rotación- superior derecha en piso uno. ....	217
Gráfico B.36. Rotación cedente - superior izquierda en piso uno.....	217
Gráfico B.37. Rotación última - superior izquierda en piso uno. ....	218
Gráfico B.38. Ductilidad en función a la rotación - superior izquierda en piso uno. ....	218
Gráfico B.39. Rotación cedente - inferior izquierda en planta baja.....	218
Gráfico B.40. Rotación última - inferior izquierda en planta baja. ....	218
Gráfico B.41. Ductilidad en función a la rotación - inferior izquierda en planta baja. ....	219
Gráfico B.42. Rotación cedente - inferior derecha en planta baja. ....	219
Gráfico B.43. Rotación última - inferior derecha en planta baja. ....	219
Gráfico B.44. Ductilidad en función a la rotación - inferior derecha en planta baja. ....	219
Gráfico B.45. Rotación cedente a la derecha de la viga de entrepiso. ....	220
Gráfico B.46. Rotación última a la derecha de la viga de entrepiso.....	220
Gráfico B.47. Ductilidad a la derecha de la viga de entrepiso en función al desplazamiento.....	220
Gráfico B.48. Rotación cedente a la izquierda de la viga de entrepiso. ....	220

Gráfico B.49. Rotación última a la izquierda de la viga de entrepiso. ....	221
Gráfico B.50. Ductilidad a la izquierda de la viga de entrepiso en función al desplazamiento.....	221
Gráfico B.51. Rotación cedente a la izquierda de la viga de techo. ....	221
Gráfico B.52. Rotación última a la izquierda de la viga de techo.....	221
Gráfico B.53. Ductilidad a la izquierda de la viga de techo en función al desplazamiento. ....	222

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

<b>COL-P1</b>	Columna del primer piso
<b>COL-PB</b>	Columna de planta baja
<b>C.V.</b>	Coefficiente de variación
<b>E</b>	Módulo de Elasticidad
<b><math>f'_c ; f'_c</math></b>	Resistencia a compresión del concreto
<b><math>f_y ; f_y</math></b>	Tensión cedente del acero
<b>K-S</b>	Kolmogorov-Smirnov, prueba de bondad de ajuste
<b>Mu</b>	Momento último o de agotamiento
<b>My</b>	Momento cedente
<b><math>\phi_u</math></b>	Rotación última
<b><math>\phi_y</math></b>	Rotación cedente
<b>S</b>	Desviación estándar de la muestra
<b>VE</b>	Viga de entrepiso
<b>VT</b>	Viga de techo
<b><math>\bar{x}</math></b>	Media aritmética

## **INTRODUCCIÓN**

### **ETAPA I: RECOLECCIÓN.**

La primera etapa de este trabajo consistió en obtener la información necesaria a través de fuentes bibliografía, investigaciones recientes, publicaciones técnicas, normas, entre otros. Esta recopilación tuvo como objetivo la identificación y cuantificación de la variabilidad que se presenta en las propiedades mecánicas del concreto reforzado.

También se identificaron las características del comportamiento sismorresistente de estructuras aporticadas de concreto reforzado.

Las actividades de esta etapa son:

- a. Estudio del comportamiento probabilístico de la resistencia a compresión del concreto  $f_c$  y el esfuerzo cedente del acero  $f_y$ , como propiedades mecánicas que conforman el concreto armado.
- b. Revisión del comportamiento de las secciones de vigas y columnas ante las solicitaciones.
- c. Se seleccionaron las variables con las cuales se trabajarían.

### **ETAPA II: SELECCIÓN DE ESTRUCTURAS Y EJECUCIÓN DEL MODELADO.**

Luego de esa primera etapa de revisión y estudio del tema a desarrollar, se procedió con la selección específica de los pórticos a trabajar, junto con todas sus características de análisis para el modelado.

Esta etapa estuvo conformada por:

- a. Se escogieron los pórticos a estudiar.
- b. Se generaron los valores aleatorios para cada una de las secciones que conforman el pórtico (momentos y curvaturas cedentes y últimas).

### **ETAPA III: ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS.**

Una vez cargada la información de cada una de las variables en el pórtico correspondiente, se procedió a realizar el análisis de la estructura. En esta etapa se tiene:

- a. Se analizó la estructura, aplicando el método estático no lineal (pushover) empleando el programa SAP2000. Versión 11.
- b. Con este programa se pudo obtener las resistencias alcanzadas por la estructura, los desplazamientos máximos, cedentes, rotaciones entre otras variables llamadas variables de salida.
- c. Se observó el comportamiento inelástico del pórtico.

### **ETAPA IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

En esta etapa se procede a identificar, clasificar, procesar y analizar cada una de las variables y valores obtenidos. Esta etapa la conforman los siguientes pasos, los cuales aplican tanto para el método de Monte Carlo como para el Método de Estimadores Puntuales:

- a. Utilizando el programa SPSS for Windows versión 13, se obtuvo los valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación, para cada variable generada aleatoriamente.
- b. Utilizando el programa SPSS for Windows versión 13, se obtuvo los histogramas de frecuencias junto a su distribución normal teórica para los valores generados aleatoriamente.
- c. Utilizando el programa SPSS for Windows versión 13, se obtuvo los valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación, para cada variable obtenida luego del análisis inelástico.
- d. Utilizando el programa SPSS for Windows versión 13, se obtuvo los histogramas de frecuencias junto a su distribución normal teórica para los valores obtenidos luego del análisis inelástico.
- e. Utilizando el programa SPSS for Windows versión 13, se realizaron pruebas de ajustes de Kolmogorov- Smirnov para los valores generados aleatoriamente y los resultados obtenidos de éstos, con el fin de verificar la distribución normal que se propuso inicialmente.

# **CAPÍTULO I**

## **TEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Uno de los mayores riesgos potenciales en cuanto a pérdidas humanas y económicas en Venezuela son los eventos sísmicos. Aproximadamente un 80% de la población vive en zonas de alta amenaza sísmica.

La respuesta de una estructura de concreto armado frente a un sismo determinado dependerá de las propiedades mecánicas de la misma. Éstas son básicamente la resistencia del concreto, resistencia del acero, ductilidad, entre otras.

Debido a la relación que tienen estas propiedades sobre el comportamiento de la estructura es importante señalar que la resistencia del concreto y del acero presenta variaciones por su control de calidad, tanto en obra como en planta de producción. Frecuentemente, la resistencia del concreto fabricado en obra no resulta igual a la de diseño, obteniéndose valores tanto superiores como inferiores. A su vez, desde las plantas siderúrgicas donde se producen barras de acero, que se estiman con una tensión cedente dada, también se observan variaciones.

En vista de lo anterior, surge la necesidad de realizar estudios vinculados al tema, para responder interrogantes como: ¿Cuánto pueden afectar estas variaciones de resistencia el comportamiento sismorresistente

de pórticos de concreto armado? ¿Qué método probabilístico permitirá facilitar el proceso de cálculo para observar las consecuencias estructurales que se podrían generar?

Lo que se busca es evaluar de manera probabilística el comportamiento estructural frente a un evento sísmico, para ello se analizarán pórticos planos de concreto armado, los cuales serán tratados mediante el uso de programas avanzados de computadoras, que permiten simular su comportamiento ante la aplicación de una carga horizontal equivalente a la fuerza producida por un sismo. El conjunto de datos obtenido se interpretará con métodos probabilísticos: Simulación de Monte Carlo y Método de los Estimadores Puntuales; con los cuales se podrán confrontar resultados y definir la eficiencia de uno de ellos que requiere menos análisis en comparación al otro.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar la eficacia del método de los Estimadores Puntuales, frente al método de Simulación de Monte Carlo, para realizar la evaluación probabilística del comportamiento sismorresistente de pórticos de concreto armado.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Seleccionar dos estructuras (pórticos) para estudiar su comportamiento.
2. Presentar la estimación probabilística del comportamiento de los pórticos en estudio a través del Método de Monte Carlo.
3. Presentar la estimación probabilística del comportamiento de los pórticos en estudio a través del Método de los Estimadores Puntuales.
4. Estimar el comportamiento de los pórticos con la ayuda del método estático no lineal, establecido en la norma COVENIN 1756.
5. Contrastar los resultados obtenidos por cada método probabilístico, para definir si el Método de Estimadores Puntuales es tan eficiente como el Método de Monte Carlo.
6. Realizar recomendaciones prácticas según los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Con la finalidad de hacer un compendio breve y preciso de cierta información que permita posicionar al lector de este Trabajo Especial de Grado, se elaboró este marco teórico. La aplicación de métodos probabilísticos en el estudio del comportamiento sismorresistente de las estructuras, requiere el conocimiento de ciertos aspectos fundamentales del análisis estructural, resistencia de materiales y conocimiento de la problemática sísmica del país, motivos por los cuales este marco teórico busca satisfacer estas necesidades.

Para mayor comprensión, el marco teórico se divide en las siguientes partes: Problema sísmico y comportamiento estructural, sistemas estructurales y materiales, métodos de cálculo (tanto estructurales como probabilísticos) y el glosario.

#### **2.1 PROBLEMA SÍSMICO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL**

##### **2.1.1 Problema sísmico en Venezuela.**

Venezuela se encuentra ubicada en el norte de América del Sur y gran parte de su zona costera está en estrecha cercanía con la región interplacas entre la Placa del Caribe y la de América del Sur. Situación que ocasiona que cualquier tipo de liberación de energía por el movimiento o ruptura de alguna de estas fallas pueda producir un evento sísmico. Así mismo, dentro de todo el territorio nacional se encuentran una cantidad

considerable de fallas, siendo las más importantes: Boconó, San Sebastián y El Pilar, las cuales también son responsables de dichos eventos.

Esta problemática se ve mayormente afectada al estudiar los asentamientos poblacionales del país, aproximadamente un 80% de los habitantes se encuentran ubicados en la región Andino-Costera, zona relativamente cerca de las fallas mencionadas, lo cual implica la presencia de cierto nivel de amenaza para los pobladores que allí residen. Haciendo uso del mapa de zonificación sísmica, se puede observar que las aceleraciones del terreno donde habita gran parte de los venezolanos rondan los 0,30g, valor que se debe tomar en cuenta para el diseño sismorresistente según se establece en la norma COVENIN 1756.

Después del terremoto de 1967, el problema sísmico en Venezuela pasó a ser un asunto de prioridad nacional, lo que llevó a la actualización de las normas constructivas (hoy en día normas COVENIN), haciéndolas más restrictivas y detalladas, con la finalidad de producir estructuras capaces de absorber y disipar energía por incursión en el rango de comportamiento inelástico. Hasta la actualidad, estas normas han sido modificadas continuamente basándose en nuevas experiencias adquiridas por el tiempo o por otros eventos sísmicos, lo cual busca estar preparado a la hora de que un nuevo evento sísmico sobrevenga en el territorio nacional.

### **2.1.2 Efecto de los sismos sobre las edificaciones.**

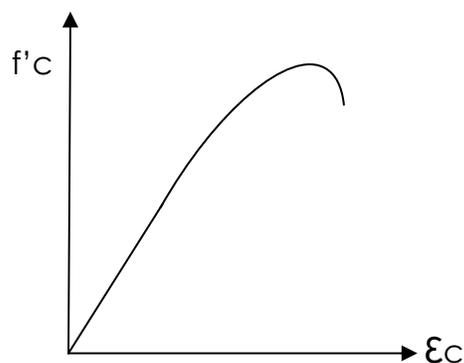
A la hora de un sismo, las edificaciones se encuentran sometidas ante unas sollicitaciones atípicas, en cuanto a lo que sería su día a día, sin embargo, las mismas debieron haber sido diseñadas para estos eventos. Es aquí cuando el comportamiento (elástico o inelástico) de la estructura se ve realmente comprometido. Dependiendo de la magnitud del sismo y del tipo de diseño empleado en la estructura, la misma podría tener un comportamiento elástico, donde la energía del sismo se traduce en deformaciones sobre los elementos, hasta que la energía se ha disipado en su totalidad y la estructura vuelve a su estado original.

Es importante resaltar lo que se espera de una estructura frente a un sismo: inicialmente, lo más idóneo sería un comportamiento que se traduzca en un evento sin pérdidas de vida ni materiales. Sin embargo, cuando la magnitud de la amenaza es tal que la estructura no es capaz de soportar, se busca que la misma falle de tal manera que su colapso no sea de inmediato, sino diferido, el cual permita la evacuación del edificio, salvando vidas, que al fin y al cabo es el mayor valor que allí reside. Esto se traduce en basar el diseño sismorresistente en la producción de una falla dúctil y no frágil.

## 2.2 SISTEMAS ESTRUCTURALES Y MATERIALES

### 2.2.1 El concreto y sus propiedades.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de una muestra de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en  $\text{kgf/cm}^2$ , a una edad de 28 días se le designa con el símbolo  $f'c$ . Para determinar la resistencia a la compresión se realizan pruebas de mortero o de concreto; por lo general, a menos que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. En Venezuela, el ensayo está detallado y normalizado según COVENIN 338 “Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión, de cilindros de concreto”.



**Figura 2.1. Curva esfuerzo – deformación de Hognestad sin confinamiento**

**Fuente: Elaboración Propia.**

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de edificios y otras estructuras. El concreto de uso generalizado tiene una

resistencia a la compresión entre 210 y 350 kgf/cm<sup>2</sup>. Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kgf/cm<sup>2</sup>.

El módulo de elasticidad (E) se puede definir como la relación del esfuerzo normal y la deformación axial correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, E varía entre 140600 y 422000 kgf/cm<sup>2</sup>, y se puede aproximar como 15100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kgf/cm<sup>2</sup>. (Consultado Norma COVENIN 1753).

Los principales factores que afectan a la resistencia son: la relación Agua – Cemento, la edad, el grado al que haya progresado la hidratación y el control de calidad. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero.

Entre el concreto que se produce en las empresas de concreto premezclado y el concreto que finalmente queda colocado en el elemento de la obra, frecuentemente existe una importante variación de la calidad debido a las deficiencias en las prácticas constructivas que alteran negativamente el comportamiento del material en el lugar en donde mejor desempeño debería tener en la estructura.

No sólo eso influye categóricamente en la ejecución de la obra, también los daños causados por el mal uso de vibradores daña el buen

desarrollo de las propiedades del concreto endurecido y su compactado en la estructura.

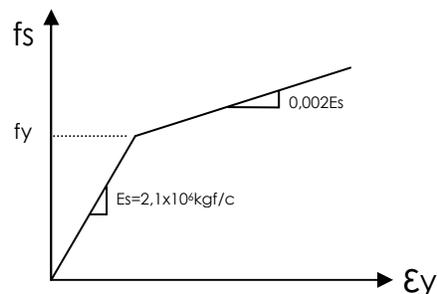
Este cambio en la calidad del concreto colocado afecta de diversas formas a las construcciones: modifica el comportamiento estructural del elemento fabricado con concreto, provocando un cambio en su desempeño, al variar las propiedades mecánicas en diferentes secciones estructurales tales como columnas, vigas y losas; afecta la durabilidad de la estructura al presentar segregación del concreto por mala colocación.

### **2.2.2 El acero y sus propiedades.**

El acero es toda aleación de hierro – carbono, capaz de ser deformado plásticamente; con un porcentaje mínimo y máximo de carbono del orden de 0,008% y 2,0%, respectivamente, pudiendo contener otros elementos de aleación, así como también impurezas inherentes al proceso de fabricación.

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero, debido a que éstas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas: Es un material muy tenaz, relativamente dúctil, es maleable, muy bueno para resistir tracción y compresión, se puede soldar con facilidad.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro. Por ser un material de producción industrializada y controlada, las propiedades estructurales del acero tienen generalmente una variabilidad del orden del 10% para las resistencias y las otras variedades, a pesar de ser un porcentaje bajo resulta importante su estudio.



**Figura 2.2. Diagrama esfuerzo-deformación bilineal para acero de refuerzo**

**Fuente: Elaboración Propia.**

Otra ventaja del acero es que su comportamiento es perfectamente lineal y elástico hasta la cedencia, lo que hace más fácilmente predecible la respuesta de las estructuras de este material. La alta ductilidad del material permite redistribuir concentraciones de esfuerzos. La posibilidad de ser atacado por la corrosión hace que el acero requiera protección y cierto mantenimiento en condiciones ambientales severas. El costo y los problemas que se originan por este aspecto son suficientemente importantes para que incline la balanza hacia el uso de concreto reforzado en algunas estructuras que deben quedar expuestas a la intemperie.

### **2.2.3 El concreto reforzado como material constructivo y sus propiedades.**

Una vez vistas las propiedades mecánicas del concreto y del acero como materiales individuales, es importante señalar cuáles son las propiedades de un elemento estructural diseñado con concreto y acero, mejor conocido como concreto reforzado o concreto armado.

El concreto reforzado es uno de los materiales más populares para el desarrollo de estructuras (edificaciones), ya que se aprovechan en forma muy eficiente las características de buena resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y moldeabilidad del concreto, junto con las de alta resistencia en tensión y ductilidad del acero, para formar un material compuesto que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales.

Para lograr un comportamiento notablemente dúctil en elementos sujetos a flexión, se debe manejar adecuadamente la posición y cantidad del refuerzo. Cuando la falla está gobernada por condiciones de carga tales como cortante, torsión, adherencia y carga axial de compresión, se produce un comportamiento poco dúctil en la estructura, por lo cual se emplea refuerzo transversal en los elementos. Por otro lado, se tiene que el concreto está sujeto a deformaciones importantes por contracción que producen variaciones en las propiedades de rigidez con el tiempo. Todos estos fenómenos se deben considerar en el diseño, tomando las precauciones necesarias en la estructuración y dimensionamiento para evitar fallas en la estructura, por lo cual hay que tener cuidado con la

manera como se emplean estos elementos (concreto y acero) en conjunto y lograr que el comportamiento de la estructura sea el ideal.

#### **2.2.4 Edificaciones aporticadas de concreto reforzado.**

Para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado se trabajará en función de un sistema estructural: pórticos y de un material para su construcción: concreto reforzado. El concreto reforzado constituye el material de construcción mayormente utilizado en Venezuela, el cual reúne lo mejor de dos elementos para conformar uno sólo de un alto desempeño.

El concreto reforzado (conocido comúnmente como concreto armado) está conformado por concreto y acero. El acero se presenta como una armadura de barras de acero (generalmente) y el concreto como un material que recubre dicha armadura y da la forma deseada al elemento estructural. En cuanto a las atribuciones del acero en el concreto reforzado tenemos: principal elemento en absorber el corte y las tracciones del elemento, así como también proporcionar la ductilidad requerida en el elemento, que conlleven a una falla dúctil de producirse la falla del elemento. El concreto será el encargado de proporcionar resistencia en compresión en la dupla concreto-acero.

Desde el punto de vista constructivo y estructural, se puede definir pórtico como un sistema estructural conformado por columnas y vigas. Bajo esta premisa se puede decir que el pórtico más sencillo es aquel producto de la unión de una viga y dos columnas que trabajan de forma

monolítica, donde el punto de unión columna-viga se conoce como nodo. Es de interés este tipo de sistema pues la mayoría de las estructuras que se erigen en el país son aporticadas. Desde el punto de vista sismorresistente, es de gran importancia el conocer este sistema de forma total, pues únicamente de esta manera se podrá simular y lograr materializar los comportamientos deseados a la hora de un sismo.

### **2.2.5 Variabilidad de las propiedades mecánicas del concreto reforzado.**

La variabilidad de las propiedades mecánicas es reducida si se tienen precauciones rigurosas en la fabricación, en cuyo caso son típicos coeficientes de variación de la resistencia en compresión, poco superiores a 10 por ciento. Se tienen dispersiones radicalmente mayores cuando los ingredientes se dosifican por volumen y sin tomar en cuenta la influencia de la humedad y la absorción de los agregados en las cantidades de agua necesarias en la mezcla. Coeficientes de variación entre 20 y 30 por ciento son frecuentes en estos casos para la resistencia en compresión. Una modalidad más refinada del concreto reforzado permite eliminar o al menos reducir, el inconveniente del agrietamiento del concreto que es consecuencia natural de los esfuerzos elevados de tensión a los que se hace trabajar al acero de refuerzo.

Sin embargo la variedad es una realidad y es importante observar y cuantificar el efecto que tiene sobre el comportamiento sismo-resistente de las estructuras.

## **2.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS PROBABILÍSTICO**

### **2.3.1 Métodos probabilísticos.**

Cuando se habla de eventos sísmicos, el uso de métodos probabilísticos cumple con un papel sumamente importante. Es aquí donde especialistas del área proceden a realizar estimaciones y suposiciones que permiten a los profesionales del cálculo estructural y sismorresistente diseñar estructuras capaces de soportar cualquier tipo de suceso a lo largo de la vida del elemento.

### **2.3.2 Simulación de Monte Carlo.**

El algoritmo al que responde la Simulación de Monte Carlo es bastante sencillo:

- 1- Determinar las variables aleatorias a utilizar.
- 2- Determinar la frecuencia acumulada de dichas variables.
- 3- Generar un valor aleatorio entre 0 y 1 el cual permita obtener un valor de la variable aleatoria, determinado gracias a la frecuencia acumulada.
- 4- Repetir el proceso del paso 3 hasta obtener un gran número de resultados.
- 5- Analizar estadísticamente los resultados, obteniendo media, desviación estándar, error, etc.
- 6- Establecer conclusiones en función de los resultados obtenidos.

El mayor problema de la Simulación de Monte Carlo radica en que se debe realizar una cantidad realmente grande de ensayos (dependiendo de lo que se estudia pueden ser más de 100, 1000, etc.) lo cual se traduce en horas hombre-máquina, implicando ciertos gastos económicos.

### **2.3.3 Método de los Estimadores Puntuales o de Segundos Momentos de Rosenblueth.**

Considerando que la Estadística es obtener conclusiones acerca de una característica (o variable aleatoria) de toda una población a partir de los datos de una muestra, es decir, hacer inferencias sobre todos los individuos conociendo sólo lo que ocurre con unos pocos. Para que las conclusiones sean válidas, la muestra que se tome debe ser representativa de la población. Se debe escoger la muestra de manera representativa, es decir, de forma que todos los individuos tengan las mismas oportunidades de ser escogidos. Esto se puede conseguir eligiendo dichos individuos al azar en la población, lo que se denomina habitualmente muestreo aleatorio simple.

Existen tres valores relacionados con las variables aleatorias que interesan especialmente, éstos son: la media poblacional, la desviación típica poblacional y la distribución en la que ocurre el evento en una población.

El objetivo de la estimación puntual es usar una muestra para obtener números que, en algún sentido, sean los que mejor representen a los verdaderos valores de los parámetros de interés.

De lo que expone Roseblueth en su texto se encuentra lo siguiente de manera resumida. Comienza señalando que usualmente es deseable calcular las expectativas de algunos momentos iniciales de una función de variables aleatorias, en términos de algunos momentos iniciales de estas variables. Las fórmulas usuales de aproximación (1) son obtenidas de la expansión de Taylor de la función acerca de las expectativas de las variables aleatorias. Este acercamiento impone restricciones excesivas en la función (existencia y continuidad de la primera o las primeras derivadas) y requiere el cálculo de derivadas. Estas dificultades pueden ser superadas o evitadas a través del uso de puntos de estimación de la función, lo que lleva a expresiones afines de diferencias finitas.

Estimación de dos puntos:

Se toma la variable  $X$  y la variable  $Y$  como variables reales aleatorias y  $Y=Y(X)$  una función con comportamiento sencillo. Dadas las expectativas de  $\bar{x}$ , la desviación estándar  $\sigma_x$ , y un coeficiente de variación (C.V.) de  $X$  buscamos expresiones aproximadas para los momentos de distribución de  $Y$ . La expresión debe ser válida para todas las distribuciones de  $X$  teniendo los parámetros dados y debe ser exacta para los primeros 3 momentos de  $Y$  cuando  $Y=X$ . Se escogen las funciones de densidad de probabilidad  $P_+$   $\delta(\bar{x}-x_+)$  y  $P_- \delta(\bar{x}-x_-)$ , donde  $P_+$  y  $P_-$  son coeficientes,  $\delta$  el delta Dirac y  $x_+$  y  $x_-$  son valores específicos de  $X$ . La función de densidad consiste entonces en

concentraciones  $P_+$  y  $P_-$  en  $X_+$  y  $X_-$ , respectivamente. Se comporta de esa manera cuando Y admite una expansión de Taylor alrededor de  $\bar{x}$ ,

$$E(Y^n) \doteq P_+ Y_+^n + P_- Y_-^n \quad (1)$$

Donde:

$E(.)$ = expectativa = significa "igual a, excepto para los términos de orden superior".

$Y_{\pm} = Y(X_{\pm})$ , y n es un numero real. Cuando Y no admite tal expansión, el signo  $\doteq$  deberá ser reemplazado por  $\approx$ . De la ecuación (1) se puede computar parámetros de la distribución de Y.

$P_+$  y  $X_+$  deben satisfacer las siguientes ecuaciones simultáneas para cumplir con las siguientes condiciones,

$$P_+ + P_- = 1 \quad (2)$$

$$P_+ X_+ + P_- X_- = \bar{X} \quad (3)$$

$$P_+(X_+ - \bar{X})^2 + P_-(X_- - \bar{X})^2 = \sigma_X^2 \quad (4)$$

$$P_+(X_+ - \bar{X})^3 + P_-(X_- - \bar{X})^3 = V_X^3 \sigma_X^3 \quad (5)$$

Cuya solución es:

$$P_+ = \frac{1}{2} \left[ 1 \mp \sqrt{1 - \frac{1}{1 - (\frac{V_X}{\bar{X}})^2}} \right] \quad (6)$$

$$P_- = 1 - P_+ \quad (7)$$

$$X = \bar{X} \mp \sigma_X \sqrt{(P_+ / P_-)} \quad (8)$$

En la ecuación [6] el signo precediendo al radical es el de  $-Vx$ . Para  $Vx \ll 1$ ,  $P_{\pm} = \frac{1}{2} - \frac{Vx}{4}$ .

Cuando  $Vx$  es desconocido, puede ser asumido como nulo. Entonces  $P_{\pm} = \frac{1}{2}$  y  $x_{\pm} = \bar{x} \pm \sigma x$ . Parte de la ecuación (1) que, en este caso (2)

$$\bar{Y} \doteq \frac{Y+Y}{2} \quad (9)$$

$$\sigma y \doteq \left| \frac{Y-Y}{2} \right| \quad (10)$$

$$V y \doteq \left| \frac{Y-Y}{Y+Y} \right| \quad (11)$$

Donde  $V =$  al coeficiente de variación. Cuando las 2 primeras derivadas de  $Y(x)$  existen y son continuas en la proximidad de  $\bar{x}$ , la ecuación 9 constituye una aproximación de segundo orden mientras que las ecuaciones 10 y 11 son de primer orden. A través de la expansión de Taylor de  $Y$ , las expresiones usuales para  $\bar{Y}$  y  $\sigma y$  son obtenidas en término de las dos primeras derivadas de  $Y$  en  $\bar{x}$  (1). Ambos grupos de aproximación mantienen resultados idénticos excepto por los términos de orden superior; pero las ecuaciones 1,9-11 no requieren del cálculo de derivadas, ni siquiera su continuidad o su existencia. Sin embargo, los resultados son pobres para las funciones discontinuas  $Y(x)$  y para las funciones con discontinuidades en sus primeras derivadas.

## **2.4 MÉTODO DE ANÁLISIS**

### **2.4.1 Método Estático no Lineal.**

Para realizar el estudio del comportamiento de los pórticos a trabajar se usará un análisis no lineal; ya que el análisis lineal asume que la relación entre cargas y desplazamientos resultantes son proporcionales; es decir, cumple con el principio de superposición. Sin embargo la realidad es otra; todas las estructuras de concreto armado se comportan de forma no lineal a partir de cierto nivel de la carga.

Una situación donde se pueden presentar problemas de no linealidad es la siguiente:

“Análisis No Lineal por el Material: esta situación ocurre cuando el material no sigue la Ley de Hook, es decir, las tensiones no son directamente proporcionales a las deformaciones. Ciertos materiales se comportan linealmente sólo si las deformaciones son muy pequeñas, otros materiales en cambio siguen comportamientos completamente diferentes. Existen diferentes factores causantes del comportamiento no lineal del material, por ejemplo la dependencia de la curva de tensión-deformación del material de la historia de cargas (como en los problemas con plasticidad), la duración de la carga o la temperatura (problemas termo-plásticos). Un ejemplo de comportamiento no lineal por el material es la formación de rótulas plásticas en vigas y columnas.

Por todo esto se busca el procedimiento más idóneo que satisfaga el análisis no lineal de la estructura y que aún así no se salga de los parámetros que establecen las normas. Para ello se requiere del “Procedimiento o Método de análisis estático inelástico” que establece la norma COVENIN 1756:2001 (comentarios C-9.9). La cual señala lo siguiente: “Este procedimiento permite la obtención de índices del valor de ductilidad global y/o factor de reducción de respuesta en función de las características mecánicas de los miembros diseñados con diagramas de restitución adecuado (según modelo estructural). Se considera que pueden obtenerse buenos resultados mediante la aplicación de fuerzas de piso, monotónicamente crecientes, proporcionales a las que se obtienen con la aplicación del Método Estático Equivalente hasta valores que definan sucesivamente la resistencia global y cedente, la sobrerresistencia sin excesiva degradación y quizás el nivel de inestabilidad.

Este procedimiento, conocido también por la denominación en inglés de “pushover analysis”, se considera de carácter auxiliar y puede resultar de interés para examinar hipótesis de comportamiento de estructuras no tipificadas. Por los momentos, no se considera un procedimiento aceptable para diseñar una estructura mediante su única aplicación, pues varias características de sus resultados necesitan validación y establecimiento de controles. En la propuesta de cambios para las 2000-NEHRP-Provisions (BBSC, 2000) se proponen especificaciones normativas a título tentativo en un apéndice, ante la carencia de consenso actual respecto al control de desplazamientos y a la relación entre las fuerzas de diseño y las obtenidas en el análisis. Sin embargo, es previsible que, añadiendo una serie de controles adecuados, este método

resulte idóneo y práctico para el análisis de las estructuras con sistemas de reducción de la respuesta sísmica, tales como sistemas de aislamiento o sistemas con amortiguadores.”[2]

## **2.5 GLOSARIO**

**ACCIÓN SÍSMICA.:** Acción accidental debida a la ocurrencia de sismos, la cual incorpora los efectos traslacionales y los rotacionales respecto al eje vertical. (COVENIN 1756).

**ACERO:** es toda aleación de hierro – carbono, capaz de ser deformado plásticamente; con porcentajes mínimo y máximo de carbono del orden de 0,008% y 2,0%, respectivamente, pudiendo contener otros elementos de aleación, así como también impurezas inherentes al proceso de fabricación. (COVENIN 803)

**CEDENCIA:** Condición del sistema resistente a sismos, caracterizada por aumentos considerables de los desplazamientos, para pequeños incrementos del cortante basal. (COVENIN 1756)

**CONCRETO:** mezcla de cemento Pórtland o de cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos, que mediante la hidratación del cemento adquiere consistencia pétreo. (Porrero, 2004)

**CONCRETO ARMADO:** concreto que contiene el refuerzo metálico adecuado, diseñado bajo la hipótesis que los dos componentes actuarán

conjuntamente para resistir las solicitaciones a las cuales está sometido. (COVENIN 2004).

**DISTRIBUCIÓN NORMAL:** También llamada distribución de Gauss o distribución gaussiana, es la distribución de probabilidad que con más frecuencia aparece en estadística y teoría de probabilidades. Esto se debe a dos razones fundamentalmente:

1. Su función de densidad es simétrica y con forma de campana, lo que favorece su aplicación como modelo a gran número de variables estadísticas.
2. Es, además, límite de otras distribuciones y aparece relacionada con multitud de resultados ligados a la teoría de las probabilidades gracias a sus propiedades matemáticas.

La función de densidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Donde  $\mu$  (M) es la media y  $\sigma$  (sigma) es la desviación estándar ( $\sigma^2$  es la varianza). [7]

**FUERZAS SÍSMICAS:** Fuerzas externas, capaces de reproducir los valores extremos de los desplazamientos y las solicitaciones internas causadas por la excitación sísmica actuando en el nivel de base. (COVENIN 1756).

**LEY DE HOOKE:** La ley de elasticidad de Hooke o ley de Hooke, originalmente formulada para casos de estiramiento longitudinal,

establece que la deformación  $\epsilon$  de un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada  $F$ :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{AE}$$

Donde  $\Delta L$ : alargamiento longitudinal,  $L$ : Longitud original,  $E$ : módulo de Young o módulo de elasticidad,  $A$  sección transversal de la pieza estirada. La ley se aplica a materiales elásticos hasta un límite denominado límite de elasticidad. (Wikipedia)

MÉTODO ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER): constituye un método que propone la norma COVENIN 1756, que permite obtener información sobre los mecanismos de falla, las demandas locales y globales de ductilidad, y la identificación de zonas críticas. Se vale de una distribución de cargas estáticas laterales que actúan de forma monotónica y creciente, hasta alcanzar el agotamiento o falla de la estructura. La estructura se modela considerando un comportamiento inelástico representativo de sus características mecánicas.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES: En ingeniería, las propiedades mecánicas de los materiales son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otros, desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales en ingeniería, también hay que tener en cuenta el comportamiento que puede tener un material en los diferentes procesos de mecanizados que pueda tener. Entre estas características mecánicas y tecnológicas destacan:

Resistencia a esfuerzos de tracción, compresión, flexión y torsión, así como desgaste y fatiga, dureza, elasticidad, tenacidad, fragilidad, cohesión,

plasticidad, ductilidad, maleabilidad, porosidad, magnetismo, las facilidades que tenga el material para soldadura, mecanizado, tratamiento térmico así como la resistencia que tenga a los procesos de oxidación, corrosión.

**PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV:** En estadística, la prueba de Kolmogorov-Smirnov (también prueba K-S) es una prueba no paramétrica que se utiliza para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí. (Wikipedia)

**SISMO:** sacudidas o movimientos bruscos del terreno generalmente producidos por disturbios tectónicos o volcánicos.

**VARIABLE ALEATORIA:** variable que cuantifica los resultados de un experimento aleatorio. Variable que toma diferentes valores como resultado de un experimento aleatorio. Categoría cuantificable que puede tomar diferentes valores cada vez que sucede un experimento o suceso, el valor sólo se conocerá determinísticamente una vez acaecido el suceso. (Wikipedia)

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

El objeto de estudio para este Trabajo Especial de Grado es el sistema estructural conocido como pórtico, cuyo material de elaboración será el concreto armado. Asumiendo que la Simulación de Monte Carlo representa un método probabilístico que permite la toma de muestras aleatorias de diversas variables, las cuales conducirán a determinar el comportamiento real de una estructura, se procederá a realizar una evaluación similar pero aplicando un método probabilístico diferente, Métodos de los Estimadores Puntuales. De esta manera se busca determinar si los Estimadores Puntuales podrían simular un comportamiento análogo al que se produce sobre el pórtico frente a sollicitaciones.

En este caso, se estudiará el comportamiento frente a una acción sísmica, aplicando el Método Estático no Lineal. De esta manera se someterá el pórtico a una carga lateral hasta la falla del mismo, para posteriormente recolectar una serie de datos que se analizarán estadísticamente. La motivación de la investigación radica en el hecho de que la realización de la Simulación de Monte Carlo resulta lenta y complicada por la gran cantidad de ensayos (simulaciones); por su parte, el Métodos de los Estimadores Puntuales reduce de una manera significativa el número de ensayos. Se desea conocer si este método podría aportar información equivalente a la obtenida con el Método de Monte Carlo.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PÓRTICOS A ESTUDIAR

A continuación se presentan las características geométricas y de los materiales de los pórticos en estudio.

#### 3.1.1 Pórtico 1

(Ver Figura 3.1)

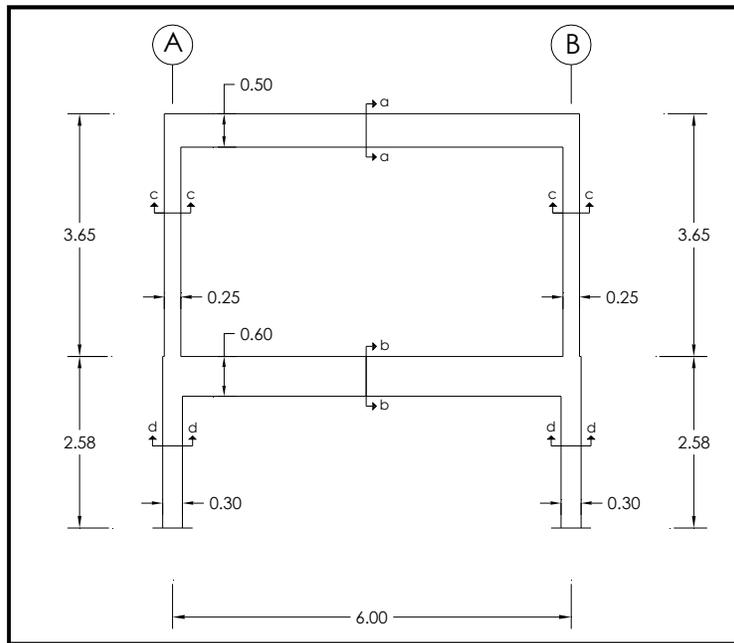
- Materiales: (valores nominales)
  - Concreto: resistencia de 200 kgf/cm<sup>2</sup>.
  - Acero: resistencia de 2400 kgf/cm<sup>2</sup>.
- Sistema constituido por dos niveles (PB y P1).
- Altura total de la estructura: 6,23m (2,58m desde la base hasta el entrepiso y 3,65m entre el entrepiso y el techo).
- Vano de 6m de longitud.
- Dimensiones de los elementos:
  - Columnas PB: 30x30 cm
  - Columnas P1: 25x25 cm.
  - Viga Entrepiso: 30x60 cm.
  - Viga Techo: 25x50 cm.
- Acero de refuerzo:
  - Columnas PB: 4 barras de 5/8''.
  - Columnas P1: 4 barras de 1/2''.
  - Viga Entrepiso: 3 barras de 1'' abajo; 2 barras de 1'' y 2 barras de 1/2'' arriba.
  - Viga Techo: 4 barras de 1'' abajo; 2 barras de 1'' y 2 barras de 1/2'' arriba.

### 3.1.2 Pórtico 2

(Ver Figura 3.3)

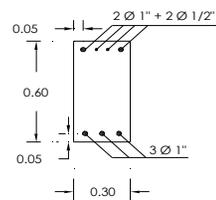
- Materiales: (valores nominales)
  - Concreto: resistencia de 250 kgf/cm<sup>2</sup>.
  - Acero: resistencia de 4200 kgf/cm<sup>2</sup>.
- Sistema constituido por dos niveles (PB y P1).
- Altura total de la estructura: 7,00m (3,50m desde la base hasta el entrepiso y 3,50m entre el entrepiso y el techo).
- Vano de 7,20m de longitud.
- Dimensiones de los elementos:
  - Columnas PB: 30x50 cm.
  - Columnas P1: 30x50 cm.
  - Viga Entrepiso: 30x60 cm.
  - Viga Techo: 30x60 cm.
- Acero de refuerzo:
  - Columnas PB: 8 barras de 1''.
  - Columnas P1: 6 barras de 1''.
  - Viga Entrepiso: 3 barras de 1'' abajo; 3 barras de 1'' arriba.
  - Viga Techo: 3 barras de 1'' abajo; 3 barras de 1'' arriba.

**Figura 3.1. Vista general Pórtico 1.**

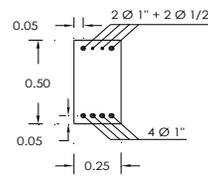


Fuente: Elaboración Propia.

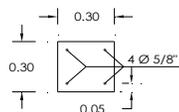
**Figura 3.2. Secciones de columnas y vigas Pórtico 1.**



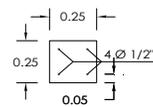
**Sección a-a**  
Estribos  $\varnothing 3/8 @ 0.25m$



**Sección b-b**  
Estribos  $\varnothing 3/8 @ 0.25m$



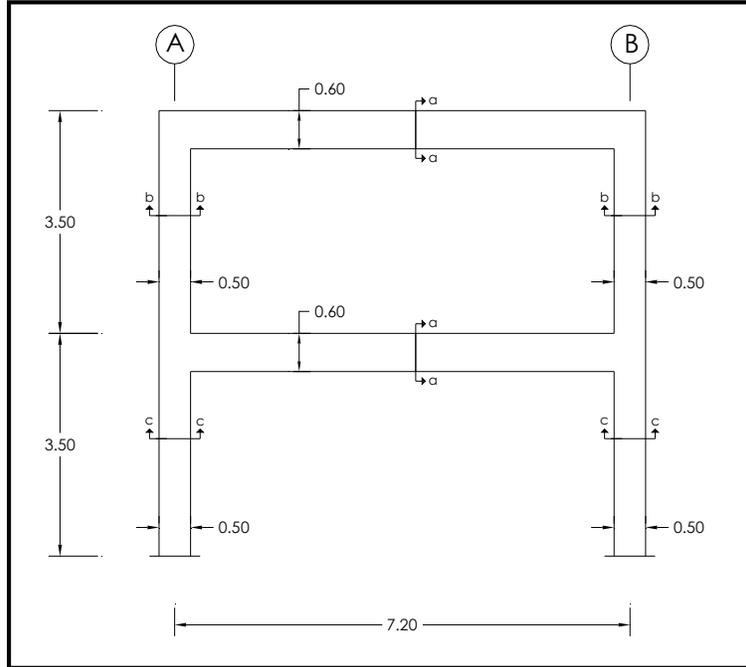
**Sección c-c**  
Ligaduras  $\varnothing 1/4 @ 0.20m$



**Sección d-d**  
Ligaduras  $\varnothing 1/4 @ 0.20m$

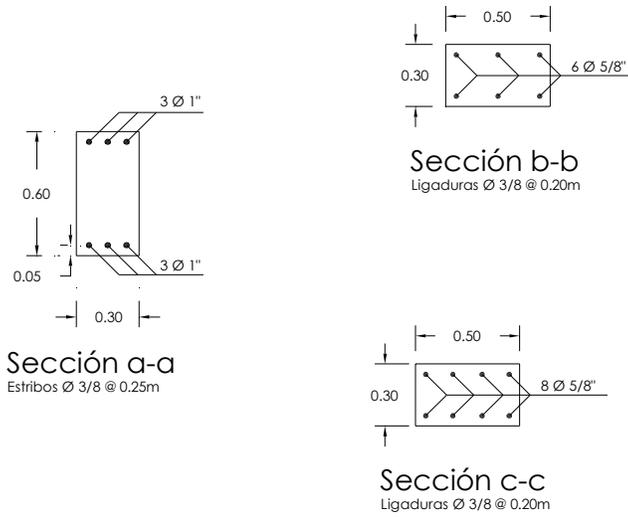
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 3.3. Vista general Pórtico 2.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 3.4. Secciones de columnas y vigas Pórtico 2.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2 CONSIDERACIONES EN EL ANÁLISIS

- Se consideran todos los elementos indeformables axialmente.
- Presencia de diafragma rígido.
- Se asume la longitud de la rótula plástica según la propuesta de A.H. Mattock: (Park & Paulay, 1979)

$$L_p = 0,5d + 0,05z$$

Ecuación 3.1. Longitud de rótula plástica.

Donde:

$L_p$ = Longitud de rótula plástica.

$d$ = Altura útil de la sección.

$z$ = distancia de la sección crítica al punto de inflexión.

- Sólo se consideran las rótulas plásticas a flexión.
- Para ambos casos se hizo el análisis utilizando losas nervadas en la dirección perpendicular al pórtico.
- En el estudio del Pórtico 1 se consideran las vigas con inercia infinita para simplificar el análisis.

### 3.3 CARGAS ACTUANTES

Las cargas gravitacionales aplicadas al pórtico, son las que se mencionan a continuación:

- Cargas Permanentes (CP): corresponde al peso de la estructura (vigas, columnas y losas).

- Sobrecargas Permanentes (SCP): corresponden al peso de la losa, tabiquería, acabados, impermeabilizaciones, etc.
- Cargas Variables (CV): corresponde a las cargas operacionales o de tránsito.

A continuación se presentarán cuadros donde se pueden observar las cargas utilizadas en el estudio y simulación de los pórticos. Los dos primeros, corresponden al Pórtico 1 y los dos últimos al Pórtico 2. Vale la pena resaltar que las cargas del Pórtico 1 son las que se encuentran en sitio (pórtico existente), mientras que las cargas del Pórtico 2 corresponden a lo fundamentado bajo la Norma Covenin 2002-1988 "Acciones mínimas para el Proyecto de Edificaciones". En ambos casos, las cargas variables se estimaron en función del uso de las estructuras.

**Tabla 3.1.Cargas de Entrepiso Pórtico 1.**

<b>Nivel</b>	<b>Tipo de carga</b>	<b>Descripción</b>	<b>Carga (kgf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cálculo (kgf/m<sup>2</sup>x m)</b>	<b>Carga (kgf/m)</b>
Entrepiso	SCP	Losa Nervada en la dirección perpendicular al pórtico analizado: Espesor 25cm	315	315x5,13	1615,95
		Pavimento: Baldosa de cerámica con mortero de espesor 3cm	80	80x5,13	410,40
		Tabiquería: (estimado del peso total de la tabiquería)	195	195x5,13	1000,35
		<b>Total SCP</b>			<b>3026,70</b>
	CV	Uso de la edificación: Lugares de concentración pública. Ambiente: Público	500	500x5,13	2565,00
		<b>Total CV</b>			<b>2565,00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>5591,70</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.2. Cargas de Techo Pórtico 1.**

<b>Nivel</b>	<b>Tipo de carga</b>	<b>Descripción</b>	<b>Carga (kgf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cálculo (kgf/m<sup>2</sup>x m)</b>	<b>Carga (kgf/m)</b>
Techo	SCP	Losa Nervada en la dirección perpendicular al pórtico analizado: Espesor 20cm	270	270x5,13	1385,10
		Impermeabilización: - Con mortero de nivelación de espesor de 5cm - Manto asfáltico de espesor de 5mm	116	116x5,13	595,08
		<b>Total SCP</b>			<b>1980,18</b>
	CV	Techo inaccesible con pendiente menor al 15%	100	100x5,13	513,00
		<b>Total CV</b>			<b>513,00</b>
<b>TOTAL</b>				<b>2493,18</b>	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.3. Cargas de Entrepiso Pórtico 2.**

Nivel	Tipo de carga	Descripción	Carga (kgf/m <sup>2</sup> )	Cálculo (kgf/m <sup>2</sup> x m)	Carga (kgf/m)
Entrepiso	SCP	Losa Nervada en la dirección perpendicular al pórtico analizado: Espesor 20cm	315	315x7,20	2268,00
		Pavimento: Baldosa de cerámica con mortero de espesor 3cm	80	80x7,20	576,00
		Tabiquería: (estimado del peso total de la tabiquería)	120	120x7,20	864,00
		<b>Total SCP</b>			<b>3708,00</b>
	CV	Uso de la edificación: Lugares de concentración privada. Ambiente: Privada.	300	300x7,20	2160,00
		<b>Total CV</b>			<b>2160,00</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>5868,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.4. Cargas de Techo Pórtico 2.**

Nivel	Tipo de carga	Descripción	Carga (kgf/m <sup>2</sup> )	Cálculo	Carga (kgf/m)
Techo	SCP	Losa Nervada en la dirección perpendicular al pórtico analizado: Espesor 20cm	270	270x7,20	1944,00
		Impermeabilización: - Con mortero de nivelación de espesor de 5cm - Manto asfáltico de espesor de 5mm	116	116x7,20	835,20
		<b>Total SCP</b>			<b>2779,20</b>
	CV	Techo inaccesible con pendiente menor al 15%	100	100x7,20	720,00
		<b>Total CV</b>			<b>720,00</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>3499,2</b>

Fuente: Elaboración Propia

## 3.4 PROCEDIMIENTOS Y ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.4.1 Recolección

- Se definen las variables aleatorias con las cuales se va a trabajar, considerando una distribución del tipo "normal" (Porrero, 2004). Dichas variables son: para el concreto  $f'_c$  (resistencia a la compresión) y para el acero  $f_y$  (tensión cedente).
- Para definir una distribución normal se necesitan dos valores: media y desviación estándar. Para las distribuciones se utilizan los siguientes valores nominales: 200 kgf/cm<sup>2</sup> y 2400 kgf/cm<sup>2</sup>, para el Pórtico 1 y 250 kgf/cm<sup>2</sup> y 4200 kgf/cm<sup>2</sup>, para el Pórtico 2, para el concreto y el acero respectivamente. En base a estudios anteriores (Porrero, 2004) (valores tomados del "Manual del Concreto Estructural"), se escoge una desviación estándar  $\widetilde{f}_c$ , la cual depende del grado de control de calidad presente durante la elaboración del concreto, la cual será del 15% de  $\overline{f}_c$ . Para el caso del acero se escoge un valor de desviación estándar considerado en bibliografía consultada ("STRUCTURAL REALIABILITY ANALYSIS AND PREDICTION") la cual está por el orden del 5% de  $\overline{f}_y$ .
- Para estimar los valores medios, se procedió a incrementar los valores nominales en un 15%. Esto debido a que generalmente en las plantas de producción (concreteras o siderúrgicas) tienden a salir los materiales con valores de resistencias ligeramente mayores a los

solicitados, ya sea por medidas de seguridad o errores de procesos; siempre en búsqueda de valores superiores a los solicitados.

- Para aplicar la Simulación de Monte Carlo, se determina la gráfica de frecuencia acumulada en base a la distribución normal, para el concreto y el acero. Tomando valores aleatorios distribuidos uniformemente entre cero y uno (0 y 1) se ingresa a la gráfica de frecuencia acumulada para seleccionar un valor de resistencia de concreto y cedencia del acero, obteniendo así un par o dupla de valores. Este proceso se repite 100 veces, para así tener cien pares de valores, para proceder con el ensayo estático no lineal. Dada la gran cantidad de valores que se utilizan en esta simulación, los mismos podrán observarse en los Anexos A y B.
- Para aplicar el Método de los Estimadores Puntuales se debe considerar que una función de una variable aleatoria se puede concentrar básicamente en dos puntos: la media menos su desviación estándar y la media más su desviación estándar (asumiendo una distribución normal). Para este caso:

$$f_{ci} = \overline{f_c} \pm \widetilde{f_c}$$

$$f_{yi} = \overline{f_y} \pm \widetilde{f_y}$$

Donde:  $\overline{f_c} ; \overline{f_y} \rightarrow$  refiere a la media

$\widetilde{f_c} ; \widetilde{f_y} \rightarrow$  refiere a la desviación estándar

De las ecuaciones anteriores resultan cuatro (4) combinaciones posibles; con las cuales se van a trabajar:

Primer par de valores:  $(f_{ci} = \overline{f_c} + \widetilde{f_c} ; f_{yi} = \overline{f_y} + \widetilde{f_y})$

Segundo par de valores:  $(f_{ci} = \overline{f_c} - \widetilde{f_c} ; f_{yi} = \overline{f_y} + \widetilde{f_y})$

Tercer par de valores:  $(f_{ci} = \overline{f_c} + \widetilde{f_c} ; f_{yi} = \overline{f_y} - \widetilde{f_y})$

Cuarto par de valores:  $(f_{ci} = \overline{f_c} - \widetilde{f_c} ; f_{yi} = \overline{f_y} - \widetilde{f_y})$

Lo que representa sin duda alguna una disminución significativa de la cantidad de ensayos que se deben hacer por el Método Estático no Lineal (Monte Carlo=100 y Estimadores Puntuales=4).

A continuación se presentan una serie de tablas donde se puede observar las medias y desviaciones estándar que se utilizarán, así como las combinaciones de resistencia de concreto y acero, para los pórticos 1 y 2.

**Tabla 3.5. Estadísticos aplicados para el Pórtico 1.**

<b>Material</b>	<b>Valor Nominal (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Media (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Desviación Estándar (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>C.V.</b>
Concreto	200	230	34,50	0,15
Acero	2400	2760	138,00	0,05

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.6. Valores de resistencia para el Pórtico 1. Método de Estimadores Puntuales.**

<b>Análisis</b>	<b>Concreto (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Acero (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	264,50	2898
2	195,50	2898
3	264,50	2622
4	195,50	2662

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.7. Estadísticos aplicados para el Pórtico 2.**

<b>Material</b>	<b>Valor Nominal (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Media (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Desviación Estándar (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>C.V.</b>
Concreto	250	287,5	43,13	0,15
Acero	4200	4830	241,50	0,05

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.8. Valores de resistencia para el Pórtico 2. Método de Estimadores Puntuales.**

<b>Análisis</b>	<b>Concreto (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Acero (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	330,63	5071,50
2	244,38	5071,50
3	330,63	4588,50
4	244,38	4588,50

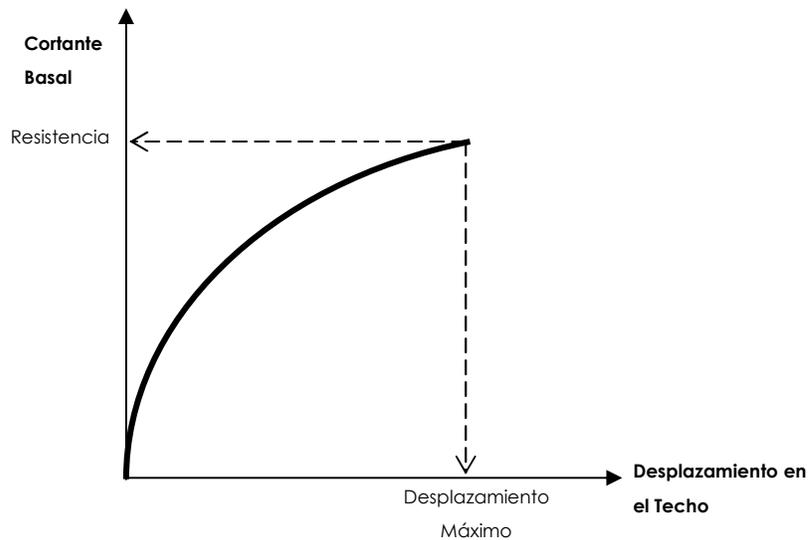
Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2 Procesamiento de la Información

- Mediante el uso de un programa de computación para cálculo estructural, se modelan pórticos con las características de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero según cada par.
- Se somete la estructura diseñada a una carga lateral que se incrementa progresivamente hasta que falla la misma. De la aplicación del Método Estático no Lineal se obtienen la fuerza ( $P_i$ ) y desplazamientos laterales ( $\Delta_i$ ); con estos datos se construyen gráficos P- $\Delta$ . (cumpliendo con lo establecido en la Norma COVENIN 1756-2001). Obteniéndose de la misma:

Parámetros  $\rightarrow$  *Resistencia*<sub>máxima</sub>  
*Desplazamiento*<sub>máximo</sub>  
*Desplazamiento*<sub>cedente</sub>  
*Ductilidad*

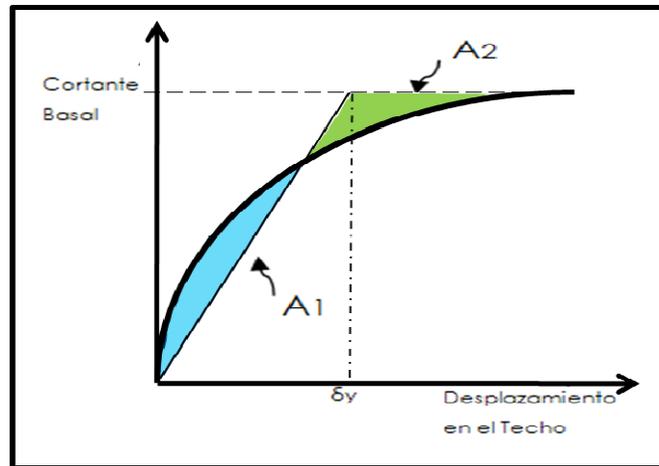
La resistencia es la capacidad de una estructura en soportar las cargas actuantes sobre ella, dicha resistencia depende de los elementos como componentes individuales y de la capacidad de deformación de la estructura. Se mide a través de la relación entre el corte basal y el desplazamiento del nivel superior (Figura 3.5), obtenido de la aplicación de un análisis inelástico.



**Figura Ilustrativa 3.5. Curva de Pushover.**

Fuente: Elaboración Propia.

El desplazamiento máximo es la mayor deformación lateral que puede desarrollarse en la estructura luego de aplicada el análisis no lineal (ver Figura 3.5). De igual manera se puede obtener de este análisis el desplazamiento cedente de la estructura, para su cálculo se estableció el criterio de igual área (energía absorbida), donde se busca establecer dos áreas iguales, una sobre la curva de capacidad resistente y la otra por debajo de la misma (Figura 3.6.)



**Figura Ilustrativa 3.6. Curva bilineal de Pushover.**

Fuente: Elaboración Propia.

Y por último se tiene la ductilidad, que es la capacidad de disipación de energía dentro del rango plástico que posee un material, una sección o una estructura. Dicha disipación de energía (se puede pensar por ejemplo en la energía de un terremoto) se busca que se produzca en el rango plástico. La ductilidad de la estructura dependerá tanto de la de los materiales y del diseño a nivel de sección, como del diseño global.

- Los valores obtenidos a partir de los datos de la Simulación de Monte Carlo se analizan estadísticamente, para obtener: media, desviación estándar y forma de la función de densidad. Análogamente, se realiza este procedimiento con los resultados obtenidos a partir de los datos provenientes del Método de los Estimadores Puntuales, con el cual se puede obtener únicamente la media y la desviación estándar.

Los valores obtenidos bajo la Simulación de Monte Carlo son sometidos a una prueba de bondad de ajuste para comprobar si los mismos presentan una distribución normal; dicha prueba es conocida como *bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov*. Dicho estadígrafo se muestra a continuación:

**Tabla 3.9. Estadígrafo crítico para la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.**

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
5	0,51	0,56	0,67
10	0,37	0,41	0,49
15	0,30	0,34	0,40
20	0,26	0,29	0,35
25	0,24	0,26	0,32
30	0,22	0,24	0,29
40	0,19	0,21	0,25
n grande	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

Fuente: Benjamín y Cornel, 1981

Por ejemplo, de quererse averiguar si un conjunto de 40 valores se ajustan a una distribución normal y utilizando un factor de significación ( $\alpha$ ) de 0,05, si la prueba Kolmogorov-Smirnov arroja un valor menor o igual 0,21 (ver tabla 3.9) se dice que esos datos presentan un comportamiento normal.

### **3.4.3 Análisis de Datos**

Se procede a comparar lo que se obtiene por la Simulación de Monte Carlo contra el Método de los Estimadores Puntuales, para así poder determinar si existe una similitud entre los resultados.

### **3.4.4 Discusión y Conclusiones**

- Se concluye sobre la comparación de los métodos, indicando si resulta eficiente, conveniente su uso y las ventajas que trae para futuros estudios de comportamiento sismorresistente.
- Se establecen las recomendaciones pertinentes a los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Tras el análisis y estudio de los pórticos utilizando la herramienta computacional SAP2000 V11 NO LINEAL, de donde se pudieron obtener los resultados que a continuación se presentarán. Además, dichos resultados fueron procesados mediante el programa SPSS 13.0 para Windows, el cual permitió realizar el análisis estadístico de los valores, determinando media, desviación estándar, coeficiente de variación, entre otros.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con el desarrollo del capítulo anterior de este trabajo de investigación y sus respectivos análisis. Se utilizarán tablas para presentar los resultados, las cuales estarán ubicadas tanto en este capítulo como en los anexos de este trabajo; lo mismo sucede con los histogramas y los resultados de las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov- Smirnov.

Las tablas y gráficos que a continuación se presentan fueron clasificados por pórtico (1 ó 2) y por el método probabilístico utilizado (Simulación de Monte Carlo o Estimadores Puntuales).

## 4.1 PÓRTICO 1

### 4.1.1. Valores resistentes para las secciones de vigas. Simulación de Monte Carlo.

Se obtuvieron valores de momentos y curvaturas cedentes y últimas tanto negativos para la viga de techo (Anexo A.10), como los valores positivos (Anexo A.11) y de igual manera para la viga de entrepiso (Anexo A.14 y Anexo A.15, respectivamente) presente en el pórtico. Se procesaron los valores antes mencionados, obteniendo así las medias y desviaciones estándares respectivas de cada variable (Tabla 4.1).

**Tabla 4.1. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE	N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
$f_c'$	100	229,25	34,63	0,151
$f_y$	100	2758,49	130,40	0,047

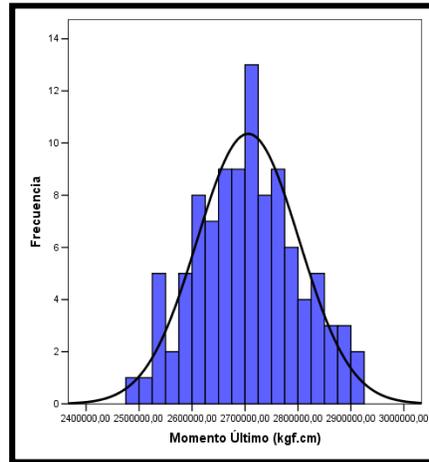
Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.2. Valores de resistencia para las secciones de viga. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
My	Positivo VT	100	2186403	10199,24	0,005
$\phi_y$		100	4,89E-05	2,91E-06	0,060
Mu		100	2706043	95826,09	0,035
$\phi_u$		100	3,68E-04	2,42E-05	0,066
My	Positivo VE	100	2068992	97650,33	0,047
$\phi_y$		100	3,46E-05	1,89E-06	0,055
Mu		100	2819996	93595,41	0,033
$\phi_u$		100	4,50E-04	2,37E-05	0,053
My	Negativo VT	100	1397004	66518,21	0,048
$\phi_y$		100	4,16E-05	2,16E-06	0,052
Mu		100	1860290	62451,15	0,034
$\phi_u$		100	5,10E-04	1,53E-05	0,030
My	Negativo VE	100	1739712	82302,06	0,047
$\phi_y$		100	3,30E-05	1,73E-06	0,052
Mu		100	2441349	80172,23	0,033
$\phi_u$		100	5,00E-04	2,04E-05	0,041

Fuente: Elaboración Propia.

De cada una de las variables se obtuvo un histograma de frecuencia, así como su respectiva distribución normal teórica, un ejemplo se aprecia en el gráfico 4.1.



**Gráfico 4.1. Momento último positivo para la viga techo.**

Fuente: Elaboración Propia.

Así como este gráfico, las demás variables tienen su gráfico respectivo (ver anexos) donde cada una muestra un buen ajuste a la distribución normal propuesta, el cual fue corroborado con la prueba de Kolmogorov- Smirnov al 5% de significación (Tabla 3.9).

**Tabla 4.3. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE	$\alpha$	ESTADÍSTICO K-S	K-S (MUESTRA)	¿CUMPLE?
$f_c'$	0,05	0,136	0,057	OK
$f_y$			0,036	OK

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.4. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia para las secciones de viga. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE	SECCIÓN	$\alpha$	ESTADÍSTICO K-S	K-S (MUESTRA)	¿CUMPLE?
My	Positivo VT	0,05	0,136	0,047	OK
$\Phi Y$				0,062	OK
Mu				0,041	OK
$\Phi U$				0,073	OK
My	Positivo VE	0,05	0,136	0,045	OK
$\Phi Y$				0,054	OK
Mu				0,041	OK
$\Phi U$				0,075	OK
My	Negativo VT	0,05	0,136	0,037	OK
$\Phi Y$				0,04	OK
Mu				0,047	OK
$\Phi U$				0,088	OK
My	Negativo VE	0,05	0,136	0,041	OK
$\Phi Y$				0,046	OK
Mu				0,041	OK
$\Phi U$				0,064	OK

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.1.2 Valores resistentes para las secciones de columnas. Simulación de Monte Carlo.**

Se obtuvieron los valores de momentos y curvaturas cedentes y últimas para la carga seleccionada (Anexo A.2 y A.3) y para el punto de flexión pura (Anexo A.6 y A.7). Se procesaron los valores antes mencionados, obteniendo así las medias y desviaciones estándares respectivas de cada variable (Tabla 4.5).

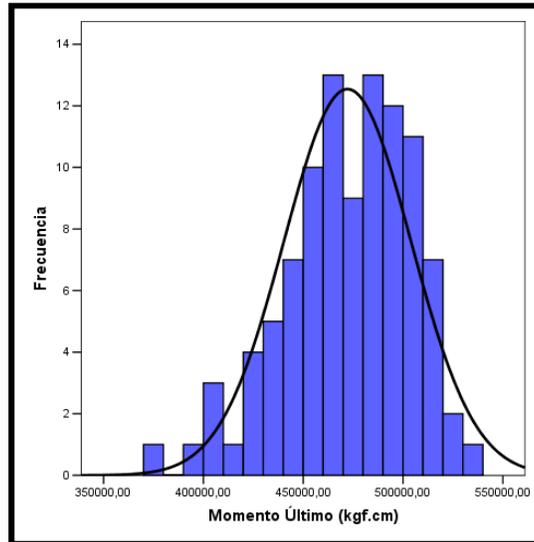
**Tabla 4.5. Valores de resistencia para las secciones de columnas.**

**Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
My	P= 68114kgf columna PB	100	845631,6	45111,65853	0,053
$\phi y$		100	1,35E-04	1,78E-05	0,132
Mu		100	864476,9	60273,89065	0,070
$\phi u$		100	2,31E-04	3,45E-05	0,149
My	P= 45536kgf columna P1	100	462827,7	23960,34289	0,052
$\phi y$		100	1,70E-04	2,18E-05	0,128
Mu		100	472153,8	31800,51804	0,067
$\phi u$		100	2,88E-04	4,22E-05	0,147
My	Flexión Pura columna PB	100	238212,6	11540,99815	0,048
$\phi y$		100	7,09E-05	3,82E-06	0,054
Mu		100	333324,5	14862,63706	0,045
$\phi u$		100	7,76E-04	5,08E-05	0,065
My	Flexión Pura columna P1	100	121502,2	6019,61942	0,050
$\phi y$		100	8,88E-05	4,85E-06	0,055
Mu		100	176335,9	8486,03325	0,048
$\phi u$		100	9,04E-04	1,01E-04	0,112

Fuente: Elaboración Propia.

De cada una de las variables se obtuvo un histograma de frecuencia, así como su respectiva distribución normal teórica, un ejemplo se aprecia en el gráfico 4.2.



**Gráfico 4.2. Momento último en la columna piso uno, carga axial 45536kgf.**

Fuente: Elaboración Propia.

Así como este gráfico, las demás variables tienen su gráfico respectivo (ver anexos) donde cada una muestra un buen ajuste a la distribución normal propuesta, el cual fue corroborado con la prueba de Kolmogorov- Smirnov al 5% de significación (Tabla 4.6).

**Tabla 4.6. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia para las secciones de columnas. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE	SECCIÓN	$\alpha$	ESTADÍSTICO K-S	K-S (MUESTRA)	¿CUMPLE?
My	P= 68114kgf columna PB	0,05	0,136	0,109	OK
$\phi_y$				0,128	OK
Mu				0,060	OK
$\phi_u$				0,056	OK
My	P= 45536kgf columna P1	0,05	0,136	0,111	OK
$\phi_y$				0,132	OK
Mu				0,063	OK
$\phi_u$				0,06	OK
My	Flexión Pura columna PB	0,05	0,136	0,039	OK
$\phi_y$				0,055	OK
Mu				0,076	OK
$\phi_u$				0,102	OK
My	Flexión Pura columna P1	0,05	0,136	0,042	OK
$\phi_y$				0,05	OK
Mu				0,052	OK
$\phi_u$				0,122	OK
$f_c^c$		0,05	0,136	0,057	OK
$f_y$				0,036	OK

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.3 Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover).

##### Simulación de Monte Carlo.

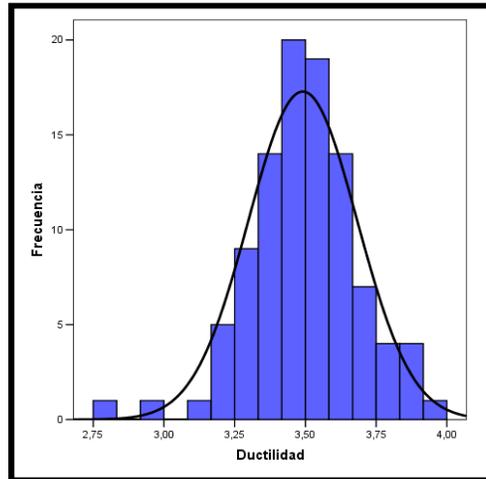
Luego de procesado los valores de entrada se procedió a realizar el análisis inelástico, obteniendo la resistencia alcanzada por la estructura, así como los desplazamientos máximos y las diversas rotaciones que se producen (Tabla 4.7). Los valores completos se observan en los anexos A.18, A.19, A.22, A.23, A.24 y A.25.

**Tabla 4.7. Análisis estadístico de valores de salida. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Resistencia	VT	100	4554,1132	343,31131	0,075
Desplazamiento Máximo		100	15,4327	1,65835	0,107
Desplazamiento Cedente		100	4,4572	0,70026	0,157
Ductilidad		100	3,4907	0,19235	0,055
Resistencia	VE	100	3220,7302	242,79423	0,075
Desplazamiento Máximo		100	15,1792	1,65176	0,109
Desplazamiento Cedente		100	4,223	0,70417	0,167
Ductilidad		100	3,631	0,23314	0,064
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	100	2,65E-03	1,57E-04	0,059
Rotación Última		100	3,90E-02	4,51E-03	0,116
Ductilidad		100	14,8412	2,45951	0,166
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Derecha	100	2,65E-03	1,57E-04	0,059
Rotación Última		100	3,91E-02	4,51E-03	0,115
Ductilidad		100	14,8428	2,4606	0,166
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	100	2,58E-03	1,59E-04	0,062
Rotación Última		100	3,91E-02	4,74E-03	0,121
Ductilidad		100	15,2559	2,63917	0,173
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Izquierda	100	2,58E-03	1,59E-04	0,062
Rotación Última		100	3,91E-02	4,75E-03	0,121
Ductilidad		100	15,2459	2,63916	0,173

Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que para los valores de entrada, se procedió al desarrollo de histogramas de frecuencia (Gráfico 4.3 y anexos) con su respectiva distribución normal teórica; comprobada con el ajuste de bondad (K-S) (Tabla 4.8).



**Gráfico 4.3. Ductilidad en la viga techo en función del desplazamiento.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.8. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de salida. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE	SECCIÓN	$\alpha$	ESTADÍGRAFO K-S	K-S (MUESTRA)	¿CUMPLE?
Resistencia	VT	0,05	0,136	0,059	OK
Desplazamiento Máximo				0,069	OK
Desplazamiento Cedente				0,053	OK
Ductilidad				0,063	OK
Resistencia	VE	0,05	0,136	0,059	OK
Desplazamiento Máximo				0,060	OK
Desplazamiento Cedente				0,048	OK
Ductilidad				0,084	OK
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	0,05	0,136	0,077	OK
Rotación Última				0,060	OK
Ductilidad				0,055	OK
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Derecha	0,05	0,136	0,077	OK
Rotación Última				0,059	OK
Ductilidad				0,055	OK
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	0,05	0,136	0,092	OK
Rotación Última				0,076	OK
Ductilidad				0,067	OK
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Izquierda	0,05	0,136	0,092	OK
Rotación Última				0,077	OK
Ductilidad				0,068	OK

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo que cada uno de los parámetros analizados se ajusta a una distribución normal. Además se obtuvo que los valores de la ductilidad en las secciones de vigas son consistentes con la variación de la resistencia a compresión del concreto, es decir; menores valores  $f'_c$  implican menor ductilidad y viceversa. Caso contrario ocurre con la variación del esfuerzo cedente del acero, donde para el menor valor de  $f_y$  se observan mayores ductilidades.

#### **4.1.4 Valores de resistencia para las secciones de vigas. Estimadores Puntuales.**

De igual manera como se procesaron los datos según Monte Carlo, se obtuvo los resultados para los cuatro pares de valores según el método de los Estimadores Puntuales.

Se obtuvieron valores de momentos y curvaturas cedentes y últimas tanto negativos para la viga de techo (Anexo A.12), como los valores positivos (Anexo A.13) y de igual manera para la viga de entrepiso (Anexo A.16 y Anexo A.17, respectivamente) presente en el pórtico. Se procesaron los valores antes mencionados, obteniendo así las medias y desviaciones estándares respectivas de cada variable (Tabla 4.10).

**Tabla 4.9. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Estimadores Puntuales.**

<b>VARIABLE</b>	<b>N</b>	<b>MEDIA</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>
$f'_c$	4	230	39,83717	0,173
$f_y$	4	2760	159,34867	0,058

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.10. Valores de resistencia para las secciones de vigas. Estimadores Puntuales.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
My	Positivo VT	4	2188125	126047,144	0,058
$\phi_y$		4	4,89E-05	3,41E-06	0,070
Mu		4	2709750	120690,61	0,045
$\phi_u$		4	3,69E-04	2,67E-05	0,072
My	Positivo VE	4	2069175	119820,3203	0,058
$\phi_y$		4	3,46E-05	2,22E-06	0,064
Mu		4	2823950	121362,1715	0,043
$\phi_u$		4	4,50E-04	2,65E-05	0,059
My	Negativo VT	4	1405700	81854,62724	0,058
$\phi_y$		4	4,18E-05	2,56E-06	0,061
Mu		4	1856175	80604,06834	0,043
$\phi_u$		4	5,11E-04	1,69E-05	0,033
My	Negativo VE	4	1742875	100749,5699	0,058
$\phi_y$		4	3,31E-05	2,06E-06	0,062
Mu		4	2442150	96001,96179	0,039
$\phi_u$		4	5,01E-04	2,29E-05	0,046

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.1.5 Valores de resistencia para las secciones de columnas. Estimadores Puntuales.**

Se obtuvieron los valores de momentos y curvaturas cedentes y últimas para la carga seleccionada (Anexo A.4 y A.5) y para el punto de flexión pura (Anexo A.8 y A.9). Se procesaron los valores antes mencionados, obteniendo así las medias y desviaciones estándares respectivas de cada variable (Tabla 4.11).

**Tabla 4.11. Valores de resistencia para las secciones de columnas.  
Estimadores Puntuales.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
My	P= 68114kgf columna PB	4	849647,5	44412,24034	0,052
$\phi y$		4	1,35E-04	1,63E-05	0,121
Mu		4	866625	67872,09662	0,078
$\phi u$		4	2,31E-04	3,97E-05	0,172
My	P= 45536kgf columna P1	4	464890	23564,74485	0,051
$\phi y$		4	1,69E-04	1,97E-05	0,117
Mu		4	473302,5	35786,15223	0,076
$\phi u$		4	2,89E-04	4,94E-05	0,171
My	Flexión Pura columna PB	4	243615	14226,08051	0,058
$\phi y$		4	7,13E-05	4,54E-06	0,064
Mu		4	334577,5	18578,04147	0,056
$\phi u$		4	7,74E-04	4,96E-05	0,064
My	Flexión Pura columna P1	4	125267,5	7796,67183	0,062
$\phi y$		4	8,95E-05	5,81E-06	0,065
Mu		4	176742,5	9464,6443	0,054
$\phi u$		4	9,00E-04	9,77E-05	0,109

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.1.6 Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover). Estimadores Puntuales.**

Luego de procesado los valores de entrada se procedió a realizar el análisis inelástico, obteniendo la resistencia alcanzada por la estructura, así como los desplazamientos máximos y las diversas rotaciones que se producen (Tabla 4.15). Los valores completos se observan en los anexos A.20 y A.21.

**Tabla 4.12. Análisis estadístico de valores de salida. Estimadores Puntuales.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Resistencia	VT	4	4485,1125	358,40986	0,080
Desplazamiento Máximo		4	14,1538	1,81555	0,128
Desplazamiento Cedente		4	3,946	0,72833	0,185
Ductilidad		4	3,6145	0,20164	0,056
Resistencia	VE	4	3171,9325	253,47181	0,080
Desplazamiento Máximo		4	13,9355	1,81682	0,130
Desplazamiento Cedente		4	3,7283	0,73003	0,196
Ductilidad		4	3,774	0,24555	0,065
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	4	2,66E-03	1,77E-04	0,067
Rotación Última		4	3,57E-02	5,00E-03	0,140
Ductilidad		4	13,578	2,78043	0,205
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Derecha	4	2,66E-03	1,77E-04	0,067
Rotación Última		4	3,57E-02	5,00E-03	0,140
Ductilidad		4	13,578	2,78043	0,205
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	4	2,58E-03	1,69E-04	0,066
Rotación Última		4	3,58E-02	5,00E-03	0,140
Ductilidad		4	14,0128	2,85051	0,203
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Izquierda	4	2,58E-03	1,69E-04	0,066
Rotación Última		4	3,58E-02	5,00E-03	0,140
Ductilidad		4	14,0128	2,85051	0,203

Fuente: Elaboración Propia.

## 4.2 PÓRTICO 2

De la misma manera como se procedió con el pórtico 1, se realiza el pórtico 2, obteniendo resultados de tendencia muy similares.

**Tabla 4.13. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
$f_c'$	285,02	44,54	0,156
$f_y$	4876,39	236,70	0,049

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.2.1 Valores de resistencia para las secciones de viga. Simulación de Monte Carlo.

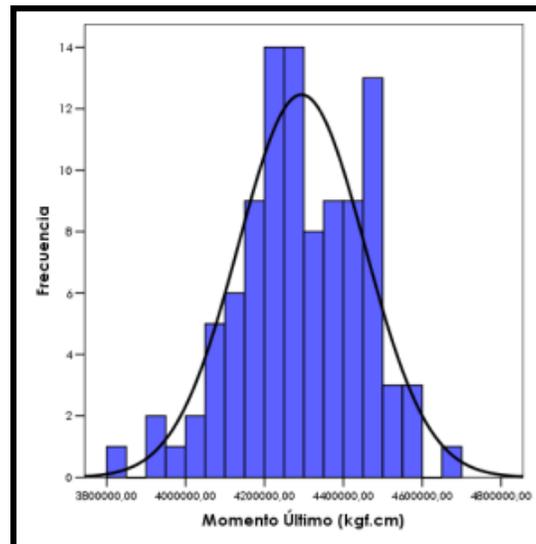
Se obtuvieron valores de momentos y curvaturas cedentes y últimas tanto negativos como positivas (que para este caso resultan iguales por ser una sección simétrica en el armado. Anexo B.2). Se procesaron los valores antes mencionados, obteniendo así las medias y desviaciones estándares respectivas de cada variable (Tabla 4.14).

**Tabla 4.14. Valores de resistencia para las secciones de viga. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
My	Viga	100	3662807	175982,803	0,048
$\phi_y$		100	5,93E-05	3,43E-06	0,058
Mu		100	4294004	160124,521	0,037
$\phi_u$		100	3,88E-04	2,83E-05	0,073

Fuente: Elaboración Propia.

De cada una de las variables se obtuvo un histograma de frecuencia, así como su respectiva distribución normal teórica, un ejemplo se aprecia en el gráfico 4.4.



**Gráfico 4.4. Momento para la viga.**

Fuente: Elaboración Propia.

Así como este gráfico, las demás variables tienen su gráfico respectivo (ver anexos) donde cada uno arrojó un buen ajuste a la

distribución normal propuesta, el cual fue corroborado con la prueba de Kolmogorov- Smirnov al 5% de significación (Tabla 4.16).

**Tabla 4.15. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de entrada.**

VARIABLE	$\alpha$	ESTADÍGRAFO K-S	VALOR K-S (MUESTRA)	¿CUMPLE?
$f_c'$	0,05	0,136	0,058	OK
$f_y$	0,05	0,136	0,082	OK

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.16. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia para las secciones de viga.**

VARIABLE	SECCIÓN	$\alpha$	ESTADÍGRAFO K-S	VALOR K-S (MUESTRA)	¿CUMPLE?
$M_y$	Viga	0,05	0,136	0,086	OK
$\phi_y$		0,05	0,136	0,048	OK
$M_u$		0,05	0,136	0,07	OK
$\phi_u$		0,05	0,136	0,057	OK

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.2 Valores de resistencia para las secciones de columnas.

##### Simulación de Monte Carlo.

Se obtuvieron los valores de momentos y curvaturas cedentes y últimas para la carga seleccionada (Anexo A.2 y A.3) y para el punto de flexión pura (Anexo A.6 y A.7). Se procesaron los valores antes mencionados, obteniendo así las medias y desviaciones estándares respectivas de cada variable (Tabla 4.17).

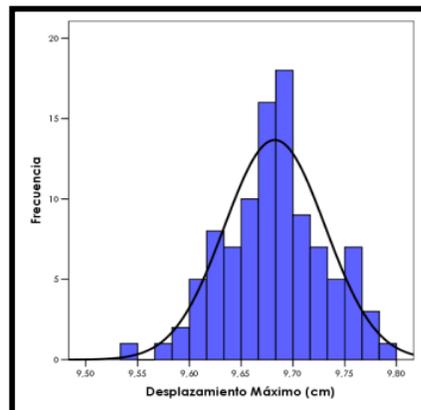
**Tabla 4.17. Valores de resistencia para las secciones de columnas.**

**Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Pb	Balanceada columna PB	100	165561	27015,06	0,163
Mb		100	4598358	372724,361	0,081
$\phi_b$		100	1,18E-04	2,59E-06	0,022
My	Flexión Pura columna PB	100	2379255	132366,589	0,056
$\phi_y$		100	7,86E-05	4,74E-06	0,060
Mu		100	3671958	155254,975	0,042
$\phi_u$		100	2,27E-04	1,67E-05	0,073
Pb	Balanceada columna P1	100	164590,9	26595,1369	0,162
Mb		100	4350867	372213,629	0,086
$\phi_b$		100	1,18E-04	2,59E-06	0,022
My	Flexión Pura columna P1	100	2317128	110730,994	0,048
$\phi_y$		100	7,51E-05	4,44E-06	0,059
Mu		100	3130023	128722,048	0,041
$\phi_u$		100	2,28E-04	3,18E-05	0,140

Fuente: Elaboración Propia.

De cada una de las variables se obtuvo un histograma de frecuencia, así como su respectiva distribución normal teórica, un ejemplo se aprecia en el gráfico 4.5.



**Gráfico 4.5. Desplazamiento máximo en la viga de entrepiso.**

Fuente: Elaboración Propia.

Así como este gráfico, las demás variables tienen su gráfico respectivo (ver anexos) donde cada uno arrojó un buen ajuste a la distribución normal propuesta, el cual fue corroborado con la prueba de Kolmogorov- Smirnov al 5% de significación (Tabla 4.18).

**Tabla 4.18. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores de resistencia para las secciones de columnas.**

VARIABLE	SECCIÓN	$\alpha$	ESTADÍSTICO K-S	VALOR K-S (MUESTRA)	¿CUMPLE?
Pb	Balanceada columna PB	0,05	0,136	0,042	OK
Mb		0,05	0,136	0,072	OK
$\phi b$		0,05	0,136	0,112	OK
My	Flexión Pura columna PB	0,05	0,136	0,065	OK
$\phi y$		0,05	0,136	0,04	OK
Mu		0,05	0,136	0,069	OK
$\phi u$		0,05	0,136	0,065	OK
Pb	Balanceada columna P1	0,05	0,136	0,085	OK
Mb		0,05	0,136	0,077	OK
$\phi b$		0,05	0,136	0,112	OK
My	Flexión Pura columna P1	0,05	0,136	0,064	OK
$\phi y$		0,05	0,136	0,047	OK
Mu		0,05	0,136	0,067	OK
$\phi u$		0,05	0,136	0,043	OK

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.2.3 Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover).

#### Simulación de Monte Carlo.

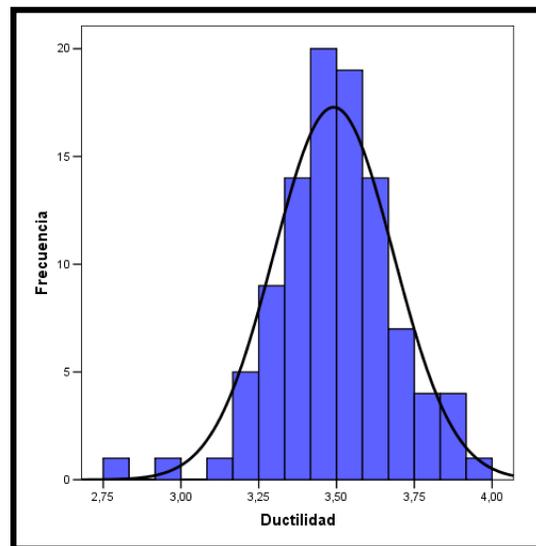
Luego de procesado los valores de entrada se procedió a realizar el análisis inelástico, obteniendo la resistencia alcanzada por la estructura, así como los desplazamientos máximos y las diversas rotaciones que se producen (Tabla 4.19). Los valores completos se observan en los anexos B.8, B.9, B.12, B.13, B.14, B.15, B.16, B.17 y B.18.

**Tabla 4.19. Análisis estadístico de valores de salida. Simulación de Monte Carlo.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Resistencia	VT	100	41475,83	1802,33368	0,043
Desplazamiento Máximo		100	18,9029	0,73557	0,039
Desplazamiento Cedente		100	6,6637	0,28116	0,042
Ductilidad		100	2,8398	0,127	0,045
Resistencia	VE	100	27839,26	1179,99708	0,042
Desplazamiento Máximo		100	9,6825	0,04864	0,005
Desplazamiento Cedente		100	3,4609	0,1475	0,043
Ductilidad		100	2,8028	0,12123	0,043
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	100	0,003272	0,0001995	0,061
Rotación Última		100	0,019608	0,0020183	0,103
Ductilidad		100	5,9893	0,366	0,061
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	100	0,3664296	0,0001852	0,001
Rotación Última		100	0,015821	0,0006525	0,041
Ductilidad		100	5,11988	0,5265921	0,103
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Derecha	100	0,003694	0,0002382	0,064
Rotación Última		100	0,025582	0,0004444	0,017
Ductilidad		100	6,9527	0,44431	0,064
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Izquierda	100	0,003337	0,0002043	0,061
Rotación Última		100	0,025328	0,0004406	0,017
Ductilidad		100	7,6181	0,45726	0,060
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Derecha	100	0,004694	0,0002382	0,051
Rotación Última		100	0,035821	0,0006525	0,018
Ductilidad		100	7,65478	0,4764461	0,062
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Izquierda	100	0,004694	0,0002382	0,051
Rotación Última		100	0,035582	0,00044444	0,012
Ductilidad		100	7,59902	0,3803871	0,050
Rotación Cedente	VIGA - Techo Izquierda	100	0,002694	0,0002382	0,088
Rotación Última		100	0,004395	0,0025668	0,584
Ductilidad		100	1,71254	1,0821053	0,632

Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que para los valores de entrada, se procedió al desarrollo de histogramas de frecuencia (Gráfico 4.6 y anexos) con su respectiva distribución normal teórica; comprobada con el ajuste de bondad (K-S) (Tabla 4.20).



**Gráfico 4.6. Ductilidad en la viga techo en función del desplazamiento.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.20. Prueba de bondad de ajuste K-S. Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover).**

VARIABLE	SECCIÓN	$\alpha$	ESTADÍGRAFO K-S	VALOR K-S (MUESTRA)	¿CUMPLE?
Resistencia	VT	0,05	0,136	0,071	OK
Desplazamiento Máximo				0,096	OK
Desplazamiento Cedente				0,097	OK
Ductilidad				0,059	OK
Resistencia	VE	0,05	0,136	0,057	OK
Desplazamiento Máximo				0,039	OK
Desplazamiento Cedente				0,112	OK
Ductilidad				0,094	OK
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	0,05	0,136	0,126	OK
Rotación Última				0,069	OK
Ductilidad				0,068	OK
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	0,05	0,136	0,126	OK
Rotación Última				0,128	OK
Ductilidad				0,077	OK
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Derecha	0,05	0,136	0,100	OK
Rotación Última				0,135	OK
Ductilidad				0,085	OK
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Izquierda	0,05	0,136	0,109	OK
Rotación Última				0,116	OK
Ductilidad				0,081	OK
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Derecha	0,05	0,136	0,100	OK
Rotación Última				0,128	OK
Ductilidad				0,049	OK
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Izquierda	0,05	0,136	0,100	OK
Rotación Última				0,135	OK
Ductilidad				0,077	OK
Rotación Cedente	VIGA - Techo Izquierda	0,05	0,136	0,100	OK
Rotación Última				0,094	OK
Ductilidad				0,085	OK

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo que cada uno de los parámetros analizados se ajusta a una distribución normal. Además se obtuvo que los valores de la ductilidad en las secciones de vigas son consistentes con la variación de la resistencia

a compresión del concreto, es decir; menores valores de  $f'_c$  implican menor ductilidad y viceversa. Caso contrario ocurre con la variación del esfuerzo cedente del acero, donde para el menor valor de  $f_y$  se observan mayores ductilidades.

#### **4.2.4 Valores de resistencia para las secciones de vigas. Estimadores Puntuales.**

De igual manera como se procesaron los datos según Monte Carlo, se obtuvo los resultados para los cuatro pares de valores según el método de los Estimadores Puntuales.

Se obtuvieron valores de momentos y curvaturas cedentes y últimas para la viga (Anexo B.7). Se procesaron los valores antes mencionados, obteniendo así las medias y desviaciones estándares respectivas de cada variable (Tabla 4.22).

**Tabla 4.21. Valores de resistencia a compresión del concreto y tensión cedente del acero. Estimadores Puntuales.**

<b>VARIABLE</b>	<b>N</b>	<b>MEDIA</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>
$f'_c$	4	287,5	50,22947	0,175
$f_y$	4	4830,5	278,86018	0,058

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.22. Valores de resistencia para las secciones de vigas. Estimadores Puntuales.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
My	Viga	4	3643250	208782,143	0,057
$\phi_y$		4	5,90E-05	3,80E-06	0,064
Mu		4	4275900	194702,303	0,046
$\phi_u$		4	3,90E-04	3,06E-05	0,078

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.2.5 Valores de resistencia para las secciones de columnas.**

##### **Estimadores Puntuales.**

Se obtuvieron los valores de momentos y curvaturas cedentes y últimas para la carga balanceada (Anexo A.4 y A.5) y para el punto de flexión pura (Anexo B.4 y B.5). Se procesaron los valores antes mencionados, obteniendo así las medias y desviaciones estándares respectivas de cada variable (Tabla 4.23).

**Tabla 4.23. Valores de resistencia para las secciones de columnas.  
Estimadores Puntuales.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Pb	Balanceada columna PB	4	168907,5	30083,4311	0,178
Mb		4	4621150	434103,709	0,094
$\phi b$		4	1,18E-04	3,00E-06	0,025
My	Flexión Pura columna PB	4	2452560	161471,597	0,066
$\phi y$		4	7,80E-05	5,20E-06	0,067
Mu		4	3659650	186.420	0,051
$\phi u$		4	2,29E-04	1,79E-05	0,078
	Tracción Pura PB	4	197120	11085,1252	0,056
	Compresión Pura PB	4	553767,5	63288,3709	0,114
Pb	Balanceada columna P1	4	167725	29725,7111	0,177
Mb		4	4375200	432535,787	0,099
$\phi b$		4	1,18E-04	3,00E-06	0,025
My	Flexión Pura columna P1	4	2305300	133670,366	0,058
$\phi y$		4	7,40E-05	4,90E-06	0,066
Mu		4	3116050	152451,621	0,049
$\phi u$		4	2,87E-04	3,53E-05	0,123
	Tracción Pura P1	4	147840	8313,84388	0,056
	Compresión Pura P1	4	506965	63289,0957	0,125

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.2.6 Valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover).**

##### **Estimadores Puntuales.**

Luego de procesados los valores de entrada se procedió a realizar el análisis inelástico, obteniendo la resistencia alcanzada por la estructura, así como los desplazamientos máximos y las diversas rotaciones que se producen (Tabla 4.24). Los valores completos se observan en los anexos.

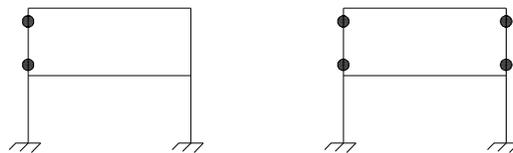
**Tabla 4.24. Análisis estadístico de valores resultados posterior al análisis inelástico (pushover). Estimadores Puntuales.**

VARIABLE		N	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Resistencia	VT	4	41421,79	2191,40075	0,053
Desplazamiento Máximo		4	19,0978	0,70494	0,037
Desplazamiento Cedente		4	6,6893	0,20844	0,031
Ductilidad		4	2,858	0,13834	0,048
Resistencia	VE	4	27740,91	1.370	0,049
Desplazamiento Máximo		4	9,6065	0,04505	0,005
Desplazamiento Cedente		4	3,4178	0,14067	0,041
Ductilidad		4	2,8138	0,1064	0,038
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	4	0,003225	0,0002217	0,069
Rotación Última		4	0,019625	0,0023824	0,121
Ductilidad		4	6,0708	0,41918	0,069
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Derecha	4	0,00305	0,0002082	0,068
Rotación Última		4	0,015875	0,000718	0,045
Ductilidad		4	5,2315	0,54877	0,105
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	4	0,00365	0,0002887	0,079
Rotación Última		4	0,0248	0,000516	0,021
Ductilidad		4	6,674	0,42704	0,064
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Izquierda	4	0,0033	0,0002582	0,078
Rotación Última		4	0,02505	0,0004577	0,018
Ductilidad		4	7,621	0,48719	0,064
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Derecha	4	0,0048	0,000259	0,054
Rotación Última		4	0,03555	0,0006147	0,017
Ductilidad		4	7,4233	0,42384	0,057
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Izquierda	4	0,0048	0,0002559	0,053
Rotación Última		4	0,035125	0,0004997	0,014
Ductilidad		4	7,35989	0,3521	0,048
Rotación Cedente	VIGA - Techo Izquierda	4	0,0027	0,0002414	0,089
Rotación Última		4	0,0045	0,0029967	0,666
Ductilidad		4	1,7133	1,1095	0,648

Fuente: Elaboración Propia.

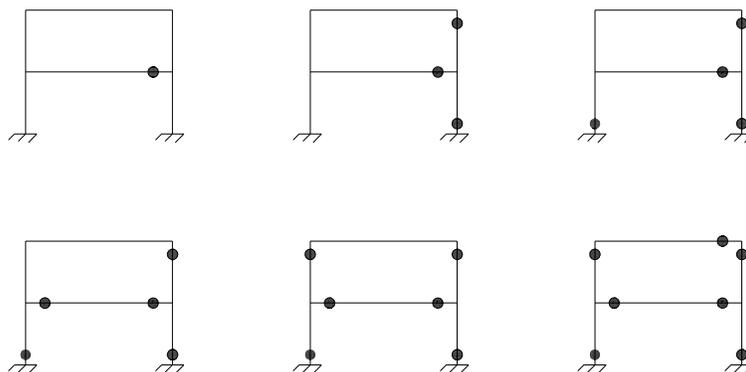
### 4.3 SECUENCIA DE FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS

Las dos figuras que se presentan a continuación buscan expresar o dar a entender como fue el mecanismo de formación de las rótulas plásticas a flexión presentes en el Pórtico 1 y el Pórtico 2. Vale la pena señalar que tanto para los 100 análisis de Simulación de Monte Carlo como los 4 análisis de Estimadores Puntuales, la secuencia de rotulación fue la misma, lo que indica que la variación de la resistencia a compresión del concreto ni de la tensión cedente del acero afectaron este comportamiento.



**Figura 4.1. Secuencia de rotulación del Pórtico 1.**

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 4.2. Secuencia de rotulación del Pórtico 2.**

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.4 CÁLCULO DE PORCENTAJES DE VARIACIÓN

Con la finalidad de determinar qué tan buena es la estimación de valores mediante Estimadores Puntuales, se procedió a utilizar la siguiente fórmula, que considera el comportamiento por Simulación de Monte Carlo como el comportamiento real de la estructura:

$$\%VAR = \frac{X_{EP} - X_{MC}}{X_{MC}} * 100$$

Ecuación 4.1. Porcentaje de variación.

Donde:

%VAR= porcentaje de variación de la variable en estudio.

X<sub>EP</sub>= valor de la variable por Estimadores Puntuales.

X<sub>MC</sub>= valor de la variable por Simulación de Monte Carlo.

#### 4.4.1 Pórtico 1

**Tabla 4.25. Porcentaje de variación de la Media. Secciones.**

Parámetro	Sección	Media		% VAR
		MC	EP	
My	P= 68114kgf columna PB	845631,6	849647,5	0,47
$\phi y$		0,000135	0,000135	-0,22
Mu		864476,9	866625	0,25
$\phi u$		0,000231	0,000231	0,17
My	P= 45536kgf columna P1	462827,7	464890	0,45
$\phi y$		0,00017	0,000169	-0,41
Mu		472153,8	473302,5	0,24
$\phi u$		0,000288	0,000289	0,24
My	Flexión Pura columna PB	238212,6	243615	2,27
$\phi y$		7,09E-05	7,13E-05	0,56
Mu		333324,5	334577,5	0,38
$\phi u$		0,000776	0,000774	-0,18
My	Flexión Pura columna P1	121502,2	125267,5	3,10
$\phi y$		8,88E-05	8,95E-05	0,79
Mu		176335,9	176742,5	0,23
$\phi u$		0,000904	0,0009	-0,40
My	Positivo VT	2186403	2188125	0,08
$\phi y$		4,89E-05	4,89E-05	0,00
Mu		2706043	2709750	0,14
$\phi u$		0,000368	0,000369	0,24
My	Positivo VE	2068992	2069175	0,01
$\phi y$		3,46E-05	3,46E-05	0,00
Mu		2819996	2823950	0,14
$\phi u$		0,00045	0,00045	0,04
My	Negativo VT	1397004	1405700	0,62
$\phi y$		4,16E-05	4,18E-05	0,48
Mu		1860290	1856175	-0,22
$\phi u$		0,00051	0,000511	0,31
My	Negativo VE	1739712	1742875	0,18
$\phi y$		0,000033	3,31E-05	0,30
Mu		2441349	2442150	0,03
$\phi u$		0,0005	0,000501	0,14

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.26. Porcentaje de variación de la Media. Materiales.**

Parámetro	Media		% VAR
	MC	EP	
f'c	229,25	230	0,33
fy	2758,49	2760	0,05

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.27. Porcentaje de variación de la Media. Valores Pushover.**

Parámetro	Sección	Media		% VAR
		MC	EP	
Resistencia	VT	4554,113	4485,113	-1,52
Desplazamiento Máximo		15,4327	14,1538	-8,29
Desplazamiento Cedente		4,4572	3,946	-11,47
Ductilidad		3,4907	3,6145	3,55
Resistencia	VE	3220,73	3171,933	-1,52
Desplazamiento Máximo		15,1792	13,9355	-8,19
Desplazamiento Cedente		4,223	3,7283	-11,71
Ductilidad		3,631	3,774	3,94
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	0,002654	0,002658	0,12
Rotación Última		0,039047	0,035725	-8,51
Ductilidad		14,8412	13,578	-8,51
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Derecha	0,002654	0,002658	0,12
Rotación Última		0,039052	0,035725	-8,52
Ductilidad		14,8428	13,578	-8,52
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	0,002585	0,00258	-0,19
Rotación Última		0,039055	0,035825	-8,27
Ductilidad		15,2559	14,0128	-8,15
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Izquierda	0,002585	0,00258	-0,19
Rotación Última		0,039055	0,035825	-8,27
Ductilidad		15,2459	14,0128	-8,09

Fuente: Elaboración Propia.

Comparando los valores medios obtenidos por el Método de Monte Carlo contra el método de los Estimadores Puntuales, se obtiene la Tabla 4.27. donde se observa el porcentaje de variación de cada variable (momentos y curvaturas cedentes y últimas). Se tiene que los porcentajes de variación no sobrepasando el 3,15% de las 33 variables analizadas en

este caso. Para los valores de salidas, obtenidos del análisis inelástico se observan un porcentaje de variación un poco mayor pero no sobrepasando el 12% para ninguna de las 20 variables analizadas en este pórtico.

**Tabla 4.28. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Secciones.**

Parámetro	Sección	S		% VAR
		MC	EP	
My	P= 68114kgf columna PB	45111,66	44412,24	-1,55
$\phi y$		1,78E-05	1,63E-05	-8,55
Mu		60273,89	67872,1	12,61
$\phi u$		3,45E-05	3,97E-05	15,06
My	P= 45536kgf columna P1	23960,34	23564,74	-1,65
$\phi y$		2,18E-05	1,97E-05	-9,94
Mu		31800,52	35786,15	12,53
$\phi u$		4,22E-05	4,94E-05	17,14
My	Flexión Pura columna PB	11541	14226,08	23,27
$\phi y$		3,82E-06	4,54E-06	18,85
Mu		14862,64	18578,04	25,00
$\phi u$		5,08E-05	4,96E-05	-2,42
My	Flexión Pura columna P1	6019,619	7796,672	29,52
$\phi y$		4,85E-06	5,81E-06	19,79
Mu		8486,033	9464,644	11,53
$\phi u$		0,000101	9,77E-05	-3,45
My	Positivo VT	101992,4	126047,1	23,58
$\phi y$		2,91E-06	3,41E-06	17,18
Mu		95826,09	120690,6	25,95
$\phi u$		2,42E-05	2,67E-05	10,64
My	Positivo VE	97650,33	119820,3	22,70
$\phi y$		1,89E-06	2,22E-06	17,60
Mu		93595,41	121362,2	29,67
$\phi u$		2,37E-05	2,65E-05	11,83
My	Negativo VT	66518,21	81854,63	23,06
$\phi y$		2,16E-06	2,56E-06	18,52
Mu		62451,15	80604,07	29,07
$\phi u$		1,53E-05	1,69E-05	10,41
My	Negativo VE	82302,06	100749,6	22,41
$\phi y$		1,73E-06	2,06E-06	19,08
Mu		80172,23	96001,96	19,74
$\phi u$		2,04E-05	2,29E-05	11,95

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.29. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Materiales.**

Parámetro	S		% VAR
	MC	EP	
f'c	34,62975	39,83717	15,04
fy	130,3999	159,3487	22,20

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.30. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Valores Pushover.**

Parámetro	Sección	S		% VAR
		MC	EP	
Resistencia	VT	343,3113	358,4099	4,40
Desplazamiento Máximo		1,65835	1,81555	9,48
Desplazamiento Cedente		0,70026	0,72833	4,01
Ductilidad		0,19235	0,20164	4,83
Resistencia	VE	242,7942	253,4718	4,40
Desplazamiento Máximo		1,65176	1,81682	9,99
Desplazamiento Cedente		0,70417	0,73003	3,67
Ductilidad		0,23314	0,24555	5,32
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	0,000157	0,000177	12,82
Rotación Última		0,004508	0,004998	10,88
Ductilidad		2,45951	2,78043	13,05
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Derecha	0,000157	0,000177	12,82
Rotación Última		0,004511	0,004998	10,80
Ductilidad		2,4606	2,78043	13,00
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	0,000159	0,000169	6,19
Rotación Última		0,004743	0,004998	5,39
Ductilidad		2,63917	2,85051	8,01
Rotación Cedente	COL-P1-Inferior Izquierda	0,000159	0,000169	6,19
Rotación Última		0,004749	0,004998	5,25
Ductilidad		2,63916	2,85051	8,01

Fuente: Elaboración Propia.

Para la desviación estándar se observa que los porcentajes dan mayores, pero sin pasar del 30 % para todas las variables analizadas. Obteniendo valores de variación mayores en los momentos cedentes y últimos.

Para los valores resultados del análisis estático no lineal se obtienen variaciones no mayores al 15,5% de todos los valores analizados. Produciéndose las mayores variaciones en las rotaciones de la columna de piso 1.

**Tabla 4.31. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación.  
Secciones.**

Parámetro	Sección	C.V.		% VAR
		MC	EP	
My	P= 68114kgf columna PB	0,0533467	0,052271	-2,02
$\phi_y$		0,1315322	0,120549	-8,35
Mu		0,069723	0,078318	12,33
$\phi_u$		0,1496316	0,171874	14,86
My	P= 45536kgf columna P1	0,0517695	0,050689	-2,09
$\phi_y$		0,1286219	0,116322	-9,56
Mu		0,067352	0,075609	12,26
$\phi_u$		0,1464931	0,171181	16,85
My	Flexión Pura columna PB	0,0484483	0,058396	20,53
$\phi_y$		0,0538787	0,063675	18,18
Mu		0,0445891	0,055527	24,53
$\phi_u$		0,0654932	0,064023	-2,25
My	Flexión Pura columna P1	0,0495433	0,06224	25,63
$\phi_y$		0,0546171	0,064916	18,86
Mu		0,0481243	0,05355	11,28
$\phi_u$		0,1119841	0,108555	-3,06
My	Positivo VT	0,0466485	0,057605	23,49
$\phi_y$		0,0595092	0,069734	17,18
Mu		0,0354119	0,044539	25,78
$\phi_u$		0,0656964	0,07251	10,37
My	Positivo VE	0,0471971	0,057907	22,69
$\phi_y$		0,0546243	0,064237	17,60
Mu		0,0331899	0,042976	29,49

Parámetro	Sección	C.V.		% VAR
		MC	EP	
$\phi_u$	Positivo VE	0,0526246	0,058826	11,78
$M_y$	Negativo VT	0,0476149	0,058231	22,29
$\phi_y$		0,0519231	0,061244	17,95
$M_u$		0,0335707	0,043425	29,35
$\phi_u$		0,0299902	0,033007	10,06
$M_y$	Negativo VE	0,0473079	0,057807	22,19
$\phi_y$		0,0524242	0,062236	18,72
$M_u$		0,0328393	0,03931	19,71
$\phi_u$		0,0408318	0,045647	11,79

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.32. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación.  
Materiales.**

Parámetro	C.V.		% VAR
	MC	EP	
$f'_c$	0,1510567	0,173205	14,66
$f_y$	0,0472722	0,057735	22,13

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.33. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación. Valores  
Pushover.**

Parámetro	Sección	C.V.		% VAR
		MC	EP	
Resistencia	VT	0,0753849	0,079911	6,00
Desplazamiento Máximo		0,1074569	0,128273	19,37
Desplazamiento Cedente		0,1571076	0,184574	17,48
Ductilidad		0,0551036	0,055786	1,24
Resistencia	VE	0,0753848	0,079911	6,00
Desplazamiento Máximo		0,1088173	0,130374	19,81
Desplazamiento Cedente		0,1667464	0,195808	17,43
Ductilidad		0,0642082	0,065064	1,33
Rotación Cedente	COL-P1- Superior Derecha	0,0592601	0,066777	12,68
Rotación Última		0,1154467	0,139909	21,19
Ductilidad		0,1657218	0,204775	23,57

Parámetro	Sección	C.V.		% VAR
		MC	EP	
Rotación Cedente	COL-P1- Inferior	0,0592601	0,066777	12,68
Rotación Última		0,1155182	0,139909	21,11
Ductilidad		0,1657773	0,204775	23,52
Rotación Cedente	COL-P1- Superior	0,0614685	0,065395	6,39
Rotación Última		0,1214322	0,139518	14,89
Ductilidad		0,1729934	0,203422	17,59
Rotación Cedente	COL-P1- Izquierda	0,0614685	0,065395	6,39
Rotación Última		0,1216001	0,139518	14,74
Ductilidad		0,1731062	0,203422	17,51

Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que sucede con la desviación estándar, el mayor porcentaje de variación que se presenta es del 30%, y es de esperarse ya que este coeficiente está directamente relacionado con la desviación estándar. Y en los momentos cedentes y últimos son donde se producen las mayores variaciones.

Para el caso de los valores de salida no se superan el 24% de variación en ninguno de los casos (22 variables).

#### 4.4.2 Pórtico 2

**Tabla 4.34. Porcentaje de variación de la Media. Secciones.**

Parámetro	Sección	Media		% VAR
		MC	EP	
Pb	Balanceada columna PB	165561	168907,5	2,02
Mb		4598358	4621150	0,50
$\phi_b$		0,000118	0,000118	-0,25
My	Flexión Pura columna PB	2379255	2452560	3,08
$\phi_y$		7,86E-05	0,000078	-0,76
Mu		3671958	3659650	-0,34
$\phi_u$		0,000227	0,000229	0,88
Pb	Balanceada columna P1	164590,9	167725	1,90
Mb		4350867	4375200	0,56
$\phi_b$		0,000118	0,000118	-0,25
My	Flexión Pura columna P1	2317128	2305300	-0,51
$\phi_y$		7,51E-05	0,000074	-1,46
Mu		3130023	3116050	-0,45
$\phi_u$		0,000284	0,000287	1,14
My	Viga	3662807	3643250	-0,53
$\phi_y$		5,93E-05	0,000059	-0,51
Mu		4294004	4275900	-0,42
$\phi_u$		0,000388	0,00039	0,49
Resistencia	VT	41475,83	41421,79	-0,13
Desplazamiento Máximo		18,9029	19,0978	1,03
Desplazamiento Cedente		6,6637	6,6893	0,38
Ductilidad		2,8398	2,858	0,64
Resistencia	VE	27839,26	27740,91	-0,35
Desplazamiento Máximo		9,6825	9,6065	-0,78
Desplazamiento Cedente		3,4609	3,4178	-1,25
Ductilidad		2,8028	2,8138	0,39

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.35. Porcentaje de variación de la Media. Materiales.**

Parámetro	Media		% VAR
	MC	EP	
fc`	285,02	287,5	0,00870114
fy	4876,39	4830,5	-0,0094106

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.36. Porcentaje de variación de la Media. Valores Pushover.**

Parámetro	Sección	Media		% VAR
		MC	EP	
Resistencia	VT	41475,83	41421,79	-0,13
Desplazamiento Máximo		18,9029	19,0978	1,03
Desplazamiento Cedente		6,6637	6,6893	0,38
Ductilidad		2,8398	2,858	0,64
Resistencia	VE	27839,26	27740,91	-0,35
Desplazamiento Máximo		9,6825	9,6065	-0,78
Desplazamiento Cedente		3,4609	3,4178	-1,25
Ductilidad		2,8028	2,8138	0,39
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	0,003272	0,003225	-1,44
Rotación Última		0,019608	0,019625	0,09
Ductilidad		5,9893	6,0708	1,36
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	0,003664296	0,00305	-9,17
Rotación Última		0,015821	0,015875	0,34
Ductilidad		5,11988	5,2315	2,18
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Derecha	0,003694	0,00365	-1,19
Rotación Última		0,025582	0,0248	-3,06
Ductilidad		6,9527	6,674	-4,01
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Izquierda	0,003337	0,0033	-1,11
Rotación Última		0,025328	0,02505	-1,10
Ductilidad		7,6181	7,621	0,04
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Derecha	0,004694	0,0048	2,26
Rotación Última		0,035821	0,03555	-0,76
Ductilidad		7,65478	7,4233	-3,02
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Izquierda	0,004694	0,0048	2,26
Rotación Última		0,035582	0,035125	-1,28
Ductilidad		7,59902	7,35989	-3,15
Rotación Cedente	VIGA - Techo Izquierda	0,002694	0,0027	0,22
Rotación Última		0,004395	0,0045	2,39
Ductilidad		1,71254	1,7133	0,04

Fuente: Elaboración Propia.

De igual manera como se realizó en el pórtico 1, se desarrolló en el pórtico 2 con cada una de las variables.

Se obtuvo para los valores de entradas (características resistentes de las secciones) y para los valores de salida (resistencia alcanzada por la estructura, rotaciones, ductilidades), que el porcentaje de variación no superó el 3,5% de las 49 variables analizadas

**Tabla 4.37. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Secciones.**

Parámetro	Sección	S		% VAR
		MC	EP	
Pb	Balanceada columna PB	27015,06	30083,4311	11,36
Mb		372724,361	434103,709	16,47
$\phi_b$		2,5893E-06	0,000003	15,86
My	Flexión Pura columna PB	132366,589	161471,597	21,99
$\phi_y$		4,7379E-06	0,0000052	9,75
Mu		155254,975	186.420	20,07
$\phi_u$		1,6669E-05	0,0000179	7,38
Pb	Balanceada columna P1	26595,1369	29725,7111	11,77
Mb		372213,629	432535,787	16,21
$\phi_b$		2,5893E-06	0,000003	15,86
My	Flexión Pura columna P1	110730,994	133670,366	20,72
$\phi_y$		4,4412E-06	0,0000049	10,33
Mu		128722,048	152451,621	18,43
$\phi_u$		3,1826E-05	0,0000353	10,92
My	Viga	175982,803	208782,143	18,64
$\phi_y$		3,4326E-06	0,0000038	10,70
Mu		160124,521	194702,303	21,59
$\phi_u$		2,8313E-05	0,0000306	8,08

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.38. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Materiales**

Parámetro	S		% VAR
	MC	EP	
fc`	44,53531	50,22947	12,79
fy	236,69632	278,86018	17,81

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.39. Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Valores Pushover.**

Parámetro	Sección	S		% VAR
		MC	EP	
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	0,0001995	0,0002217	11,13
Rotación Última		0,0020183	0,0023824	18,04
Ductilidad		0,366	0,41918	14,53
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	0,0001852	0,0002082	12,42
Rotación Última		0,0006525	0,000718	10,04
Ductilidad		0,5265921	0,54877	4,21
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Derecha	0,0002382	0,0002887	21,20
Rotación Última		0,0004444	0,000516	16,11
Ductilidad		0,44431	0,42704	-3,89
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Izquierda	0,0002043	0,0002582	26,38
Rotación Última		0,0004406	0,0004577	3,88
Ductilidad		0,45726	0,48719	6,55
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Derecha	0,0002382	0,000259	8,73
Rotación Última		0,0006525	0,0006147	-5,79
Ductilidad		0,4764461	0,42384	-11,04
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Izquierda	0,0002382	0,0002559	7,43
Rotación Última		0,00044444	0,0004997	12,43
Ductilidad		0,3803871	0,3521	-7,44

**Tabla 4.39. (Continuación). Porcentaje de variación de la Desviación Estándar. Valores Pushover.**

Parámetro	Sección	S		% VAR
		MC	EP	
Rotación Cedente	VIGA - Techo Izquierda	0,0002382	0,0002414	1,34
Rotación Última		0,0025668	0,0029967	16,75
Ductilidad		1,0821053	1,1095	2,53

Fuente: Elaboración Propia.

Para la desviación estándar se observa que los porcentajes dan mayores, pero sin pasar del 30 % para todas las variables analizadas. Obteniendo valores de variación mayores en los momentos cedentes y últimos.

**Tabla 4.40. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación.  
Secciones.**

Parámetro	Sección	C.V.		% VAR
		MC	EP	
Pb	Balanceada columna PB	0,163173	0,178106	9,15
Mb		0,081056	0,093938	15,89
$\phi_b$		0,021888	0,025424	16,16
My	Flexión Pura columna PB	0,055634	0,065838	18,34
$\phi_y$		0,060279	0,066667	10,60
Mu		0,042281	0,050939	20,48
$\phi_u$		0,073433	0,078166	6,45
Pb	Balanceada columna P1	0,161583	0,177229	9,68
Mb		0,085549	0,098861	15,56
$\phi_b$		0,021888	0,025424	16,16
My	Flexión Pura columna P1	0,047788	0,057984	21,34
$\phi_y$		0,059137	0,066216	11,97
Mu		0,041125	0,048925	18,97
$\phi_u$		0,112162	0,122997	9,66
My	Viga	0,048046	0,057307	19,27
$\phi_y$		0,057885	0,064407	11,27
Mu		0,03729	0,045535	22,11
$\phi_u$		0,072952	0,078462	7,55

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.41. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación.  
Materiales.**

Parámetro	C.V.		% VAR
	MC	EP	
fc`	0,156253	0,174711	11,81
fy	0,048539	0,057729	18,93

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4.42. Porcentaje de variación del Coeficiente de Variación. Valores Pushover.**

Parámetro	Sección	C.V.		% VAR
		MC	EP	
Resistencia	VT	0,043455	0,052905	21,75
Desplazamiento Máximo		0,038913	0,036912	-5,14
Desplazamiento Cedente		0,042193	0,03116	-26,15
Ductilidad		0,044721	0,048404	8,24
Resistencia	VE	0,042386	0,049368	16,47
Desplazamiento Máximo		0,005023	0,00469	-6,65
Desplazamiento Cedente		0,042619	0,041158	-3,43
Ductilidad		0,043253	0,037814	-12,58
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Derecha	0,0505	0,068744	13,41
Rotación Última		0,102932	0,121396	17,94
Ductilidad		0,061109	0,069049	12,99
Rotación Cedente	COL-P1-Superior Izquierda	0,000505	0,068262	13406,12
Rotación Última		0,041243	0,045228	9,66
Ductilidad		0,102852	0,104897	1,99
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Derecha	0,064483	0,079096	22,66
Rotación Última		0,017372	0,020806	19,77
Ductilidad		0,063905	0,063986	0,13
Rotación Cedente	COL-PB-Inferior Izquierda	0,061223	0,078242	27,80
Rotación Última		0,017396	0,018271	5,03
Ductilidad		0,060023	0,063927	6,50
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Derecha	0,050746	0,053958	6,33
Rotación Última		0,018216	0,017291	-5,07
Ductilidad		0,062242	0,057096	-8,27
Rotación Cedente	VIGA - Entrepiso Izquierda	0,050746	0,053313	5,06
Rotación Última		0,012491	0,014226	13,90
Ductilidad		0,050057	0,04784	-4,43
Rotación Cedente	VIGA - Techo Izquierda	0,088419	0,089407	1,12
Rotación Última		0,584027	0,665933	14,02
Ductilidad		0,631872	0,647581	2,49

Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que sucede con la desviación estándar, el porcentaje de variación que mayor se presenta es del 30%, y es de esperarse ya que este coeficiente está directamente relacionado con la desviación estándar. Y en los momentos cedentes y últimos son donde se producen las mayores variaciones.

Resumiendo, se observa que la aproximación al comportamiento real de la estructura mediante el método de Estimadores Puntuales, resulta bastante buena, al obtenerse porcentajes de variación bajos. En el Pórtico 1 se observó que la media supera porcentajes de variación del 5% en el 76% de las variables estudiadas, sin embargo, nunca superó un porcentaje de variación del 12%. Para el Pórtico 2, los resultados de la media fueron todavía mejores, pues en el 100% de las variables estudiadas no se superó el 5% de variación. Para el caso de la desviación estándar se observó también que en ninguna de las variables estudiadas se superaron valores del 30%.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Tras el estudio de dos sistemas de pórticos de concreto reforzado, se evaluó -a través de valores aleatorios de resistencia a compresión del concreto y la tensión cedente del acero, variables aleatorias y que presentan una distribución normal- la estimación probabilística de su comportamiento, tanto por Simulación de Monte Carlo como por Estimadores Puntuales. Este estudio permitió contrastar ambos métodos y medir de cierta forma la eficiencia de los Estimadores Puntuales. Una vez realizada la comparación entre los resultados de ambos métodos se concluye que:

- a. Las distribuciones probabilísticas que gobernaron los parámetros estudiados fueron las distribuciones normales, ajustándose todos los valores de Simulación de Monte Carlo (valores de entrada como de salida) a la misma.
- b. La secuencia de formación de las rótulas plásticas a flexión (obtenidos gracias a la aplicación del método estático no lineal) para cada pórtico no se vio afectada por la variación de la resistencia del concreto ni de la tensión cedente del acero.
- c. Se observa que el método de los Estimadores Puntuales puede considerarse como un buen estimador probabilístico en el comportamiento de una estructura. Para valores medios se presentó un mejor ajuste, donde no se superaron porcentajes de variación del

12%. En el caso de desviaciones estándar y coeficiente de variación los ajustes son menores, observándose porcentajes de variación hasta del 30%.

- d. Estos resultados toman validez para sistemas estructurales sencillos y estudiados a flexión, como fue el caso de análisis en este Trabajo Especial de Grado.
- e. Se puede usar el método de los Estimadores puntuales como un estudio previo, con el fin de ofrecer indicios de cómo se comportan las variables que se analicen.
- f. El método de los Estimadores Puntuales resulta ventajoso frente a la Simulación de Monte Carlo, al observarse que se pueden obtener resultados análogos a los del comportamiento real de una estructura con un número menor de análisis. Esta ventaja no se obtiene en todos los casos, ya que el aumento de las combinaciones o casos de análisis presenta un incremento exponencial de la forma  $2^n$ , siendo  $n$  el número de variables, por lo que, para un estudio que contemple más de 7 variables el método de la Simulación de Monte Carlo resultaría más ventajoso que el de Estimadores Puntuales, en el caso de utilizar 100 casos de análisis para Monte Carlo, al requerir menos ensayos para la obtención de resultados.

Del trabajo realizado se generaron las siguientes recomendaciones:

- a. Realizar nuevos estudios en los cuales se analicen estructuras más complejas, con el objetivo de explorar y conocer los límites de este método.
- b. Considerar el efecto de mecanismos de falla frágil en las estructuras, tales como: corte, adherencia, comportamiento de empalmes por solape, pandeo longitudinal del acero, entre otros; dado que para este Trabajo Especial de Grado sólo se tomaron en cuenta los casos a flexión. En la medida en que se ensayen más variables y existan más casos de análisis, este método podrá enriquecerse y validarse.
- c. Considerar el efecto de otras distribuciones para la variables aleatorias ( $f'_c$  y  $f_y$ ), así como otros coeficientes de variación de las mismas.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Burbano, L. (s.f.). *Monografias.com*. Recuperado el 15 de Julio de 2007, de <http://www.monografias.com/trabajos12/puntu/puntu.shtml>

Carderón, B. (s.f.). *Universidad de Antioquia*. Recuperado el 15 de Julio de 2007, de [http://bochica.udea.edu.co/~bcalderon/3\\_metodosestimacion.html](http://bochica.udea.edu.co/~bcalderon/3_metodosestimacion.html)

Castilla, E., & Marinilli, A. (2000). Propiedades del acero de refuerzo para el diseño de estructuras sismorresistentes. *Boletín Técnico IMME*, 39 (1).

Cóceres, H., Möller, O., & Rubinstein, M. (2000). *ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DE ESTRUCTURAS ESPACIALES*. Rosario, Argentina.

*Construaprende*. (s.f.). Recuperado el 11 de Julio de 2007, de <http://www.construaprende.com/t/02/T2Pag8.php>

COVENIN 803. "Aceros. Definiciones Y Clasificación".

COVENIN 1753:2006. "Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural".

COVENIN 1756:2001. "Edificaciones Sismorresistentes".

COVENIN 2004. "Terminología Edificaciones".

*Escuela de Ingeniería de Antioquia.* (s.f.). Recuperado el 11 de Julio de 2007, de [http://estructuras.eia.edu.co/hormigonII/Fuerzas%20sismicas/fuerzas\\_s%C3%ADsmicas\\_de\\_dise%C3%B1o.htm](http://estructuras.eia.edu.co/hormigonII/Fuerzas%20sismicas/fuerzas_s%C3%ADsmicas_de_dise%C3%B1o.htm)

*Estadístico.* (s.f.). Recuperado el 15 de Febrero de 2008, de <http://estadistico.com/dic.html?p=894>

*Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.* (s.f.). Recuperado el 15 de Julio de 2007, de <http://www.funvisis.org.ve/>

*Iberisa.* (s.f.). Recuperado el 15 de Julio de 2007, de <http://www.iberisa.com/designstar/nonlinear.htm>

Marinilli M, A. (1997). Análisis probabilístico de asentamientos en estructuras de tierra. *Boletín Técnico IMME* , 35 (2).

Melchers, R. (1999). *Structural reliability analysis and prediction* (Segunda edición ed.). Inglaterra: John Wiley & Sons.

Mercedez, R. (s.f.). ARQHYS. Recuperado el 11 de Julio de 2007, de <http://www.arqhys.com/construccion/reforzado-concreto.html>

Miñano, R. (s.f.). *Universidad Politécnica de Madrid.* Recuperado el 16 de Julio de 2007, de Escuela Universitaria de Informática: <http://www.eui.upm.es/~rafami/Estadistica/Material/Tema7-Alumnos.pdf>

Park, R., & Paulay, T. (1979). *Estructuras de Concreto Reforzado*. México D.F.: Limusa.

Porrero, J. (2004). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: Sidetur.

*Proceedings of the National Academy of Sciences*. (s.f.). Recuperado el 15 de Julio de 2007, de [www.pnas.org/misc/rightperm.shtml](http://www.pnas.org/misc/rightperm.shtml)

*Universidad de Buenos Aires*. (s.f.). Recuperado el 11 de Julio de 2007, de [http://www.dm.uba.ar/materias/probabilidades\\_estadistica\\_C/2004/2/PyEC13.pdf](http://www.dm.uba.ar/materias/probabilidades_estadistica_C/2004/2/PyEC13.pdf)

*Universidad Técnica Federico Santa María*. (s.f.). Recuperado el 11 de Julio de 2007, de Departamento de Informática: [www.inf.utfsm.cl/~hallende/download/Esta-2-2001/Cap7.2001-2.ppt](http://www.inf.utfsm.cl/~hallende/download/Esta-2-2001/Cap7.2001-2.ppt)

*Wikipedia*. (s.f.). Recuperado el 8 de Mayo de 2008, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Prueba\\_de\\_Kolmogorov-Smirnov](http://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_de_Kolmogorov-Smirnov)

*Wikipedia*. (s.f.). Recuperado el 8 de Mayo de 2008, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Prueba\\_de\\_Kolmogorov-Smirnov](http://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_de_Kolmogorov-Smirnov)

*Wikipedia*. (s.f.). Recuperado el 22 de Julio de 2007, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Variable\\_aleatoria](http://es.wikipedia.org/wiki/Variable_aleatoria)

*Wikipedia*. (s.f.). Recuperado el 22 de Julio de 2007, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n\\_normal](http://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_normal)

*Wikipedia.* (s.f.). Recuperado el 22 de Julio de 2007, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_elasticidad\\_de\\_Hooke](http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_elasticidad_de_Hooke)

*Wikipedia.* (s.f.). Recuperado el 22 de Julio de 2007, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n\\_armado](http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n_armado)

## **ANEXOS**

Anexo A. Anexos asociados al Pórtico 1.  
Gráfico A. Gráficos asociados al Pórtico 1.  
Anexo B. Anexos asociados al Pórtico 2.  
Gráfico B. Gráficos asociados al Pórtico 2.

**Anexo A.1. Valores  $f'_c$  y  $f_y$  para SIMULACIÓN DE MONTE CARLO**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	f'c	fy
	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )
1	216	2813
2	251	2496
3	206	2778
4	270	2795
5	169	2851
6	237	2890
7	227	3059
8	225	2852
9	193	2629
10	259	2834
11	177	2961
12	237	2690
13	205	2998
14	283	2703
15	275	2605
16	266	2903
17	266	2763
18	210	2716
19	218	2668
20	165	2790
21	251	2978
22	276	2934
23	211	2776
24	223	2796
25	209	2621
26	236	2691
27	220	2640
28	260	2726
29	261	2641
30	156	2669
31	273	2520
32	235	2980
33	280	2863
34	297	2744
35	292	2845
36	285	2754
37	198	2684
38	208	3002
39	256	2870
40	237	2623
41	213	2771
42	209	2810
43	210	2471
44	239	2697
45	197	2878
46	202	2567
47	253	2738
48	233	2598
49	182	2575
50	241	2838

N°	f'c	fy
	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )
51	229	2682
52	253	2972
53	222	2628
54	212	2745
55	196	2880
56	230	2770
57	215	2542
58	286	2817
59	195	2668
60	258	2813
61	186	2898
62	252	2602
63	169	2750
64	252	2762
65	235	2764
66	252	2667
67	281	2905
68	237	2845
69	207	2631
70	205	2744
71	197	2736
72	253	2855
73	347	2585
74	279	2532
75	240	2746
76	243	2609
77	283	2645
78	233	2713
79	218	2862
80	181	2682
81	233	3049
82	248	2845
83	246	2814
84	227	2662
85	167	2833
86	239	2744
87	204	2820
88	248	2956
89	187	2846
90	206	2706
91	189	2956
92	251	2735
93	195	2698
94	175	2906
95	211	2842
96	186	2566
97	206	2780
98	218	2651
99	229	2513
100	216	2783

**Anexo A.2. CARGA AXIAL P = 45536 kgf. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.**

**Piso 1**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
1	462886	1.73E-04	466894	2.71E-04
2	464221	1.46E-04	484541	3.16E-04
3	455015	1.76E-04	455464	2.59E-04
4	487948	1.53E-04	508144	3.39E-04
5	406755	2.28E-04	406636	2.14E-04
6	476296	1.67E-04	488214	2.99E-04
7	479517	1.79E-04	486130	2.86E-04
8	470648	1.71E-04	476711	2.83E-04
9	436731	1.80E-04	434719	2.43E-04
10	482621	1.57E-04	502694	3.26E-04
11	426682	2.17E-04	426046	2.22E-04
12	469566	1.59E-04	480747	2.99E-04
13	463255	1.88E-04	462525	2.58E-04
14	485450	1.45E-04	513256	3.53E-04
15	477301	1.43E-04	504147	3.47E-04
16	489863	1.58E-04	509093	3.33E-04
17	482133	1.52E-04	504544	3.35E-04
18	455008	1.71E-04	457036	2.64E-04
19	456915	1.65E-04	463443	2.74E-04
20	395556	2.33E-04	396007	2.11E-04
21	487744	1.66E-04	502538	3.16E-04
22	493604	1.56E-04	516227	3.43E-04
23	458854	1.74E-04	460351	2.65E-04
24	465407	1.69E-04	472869	2.80E-04
25	449969	1.68E-04	452401	2.63E-04
26	468085	1.59E-04	480097	2.97E-04
27	457712	1.63E-04	464301	2.77E-04
28	479601	1.53E-04	499003	3.28E-04
29	475230	1.49E-04	497342	3.28E-04
30	359576	2.62E-04	371199	2.01E-04
31	475086	1.41E-04	500714	3.43E-04
32	480927	1.72E-04	490185	2.96E-04
33	491803	1.52E-04	515502	3.49E-04
34	490670	1.44E-04	520568	3.68E-04
35	495503	1.49E-04	521300	3.61E-04
36	490438	1.47E-04	515254	3.55E-04
37	444368	1.79E-04	442822	2.49E-04
38	464615	1.86E-04	465524	2.62E-04
39	485053	1.60E-04	501773	3.23E-04
40	465947	1.56E-04	478245	2.99E-04
41	459497	1.72E-04	462272	2.68E-04
42	457936	1.76E-04	459458	2.63E-04
43	444428	1.61E-04	447888	2.64E-04
44	470353	1.59E-04	483262	3.00E-04
45	450767	1.88E-04	448799	2.48E-04
46	441999	1.70E-04	442893	2.54E-04
47	477024	1.55E-04	495580	3.17E-04
48	463172	1.57E-04	474466	2.93E-04
49	421440	1.89E-04	418531	2.29E-04
50	477855	1.64E-04	489807	3.03E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
51	464941	1.62E-04	473679	2.88E-04
52	487046	1.65E-04	504218	3.17E-04
53	457110	1.61E-04	465697	2.79E-04
54	458218	1.72E-04	460255	2.67E-04
55	450129	1.89E-04	447596	2.47E-04
56	468912	1.65E-04	477754	2.90E-04
57	451335	1.61E-04	455772	2.70E-04
58	491521	1.49E-04	517874	3.55E-04
59	440435	1.80E-04	438811	2.45E-04
60	482333	1.57E-04	501549	3.24E-04
61	439022	2.01E-04	435828	2.34E-04
62	470942	1.50E-04	488963	3.17E-04
63	404666	2.20E-04	404282	2.14E-04
64	477970	1.57E-04	494937	3.17E-04
65	470488	1.62E-04	482120	2.96E-04
66	474644	1.53E-04	491390	3.17E-04
67	494094	1.54E-04	517746	3.49E-04
68	475200	1.65E-04	486534	2.99E-04
69	449071	1.69E-04	450556	2.61E-04
70	452419	1.75E-04	453041	2.58E-04
71	445786	1.82E-04	443497	2.48E-04
72	482287	1.60E-04	499949	3.17E-04
73	497183	1.29E-04	538527	4.20E-04
74	477808	1.40E-04	504509	3.51E-04
75	473647	1.60E-04	485740	3.02E-04
76	467635	1.53E-04	482466	3.06E-04
77	482337	1.43E-04	510331	3.55E-04
78	468428	1.61E-04	478760	2.93E-04
79	467484	1.75E-04	470687	2.74E-04
80	424208	1.96E-04	421294	2.27E-04
81	483269	1.76E-04	491305	2.93E-04
82	480080	1.61E-04	495041	3.13E-04
83	477153	1.60E-04	492822	3.09E-04
84	462720	1.61E-04	471307	2.86E-04
85	401773	2.31E-04	401328	2.12E-04
86	471882	1.60E-04	485017	3.00E-04
87	455819	1.80E-04	454713	2.56E-04
88	484236	1.66E-04	499185	3.13E-04
89	438055	1.96E-04	435309	2.35E-04
90	451406	1.73E-04	452776	2.59E-04
91	444702	2.00E-04	441875	2.38E-04
92	476946	1.56E-04	493465	3.16E-04
93	442190	1.82E-04	439932	2.45E-04
94	421296	2.18E-04	421044	2.20E-04
95	461320	1.77E-04	462815	2.65E-04
96	426209	1.84E-04	423432	2.34E-04
97	455153	1.77E-04	455539	2.59E-04
98	458070	1.65E-04	462808	2.74E-04
99	457146	1.54E-04	467369	2.88E-04
100	463018	1.72E-04	465773	2.71E-04

**Anexo A.3. CARGA AXIAL P = 68114 kgf. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.**

**Planta Baja**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
1	849447	1.37E-04	854372	2.17E-04
2	849852	1.16E-04	885993	2.52E-04
3	832594	1.41E-04	832168	2.08E-04
4	887826	1.21E-04	933174	2.71E-04
5	743268	1.81E-04	741716	1.71E-04
6	875067	1.32E-04	896115	2.38E-04
7	882625	1.41E-04	893087	2.28E-04
8	864271	1.35E-04	873314	2.26E-04
9	795990	1.44E-04	793043	1.94E-04
10	887106	1.25E-04	921915	2.61E-04
11	780267	1.74E-04	778998	1.78E-04
12	856298	1.26E-04	880592	2.38E-04
13	849692	1.49E-04	847616	2.06E-04
14	890485	1.16E-04	941190	2.84E-04
15	875312	1.14E-04	924334	2.77E-04
16	899065	1.26E-04	936165	2.68E-04
17	886205	1.21E-04	925298	2.68E-04
18	831722	1.37E-04	835611	2.11E-04
19	837497	1.32E-04	846345	2.20E-04
20	720304	1.87E-04	721455	1.69E-04
21	892744	1.31E-04	923404	2.52E-04
22	905327	1.24E-04	950628	2.78E-04
23	838829	1.38E-04	842460	2.12E-04
24	856206	1.34E-04	865185	2.25E-04
25	821533	1.34E-04	826028	2.11E-04
26	858160	1.26E-04	879044	2.37E-04
27	835583	1.30E-04	848172	2.21E-04
28	878013	1.21E-04	914636	2.62E-04
29	867926	1.18E-04	910709	2.62E-04
30	652180	2.10E-04	674725	1.62E-04
31	861528	1.12E-04	916146	2.74E-04
32	884791	1.36E-04	899830	2.36E-04
33	901073	1.21E-04	949796	2.82E-04
34	900907	1.15E-04	958890	2.99E-04
35	905360	1.18E-04	960727	2.94E-04
36	895824	1.17E-04	946289	2.87E-04
37	810525	1.43E-04	808358	1.99E-04
38	855674	1.48E-04	854082	2.09E-04
39	886134	1.27E-04	921254	2.58E-04
40	852319	1.24E-04	875392	2.38E-04
41	841677	1.37E-04	845620	2.14E-04
42	839813	1.41E-04	840697	2.11E-04
43	807937	1.29E-04	816595	2.11E-04
44	858628	1.25E-04	884320	2.40E-04
45	825257	1.51E-04	821479	1.98E-04
46	805689	1.36E-04	807776	2.03E-04
47	871754	1.23E-04	907339	2.54E-04
48	845340	1.24E-04	866828	2.34E-04
49	767699	1.51E-04	762022	1.83E-04
50	872390	1.29E-04	897105	2.43E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
51	850083	1.28E-04	866395	2.31E-04
52	897037	1.31E-04	925502	2.54E-04
53	839164	1.29E-04	851167	2.23E-04
54	837259	1.37E-04	841457	2.14E-04
55	823654	1.52E-04	819145	1.97E-04
56	860244	1.31E-04	874994	2.32E-04
57	821259	1.29E-04	831260	2.17E-04
58	901032	1.19E-04	953716	2.87E-04
59	803862	1.44E-04	800681	1.96E-04
60	885242	1.25E-04	919158	2.60E-04
61	802318	1.60E-04	797107	1.88E-04
62	860625	1.19E-04	895515	2.53E-04
63	737751	1.76E-04	736875	1.71E-04
64	873827	1.24E-04	907933	2.53E-04
65	864516	1.29E-04	883065	2.36E-04
66	864431	1.21E-04	900560	2.53E-04
67	906867	1.22E-04	953699	2.83E-04
68	871512	1.31E-04	892622	2.38E-04
69	819350	1.35E-04	823031	2.08E-04
70	827054	1.41E-04	827902	2.06E-04
71	813578	1.46E-04	810458	1.98E-04
72	884867	1.27E-04	916420	2.54E-04
73	904411	1.03E-04	989521	3.49E-04
74	868647	1.11E-04	923433	2.80E-04
75	866128	1.27E-04	889684	2.41E-04
76	852216	1.21E-04	882311	2.45E-04
77	882973	1.14E-04	936688	2.84E-04
78	858325	1.28E-04	875753	2.34E-04
79	855089	1.38E-04	861403	2.20E-04
80	773134	1.57E-04	767808	1.82E-04
81	886157	1.39E-04	901832	2.34E-04
82	878977	1.28E-04	909065	2.49E-04
83	877021	1.28E-04	902527	2.48E-04
84	847179	1.28E-04	862273	2.28E-04
85	732599	1.85E-04	732083	1.70E-04
86	863026	1.27E-04	887968	2.40E-04
87	832021	1.44E-04	831482	2.05E-04
88	889971	1.32E-04	917680	2.49E-04
89	800978	1.58E-04	795763	1.88E-04
90	824901	1.39E-04	826579	2.08E-04
91	814116	1.60E-04	808874	1.90E-04
92	870619	1.23E-04	904544	2.52E-04
93	805925	1.45E-04	803009	1.96E-04
94	769910	1.74E-04	769113	1.76E-04
95	845884	1.41E-04	847583	2.12E-04
96	776437	1.47E-04	771339	1.88E-04
97	832855	1.42E-04	832323	2.08E-04
98	834636	1.31E-04	845026	2.20E-04
99	834390	1.23E-04	853278	2.31E-04
100	847392	1.37E-04	852044	2.17E-04

**Anexo A.4. CARGA AXIAL P = 45536 kgf. ESTIMADORES PUNTUALES. Piso 1**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
1	490560	1,59E-04	508340	3,31E-04
2	451120	1,92E-04	447840	2,46E-04
3	478260	1,48E-04	499500	3,31E-04
4	439620	1,78E-04	437530	2,46E-04

**Anexo A.5. CARGA AXIAL P = 68114 kgf. ESTIMADORES PUNTUALES. Planta**

**Baja**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
1	899170	1,26E-04	935130	2,65E-04
2	825100	1,53E-04	819540	1,97E-04
3	872870	1,17E-04	913710	2,65E-04
4	801450	1,43E-04	798120	1,97E-04

**Anexo A.6. FLEXIÓN PURA. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Piso 1**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
1	124085	9.11E-05	176618	8.45E-04
2	110201	7.90E-05	170488	1.03E-03
3	122371	9.06E-05	172476	8.33E-04
4	122968	8.76E-05	184804	1.02E-03
5	124871	9.59E-05	166514	7.69E-04
6	127563	9.24E-05	185019	8.70E-04
7	134745	9.84E-05	189461	8.45E-04
8	125471	9.18E-05	179847	8.57E-04
9	116103	8.66E-05	163651	8.22E-04
10	124993	8.94E-05	184489	9.68E-04
11	129743	9.89E-05	171677	7.79E-04
12	119152	8.60E-05	175872	9.23E-04
13	132741	9.81E-05	179754	8.22E-04
14	119037	8.41E-05	183201	1.09E-03
15	114596	8.13E-05	178392	1.09E-03
16	128129	9.12E-05	189161	9.68E-04
17	122232	8.68E-05	184559	1.00E-03
18	119606	8.83E-05	170308	8.45E-04
19	117151	8.61E-05	170000	8.70E-04
20	122129	9.42E-05	165354	7.59E-04
21	132137	9.45E-05	189889	8.96E-04
22	130428	9.19E-05	191046	1.00E-03
23	122436	9.02E-05	176233	8.33E-04
24	124056	9.03E-05	177319	8.57E-04
25	115318	8.52E-05	167784	8.45E-04
26	118909	8.60E-05	175176	9.23E-04
27	116575	8.52E-05	169615	8.82E-04
28	120712	8.60E-05	180666	1.00E-03
29	115805	8.30E-05	179051	1.02E-03
30	116180	9.08E-05	155708	7.59E-04
31	110543	7.87E-05	174805	1.11E-03
32	132371	9.56E-05	185235	8.70E-04
33	126733	8.94E-05	191196	1.02E-03
34	120736	8.48E-05	189000	1.11E-03
35	125523	8.83E-05	191180	1.07E-03
36	121678	8.57E-05	186905	1.07E-03
37	118679	8.81E-05	168517	8.22E-04
38	132390	9.79E-05	182133	8.22E-04
39	127343	9.08E-05	186889	9.38E-04
40	114830	8.35E-05	171833	9.52E-04
41	122873	9.01E-05	173584	8.45E-04
42	123202	9.13E-05	175350	8.33E-04
43	107972	8.00E-05	160627	8.96E-04
44	118480	8.59E-05	175225	9.38E-04
45	126429	9.45E-05	175168	8.11E-04
46	112295	8.37E-05	165501	8.33E-04
47	120941	8.66E-05	180484	9.68E-04
48	114158	8.30E-05	171109	9.38E-04
49	112836	8.54E-05	161462	8.00E-04
50	124959	9.04E-05	182752	8.96E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
51	118030	8.60E-05	174187	8.96E-04
52	132484	9.43E-05	189162	9.09E-04
53	115209	8.46E-05	169191	8.96E-04
54	121458	8.92E-05	172349	8.45E-04
55	126158	9.46E-05	174428	8.11E-04
56	122012	8.88E-05	176843	8.82E-04
57	111010	8.21E-05	166001	8.82E-04
58	124589	8.77E-05	190028	1.05E-03
59	117016	8.76E-05	165915	8.22E-04
60	123837	8.87E-05	183821	9.68E-04
61	127689	9.62E-05	174210	7.89E-04
62	114937	8.23E-05	175477	1.00E-03
63	120426	9.46E-05	157503	7.41E-04
64	121677	8.74E-05	181985	9.52E-04
65	121687	8.83E-05	178470	8.96E-04
66	117680	8.44E-05	177647	9.84E-04
67	128770	9.07E-05	191836	1.02E-03
68	125676	9.09E-05	181903	8.82E-04
69	115120	8.55E-05	166471	8.45E-04
70	120624	8.95E-05	171082	8.33E-04
71	120519	8.99E-05	168720	8.22E-04
72	125860	9.03E-05	184830	9.38E-04
73	112550	7.82E-05	190527	1.33E-03
74	110896	7.88E-05	175901	1.13E-03
75	120816	8.75E-05	177958	9.23E-04
76	114372	8.28E-05	173809	9.68E-04
77	116589	8.23E-05	183201	1.09E-03
78	118973	8.67E-05	175071	9.09E-04
79	126786	9.27E-05	179033	8.45E-04
80	118277	8.93E-05	162674	8.00E-04
81	134616	9.78E-05	189452	8.57E-04
82	125661	9.03E-05	183520	9.23E-04
83	123787	8.93E-05	182130	9.23E-04
84	116615	8.54E-05	172760	8.96E-04
85	124706	9.57E-05	164554	7.69E-04
86	120447	8.74E-05	177262	9.23E-04
87	124945	9.23E-05	175663	8.22E-04
88	130315	9.38E-05	187748	8.96E-04
89	125899	9.44E-05	170450	8.00E-04
90	119360	8.83E-05	171132	8.33E-04
91	129735	9.78E-05	177677	7.89E-04
92	120270	8.65E-05	179149	9.68E-04
93	118264	8.86E-05	166475	8.22E-04
94	128123	9.75E-05	169044	7.79E-04
95	125193	9.24E-05	177465	8.33E-04
96	112491	8.49E-05	160798	8.11E-04
97	122454	9.07E-05	172513	8.33E-04
98	116441	8.56E-05	170000	8.70E-04
99	110922	8.06E-05	166419	9.52E-04
100	122830	9.02E-05	176058	8.45E-04

**Anexo A.7. FLEXIÓN PURA. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Planta Baja.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
1	243676	7.28E-05	331020	7.59E-04
2	215325	6.31E-05	317590	8.22E-04
3	239436	7.23E-05	330008	7.41E-04
4	241918	7.01E-05	350677	8.22E-04
5	244855	7.65E-05	319363	6.90E-04
6	250140	7.38E-05	345759	7.79E-04
7	265694	7.87E-05	353888	7.59E-04
8	247437	7.34E-05	336807	7.69E-04
9	225884	6.90E-05	314051	7.32E-04
10	244777	7.14E-05	347405	8.11E-04
11	255254	7.90E-05	328871	6.98E-04
12	233562	6.87E-05	330994	7.89E-04
13	259126	7.82E-05	343377	7.32E-04
14	232822	6.72E-05	345462	8.45E-04
15	225961	6.51E-05	332830	8.45E-04
16	251442	7.29E-05	358093	8.11E-04
17	239814	6.94E-05	344912	8.22E-04
18	234468	7.05E-05	326318	7.50E-04
19	230612	6.89E-05	321282	7.69E-04
20	239101	7.51E-05	311734	6.90E-04
21	257546	7.54E-05	358566	7.89E-04
22	253763	7.33E-05	362856	8.22E-04
23	239980	7.20E-05	329871	7.50E-04
24	241704	7.20E-05	332239	7.69E-04
25	226080	6.80E-05	315092	7.59E-04
26	233141	6.87E-05	329862	7.89E-04
27	227234	6.80E-05	322591	7.69E-04
28	236299	6.87E-05	344358	8.11E-04
29	227399	6.64E-05	334524	8.22E-04
30	228706	7.24E-05	300134	6.82E-04
31	218028	6.30E-05	326068	8.57E-04
32	258888	7.63E-05	353753	7.69E-04
33	247208	7.14E-05	356562	8.33E-04
34	237249	6.79E-05	353934	8.57E-04
35	246022	7.06E-05	360905	8.45E-04
36	237914	6.85E-05	349648	8.45E-04
37	231274	7.02E-05	316461	7.41E-04
38	259020	7.81E-05	347284	7.32E-04
39	248709	7.25E-05	352863	8.00E-04
40	225812	6.68E-05	328394	7.89E-04
41	238524	7.17E-05	332125	7.50E-04
42	241631	7.29E-05	328742	7.50E-04
43	212229	6.39E-05	304055	7.69E-04
44	232911	6.87E-05	333608	7.89E-04
45	248737	7.55E-05	334591	7.23E-04
46	221853	6.70E-05	310742	7.50E-04
47	236307	6.92E-05	336815	8.11E-04
48	223949	6.63E-05	322740	7.89E-04
49	220858	6.81E-05	303878	7.23E-04
50	245594	7.23E-05	341422	7.89E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
51	231047	6.87E-05	328211	7.79E-04
52	258101	7.53E-05	360675	7.89E-04
53	227279	6.76E-05	324521	7.69E-04
54	237985	7.12E-05	329892	7.50E-04
55	248276	7.56E-05	333405	7.23E-04
56	238824	7.09E-05	332811	7.79E-04
57	218641	6.56E-05	312799	7.69E-04
58	243583	7.00E-05	353196	8.45E-04
59	230252	7.00E-05	318065	7.32E-04
60	242557	7.09E-05	345446	8.11E-04
61	249804	7.67E-05	327114	7.14E-04
62	224571	6.57E-05	330392	8.11E-04
63	235810	7.53E-05	303457	6.67E-04
64	240148	7.00E-05	344041	8.00E-04
65	238676	7.06E-05	338500	7.79E-04
66	229957	6.74E-05	332915	8.11E-04
67	251148	7.24E-05	359310	8.33E-04
68	246419	7.26E-05	344012	7.79E-04
69	225821	6.83E-05	319347	7.50E-04
70	236067	7.14E-05	327451	7.41E-04
71	234960	7.16E-05	323205	7.32E-04
72	248387	7.23E-05	348808	8.00E-04
73	222825	6.26E-05	354556	1.03E-03
74	219260	6.31E-05	329206	8.70E-04
75	237468	6.99E-05	336681	7.89E-04
76	225354	6.63E-05	327684	8.00E-04
77	228014	6.58E-05	343211	8.45E-04
78	233444	6.93E-05	334152	7.79E-04
79	246604	7.39E-05	335344	7.59E-04
80	230960	7.12E-05	312348	7.14E-04
81	263443	7.81E-05	354035	7.69E-04
82	247417	7.23E-05	349891	7.89E-04
83	243823	7.15E-05	346346	7.89E-04
84	230537	6.83E-05	325066	7.79E-04
85	244000	7.62E-05	316034	6.90E-04
86	236798	6.99E-05	335432	7.89E-04
87	243880	7.36E-05	329163	7.41E-04
88	256628	7.51E-05	354199	7.89E-04
89	246193	7.53E-05	326373	7.14E-04
90	233510	7.04E-05	321033	7.50E-04
91	254356	7.80E-05	333195	7.14E-04
92	237411	6.93E-05	341835	8.00E-04
93	232722	7.08E-05	319229	7.32E-04
94	249385	7.75E-05	324132	6.98E-04
95	245417	7.38E-05	332432	7.50E-04
96	220558	6.77E-05	302852	7.32E-04
97	239600	7.23E-05	330086	7.41E-04
98	229206	6.84E-05	320623	7.69E-04
99	217063	6.43E-05	314757	7.89E-04
100	241196	7.20E-05	329856	7.59E-04

**Anexo A.8. FLEXIÓN PURA. ESTIMADORES PUNTUALES. Piso 1**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
1	132720	9,20E-05	188160	9,68E-04
2	131260	9,62E-05	174380	8,11E-04
3	119060	8,30E-05	178990	1,00E-03
4	118030	8,67E-05	165440	8,22E-04

**Anexo A.9. FLEXIÓN PURA. ESTIMADORES PUNTUALES. Planta Baja.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
1	257860	7,34E-05	356180	8,11E-04
2	253830	7,65E-05	333470	7,23E-04
3	231990	6,62E-05	337700	8,22E-04
4	230780	6,92E-05	310960	7,41E-04

**Anexo A.10. Viga de Techo. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Momento  
Negativo**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
1	1421583	4.27E-05	1868322	5.04E-04
2	1262906	3.71E-05	1748808	5.31E-04
3	1406539	4.24E-05	1853278	5.00E-04
4	1418145	4.13E-05	1892557	5.26E-04
5	1439779	4.45E-05	1867301	4.80E-04
6	1464664	4.34E-05	1920145	5.08E-04
7	1551330	4.62E-05	1996824	4.96E-04
8	1446170	4.31E-05	1900295	5.04E-04
9	1329372	4.04E-05	1782393	5.00E-04
10	1436212	4.21E-05	1918201	5.17E-04
11	1495246	4.60E-05	1916460	4.80E-04
12	1361347	4.03E-05	1828365	5.17E-04
13	1517631	4.58E-05	1962254	4.88E-04
14	1370942	3.97E-05	1877114	5.31E-04
15	1321515	3.84E-05	1811372	5.36E-04
16	1475847	4.31E-05	1952907	5.17E-04
17	1401584	4.09E-05	1895524	5.22E-04
18	1373421	4.13E-05	1828257	5.04E-04
19	1348945	4.04E-05	1816100	5.08E-04
20	1406639	4.36E-05	1824768	4.84E-04
21	1510055	4.45E-05	1976851	5.08E-04
22	1490376	4.33E-05	1964052	5.22E-04
23	1404590	4.22E-05	1864879	5.00E-04
24	1415263	4.23E-05	1880691	5.04E-04
25	1325080	3.99E-05	1782174	5.08E-04
26	1365138	4.04E-05	1826274	5.17E-04
27	1338402	4.00E-05	1794444	5.13E-04
28	1384574	4.05E-05	1871730	5.22E-04
29	1339131	3.92E-05	1831016	5.26E-04
30	1347468	4.20E-05	1770349	4.84E-04
31	1276828	3.72E-05	1784359	5.36E-04
32	1510696	4.48E-05	1958179	5.04E-04
33	1456059	4.22E-05	1933706	5.26E-04
34	1395107	4.01E-05	1898312	5.36E-04
35	1443155	4.17E-05	1935324	5.31E-04
36	1398948	4.05E-05	1895184	5.31E-04
37	1355902	4.11E-05	1809047	5.00E-04
38	1520064	4.58E-05	1953163	4.92E-04
39	1454441	4.27E-05	1920643	5.17E-04
40	1328380	3.93E-05	1810672	5.17E-04
41	1400729	4.21E-05	1850006	5.04E-04
42	1422667	4.28E-05	1869006	5.00E-04
43	1248437	3.75E-05	1726088	5.13E-04
44	1367924	4.05E-05	1834923	5.17E-04
45	1453982	4.41E-05	1893345	4.92E-04
46	1296116	3.92E-05	1751180	5.08E-04
47	1389962	4.08E-05	1858539	5.22E-04
48	1314681	3.90E-05	1794650	5.17E-04
49	1301472	3.98E-05	1741447	5.00E-04
50	1440563	4.26E-05	1896560	5.13E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
51	1359280	4.04E-05	1826891	5.13E-04
52	1504997	4.43E-05	1980048	5.08E-04
53	1331015	3.97E-05	1796021	5.13E-04
54	1391067	4.18E-05	1840732	5.04E-04
55	1458005	4.42E-05	1891412	4.92E-04
56	1404209	4.17E-05	1871723	5.08E-04
57	1286759	3.86E-05	1756701	5.13E-04
58	1431471	4.14E-05	1914122	5.31E-04
59	1347454	4.09E-05	1797544	5.00E-04
60	1424333	4.18E-05	1910300	5.17E-04
61	1462598	4.47E-05	1888750	4.88E-04
62	1316542	3.87E-05	1799844	5.26E-04
63	1386307	4.35E-05	1806225	4.76E-04
64	1400235	4.12E-05	1882703	5.17E-04
65	1399466	4.15E-05	1862781	5.13E-04
66	1353437	3.98E-05	1837453	5.22E-04
67	1472761	4.28E-05	1968079	5.22E-04
68	1442552	4.27E-05	1908262	5.08E-04
69	1331282	4.01E-05	1780034	5.08E-04
70	1388100	4.19E-05	1841873	5.00E-04
71	1384331	4.20E-05	1838220	4.96E-04
72	1447554	4.26E-05	1909616	5.17E-04
73	1317023	3.71E-05	1851935	5.61E-04
74	1286025	3.73E-05	1779399	5.41E-04
75	1393645	4.12E-05	1869892	5.13E-04
76	1321043	3.90E-05	1801102	5.22E-04
77	1342341	3.89E-05	1840202	5.36E-04
78	1376091	4.08E-05	1844568	5.13E-04
79	1449078	4.34E-05	1904571	5.00E-04
80	1356711	4.15E-05	1802207	4.92E-04
81	1546406	4.59E-05	1990343	5.00E-04
82	1445054	4.25E-05	1915018	5.13E-04
83	1426576	4.21E-05	1902086	5.13E-04
84	1346259	4.01E-05	1816863	5.13E-04
85	1431633	4.43E-05	1857520	4.80E-04
86	1391067	4.12E-05	1866991	5.13E-04
87	1428475	4.31E-05	1877508	4.96E-04
88	1499647	4.42E-05	1963870	5.08E-04
89	1439024	4.39E-05	1877497	4.88E-04
90	1366450	4.12E-05	1815983	5.04E-04
91	1496775	4.56E-05	1928516	4.84E-04
92	1385405	4.08E-05	1873218	5.17E-04
93	1362174	4.14E-05	1805466	5.00E-04
94	1469166	4.52E-05	1896908	4.80E-04
95	1436974	4.32E-05	1882308	5.00E-04
96	1295265	3.95E-05	1748775	5.00E-04
97	1407522	4.24E-05	1853806	5.00E-04
98	1340590	4.01E-05	1811611	5.08E-04
99	1271388	3.78E-05	1743031	5.22E-04
100	1406870	4.22E-05	1860400	5.04E-04

**Anexo A.11. Viga de Techo. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Momento  
Positivo**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
1	2228649	5.04E-05	2727555	3.57E-04
2	1987085	4.31E-05	2562342	4.00E-04
3	2198262	5.02E-05	2694569	3.53E-04
4	2228907	4.78E-05	2778550	3.90E-04
5	2241383	5.38E-05	2683782	3.21E-04
6	2293772	5.08E-05	2805768	3.64E-04
7	2423031	5.44E-05	2909675	3.45E-04
8	2257018	5.06E-05	2766129	3.59E-04
9	2077447	4.81E-05	2575565	3.57E-04
10	2257682	4.89E-05	2796127	3.80E-04
11	2330481	5.54E-05	2777622	3.21E-04
12	2132573	4.71E-05	2676138	3.77E-04
13	2368594	5.44E-05	2835745	3.37E-04
14	2157815	4.57E-05	2733882	4.03E-04
15	2074696	4.42E-05	2660218	4.05E-04
16	2310600	4.98E-05	2845944	3.80E-04
17	2199528	4.73E-05	2753149	3.90E-04
18	2148305	4.88E-05	2652924	3.61E-04
19	2115874	4.76E-05	2637764	3.68E-04
20	2192125	5.28E-05	2630823	3.19E-04
21	2365605	5.18E-05	2879303	3.66E-04
22	2337069	5.00E-05	2881706	3.82E-04
23	2196110	4.99E-05	2695632	3.57E-04
24	2215208	4.97E-05	2729415	3.61E-04
25	2074589	4.71E-05	2588427	3.68E-04
26	2136448	4.72E-05	2673048	3.77E-04
27	2089566	4.69E-05	2616663	3.73E-04
28	2166895	4.69E-05	2719146	3.90E-04
29	2099940	4.53E-05	2670242	3.95E-04
30	2095121	5.10E-05	2524330	3.13E-04
31	2011653	4.29E-05	2599953	4.11E-04
32	2359812	5.25E-05	2867420	3.55E-04
33	2282411	4.86E-05	2837582	3.90E-04
34	2194124	4.60E-05	2772209	4.08E-04
35	2269459	4.79E-05	2838540	3.97E-04
36	2194934	4.65E-05	2770484	4.00E-04
37	2118301	4.88E-05	2622245	3.55E-04
38	2369970	5.43E-05	2840940	3.39E-04
39	2281546	4.96E-05	2818701	3.75E-04
40	2082760	4.59E-05	2632236	3.82E-04
41	2193295	4.97E-05	2701023	3.57E-04
42	2220185	5.06E-05	2717483	3.53E-04
43	1954868	4.42E-05	2492118	3.80E-04
44	2144268	4.72E-05	2676201	3.80E-04
45	2269195	5.25E-05	2745479	3.41E-04
46	2028290	4.64E-05	2543553	3.68E-04
47	2180539	4.74E-05	2720018	3.85E-04
48	2063853	4.57E-05	2609219	3.82E-04
49	2032052	4.76E-05	2525955	3.53E-04
50	2255562	4.97E-05	2773219	3.70E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
51	2125788	4.73E-05	2654666	3.75E-04
52	2360955	5.16E-05	2884176	3.66E-04
53	2081195	4.66E-05	2610179	3.75E-04
54	2170566	4.92E-05	2679340	3.59E-04
55	2273101	5.26E-05	2750012	3.39E-04
56	2194302	4.89E-05	2718204	3.68E-04
57	2012325	4.53E-05	2544818	3.77E-04
58	2244964	4.76E-05	2819120	3.95E-04
59	2107565	4.87E-05	2605346	3.55E-04
60	2238847	4.85E-05	2774964	3.82E-04
61	2284342	5.36E-05	2747824	3.31E-04
62	2069438	4.50E-05	2635897	3.92E-04
63	2158005	5.32E-05	2561125	2.99E-04
64	2195210	4.78E-05	2735409	3.82E-04
65	2193756	4.86E-05	2715357	3.73E-04
66	2117939	4.61E-05	2670206	3.90E-04
67	2316798	4.93E-05	2867155	3.87E-04
68	2260518	5.00E-05	2779984	3.66E-04
69	2081085	4.74E-05	2593612	3.66E-04
70	2169581	4.96E-05	2670120	3.55E-04
71	2158933	4.98E-05	2653862	3.51E-04
72	2267464	4.94E-05	2802670	3.75E-04
73	2077366	4.20E-05	2718298	4.44E-04
74	2018076	4.28E-05	2612445	4.14E-04
75	2177442	4.80E-05	2716803	3.75E-04
76	2072349	4.54E-05	2628114	3.87E-04
77	2114271	4.47E-05	2689994	4.08E-04
78	2149309	4.77E-05	2680141	3.75E-04
79	2265479	5.11E-05	2761479	3.55E-04
80	2112770	4.97E-05	2597365	3.45E-04
81	2417088	5.39E-05	2911529	3.49E-04
82	2257193	4.94E-05	2791029	3.73E-04
83	2234365	4.90E-05	2763026	3.75E-04
84	2110602	4.70E-05	2640252	3.75E-04
85	2225873	5.35E-05	2666166	3.19E-04
86	2179191	4.80E-05	2712577	3.75E-04
87	2228032	5.11E-05	2718912	3.49E-04
88	2346090	5.15E-05	2860442	3.66E-04
89	2244177	5.25E-05	2710584	3.37E-04
90	2139021	4.88E-05	2643153	3.59E-04
91	2332451	5.46E-05	2788191	3.30E-04
92	2171952	4.74E-05	2721923	3.82E-04
93	2129658	4.92E-05	2624461	3.53E-04
94	2288317	5.45E-05	2735769	3.24E-04
95	2244641	5.11E-05	2744901	3.51E-04
96	2022976	4.72E-05	2526699	3.57E-04
97	2199734	5.02E-05	2695314	3.53E-04
98	2097127	4.72E-05	2622632	3.70E-04
99	1993928	4.42E-05	2544910	3.87E-04
100	2200159	4.97E-05	2707936	3.59E-04

**Anexo A.12. Viga de Techo. ESTIMADORES PUNTUALES. Momento Negativo**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\varphi_y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\varphi_u$ (rad/cm)
1	1481900	4,31E-05	1948100	5,17E-04
2	1470900	4,46E-05	1895000	4,92E-04
3	1339800	3,90E-05	1813000	5,31E-04
4	1330200	4,03E-05	1768600	5,04E-04

**Anexo A.13. Viga de Techo. ESTIMADORES PUNTUALES. Momento Positivo**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\varphi_y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\varphi_u$ (rad/cm)
1	2309100	4,98E-05	2848900	3,77E-04
2	2284300	5,30E-05	2762300	3,37E-04
3	2089600	4,49E-05	2653900	4,00E-04
4	2069500	4,78E-05	2573900	3,59E-04

**Anexo A.14.Viga de Entrepiso. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Momento  
Negativo**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
1	1770116	3.39E-05	2451915	4.92E-04
2	1575461	2.95E-05	2317766	5.26E-04
3	1748648	3.37E-05	2421641	4.88E-04
4	1767747	3.27E-05	2501619	5.22E-04
5	1787318	3.54E-05	2420466	4.62E-04
6	1821658	3.44E-05	2516065	5.00E-04
7	1926963	3.66E-05	2608817	4.84E-04
8	1795664	3.42E-05	2498122	4.92E-04
9	1653193	3.21E-05	2325281	4.88E-04
10	1789516	3.34E-05	2517546	5.13E-04
11	1858690	3.66E-05	2487083	4.62E-04
12	1699577	3.20E-05	2412740	5.08E-04
13	1884883	3.64E-05	2541246	4.76E-04
14	1710669	3.15E-05	2473703	5.31E-04
15	1650621	3.04E-05	2414645	5.31E-04
16	1836516	3.41E-05	2564719	5.13E-04
17	1750762	3.24E-05	2477232	5.22E-04
18	1711123	3.28E-05	2398695	4.92E-04
19	1681651	3.21E-05	2375478	5.00E-04
20	1747697	3.48E-05	2385263	4.62E-04
21	1881675	3.52E-05	2595795	5.00E-04
22	1860915	3.43E-05	2588978	5.17E-04
23	1750397	3.36E-05	2439977	4.88E-04
24	1761878	3.35E-05	2453787	4.96E-04
25	1650560	3.17E-05	2346201	4.96E-04
26	1697735	3.20E-05	2409401	5.08E-04
27	1664377	3.17E-05	2374058	5.00E-04
28	1725791	3.21E-05	2465727	5.17E-04
29	1670243	3.11E-05	2420860	5.22E-04
30	1670027	3.35E-05	2311186	4.62E-04
31	1594131	2.94E-05	2358002	5.36E-04
32	1883046	3.56E-05	2576193	4.92E-04
33	1814256	3.34E-05	2558796	5.22E-04
34	1741857	3.18E-05	2512399	5.36E-04
35	1805477	3.30E-05	2550167	5.31E-04
36	1746370	3.21E-05	2496834	5.31E-04
37	1690314	3.27E-05	2361614	4.88E-04
38	1890480	3.64E-05	2554138	4.76E-04
39	1816189	3.39E-05	2539009	5.08E-04
40	1653165	3.12E-05	2371140	5.13E-04
41	1747366	3.34E-05	2427357	4.92E-04
42	1771037	3.40E-05	2443124	4.88E-04
43	1556478	2.98E-05	2264375	5.04E-04
44	1703228	3.21E-05	2422259	5.08E-04
45	1810734	3.51E-05	2472349	4.76E-04
46	1614574	3.11E-05	2302985	4.96E-04
47	1728186	3.23E-05	2465476	5.13E-04
48	1639004	3.10E-05	2369075	5.08E-04
49	1619204	3.17E-05	2284053	4.84E-04
50	1794435	3.37E-05	2494404	5.04E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
51	1691284	3.20E-05	2400961	5.04E-04
52	1877007	3.51E-05	2580902	5.04E-04
53	1656819	3.15E-05	2358134	5.04E-04
54	1728824	3.31E-05	2415383	4.92E-04
55	1808993	3.51E-05	2469104	4.76E-04
56	1747540	3.31E-05	2452206	5.00E-04
57	1602285	3.06E-05	2305204	5.04E-04
58	1787308	3.28E-05	2543109	5.26E-04
59	1677401	3.25E-05	2363091	4.84E-04
60	1780216	3.32E-05	2507289	5.13E-04
61	1822146	3.56E-05	2469926	4.69E-04
62	1642648	3.07E-05	2376410	5.22E-04
63	1719741	3.47E-05	2339252	4.55E-04
64	1746234	3.26E-05	2469427	5.13E-04
65	1745409	3.29E-05	2448946	5.04E-04
66	1688028	3.15E-05	2418309	5.17E-04
67	1842347	3.39E-05	2575627	5.22E-04
68	1794241	3.39E-05	2501858	5.00E-04
69	1656564	3.18E-05	2341882	4.96E-04
70	1725215	3.32E-05	2407113	4.88E-04
71	1719171	3.33E-05	2392202	4.84E-04
72	1805571	3.37E-05	2523309	5.08E-04
73	1642764	2.94E-05	2481041	5.66E-04
74	1602887	2.95E-05	2382710	5.36E-04
75	1735662	3.27E-05	2441384	5.08E-04
76	1647971	3.09E-05	2367607	5.17E-04
77	1675050	3.08E-05	2432332	5.36E-04
78	1709254	3.23E-05	2425479	5.04E-04
79	1805406	3.45E-05	2493685	4.88E-04
80	1686338	3.30E-05	2348446	4.76E-04
81	1925622	3.64E-05	2609628	4.88E-04
82	1798848	3.37E-05	2501878	5.08E-04
83	1774918	3.33E-05	2484781	5.08E-04
84	1679465	3.19E-05	2387282	5.04E-04
85	1775089	3.53E-05	2406811	4.62E-04
86	1731958	3.26E-05	2437098	5.08E-04
87	1773983	3.42E-05	2445471	4.84E-04
88	1866607	3.50E-05	2577718	5.00E-04
89	1788336	3.49E-05	2440557	4.72E-04
90	1704807	3.28E-05	2380474	4.92E-04
91	1855684	3.62E-05	2500031	4.69E-04
92	1727314	3.23E-05	2457276	5.13E-04
93	1695646	3.29E-05	2372562	4.84E-04
94	1824294	3.60E-05	2461747	4.62E-04
95	1790588	3.43E-05	2460815	4.88E-04
96	1610386	3.15E-05	2296496	4.84E-04
97	1749865	3.37E-05	2422272	4.88E-04
98	1671273	3.19E-05	2370110	5.00E-04
99	1582757	3.00E-05	2307396	5.13E-04
100	1751865	3.35E-05	2442444	4.92E-04

**Anexo A.15.Viga de Entrepiso. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Momento  
Positivo.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
1	2103876	3.55E-05	2840121	4.38E-04
2	1879014	3.08E-05	2683685	4.80E-04
3	2079166	3.53E-05	2798003	4.35E-04
4	2107431	3.41E-05	2903018	4.72E-04
5	2125128	3.75E-05	2785214	4.05E-04
6	2168882	3.60E-05	2914117	4.48E-04
7	2293844	3.84E-05	3006162	4.32E-04
8	2138593	3.58E-05	2878748	4.41E-04
9	1965704	3.37E-05	2687078	4.35E-04
10	2134973	3.48E-05	2906211	4.65E-04
11	2208250	3.86E-05	2874098	4.03E-04
12	2018878	3.34E-05	2794972	4.58E-04
13	2244713	3.82E-05	2941058	4.20E-04
14	2038887	3.28E-05	2868622	4.84E-04
15	1964788	3.17E-05	2783451	4.88E-04
16	2186587	3.55E-05	2960054	4.65E-04
17	2078917	3.38E-05	2875201	4.72E-04
18	2031340	3.44E-05	2764765	4.41E-04
19	2000798	3.36E-05	2752571	4.48E-04
20	2076106	3.68E-05	2744422	4.05E-04
21	2239499	3.68E-05	2989916	4.51E-04
22	2212509	3.57E-05	2995228	4.69E-04
23	2077799	3.52E-05	2805042	4.38E-04
24	2097709	3.51E-05	2835200	4.44E-04
25	1959842	3.32E-05	2711586	4.44E-04
26	2022483	3.35E-05	2791204	4.58E-04
27	1975682	3.32E-05	2736087	4.51E-04
28	2053540	3.35E-05	2837507	4.72E-04
29	1988705	3.24E-05	2793514	4.76E-04
30	1984431	3.55E-05	2658598	4.05E-04
31	1897649	3.07E-05	2726593	4.92E-04
32	2239589	3.72E-05	2968423	4.41E-04
33	2159506	3.48E-05	2950767	4.76E-04
34	2074069	3.30E-05	2901805	4.92E-04
35	2147040	3.43E-05	2956103	4.84E-04
36	2074846	3.33E-05	2895190	4.84E-04
37	2006272	3.43E-05	2728895	4.35E-04
38	2246550	3.82E-05	2942737	4.23E-04
39	2158060	3.53E-05	2923418	4.62E-04
40	1970581	3.26E-05	2754848	4.62E-04
41	2075304	3.50E-05	2811815	4.38E-04
42	2100959	3.56E-05	2822726	4.35E-04
43	1849816	3.13E-05	2617711	4.55E-04
44	2024151	3.35E-05	2790188	4.62E-04
45	2152776	3.69E-05	2848417	4.23E-04
46	1919686	3.27E-05	2662060	4.44E-04
47	2059997	3.37E-05	2846550	4.65E-04
48	1951929	3.24E-05	2729257	4.62E-04
49	1919699	3.33E-05	2632584	4.32E-04
50	2132040	3.52E-05	2896684	4.51E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi\gamma$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi\mu$ (rad/cm)
51	2011603	3.35E-05	2774157	4.55E-04
52	2235072	3.67E-05	2996099	4.51E-04
53	1967776	3.30E-05	2725220	4.55E-04
54	2053194	3.47E-05	2783946	4.41E-04
55	2150365	3.69E-05	2844707	4.23E-04
56	2078142	3.46E-05	2825654	4.51E-04
57	1905995	3.21E-05	2664553	4.55E-04
58	2123290	3.41E-05	2940124	4.80E-04
59	1995270	3.42E-05	2710036	4.35E-04
60	2116706	3.46E-05	2894435	4.65E-04
61	2165328	3.75E-05	2844313	4.14E-04
62	1958691	3.21E-05	2759879	4.72E-04
63	2042881	3.68E-05	2699188	3.95E-04
64	2074220	3.40E-05	2851269	4.65E-04
65	2071799	3.44E-05	2829195	4.55E-04
66	2005693	3.29E-05	2800151	4.69E-04
67	2192875	3.53E-05	2987580	4.72E-04
68	2136575	3.54E-05	2882485	4.51E-04
69	1971508	3.34E-05	2706757	4.44E-04
70	2051268	3.49E-05	2781208	4.35E-04
71	2045526	3.50E-05	2756988	4.32E-04
72	2144296	3.52E-05	2921615	4.58E-04
73	1960558	3.04E-05	2870572	5.26E-04
74	1910155	3.07E-05	2754267	4.92E-04
75	2062604	3.41E-05	2827905	4.58E-04
76	1960960	3.23E-05	2742439	4.69E-04
77	1996788	3.20E-05	2829376	4.88E-04
78	2034784	3.38E-05	2802173	4.55E-04
79	2146015	3.61E-05	2866690	4.38E-04
80	2003118	3.48E-05	2705491	4.23E-04
81	2288532	3.81E-05	3014286	4.35E-04
82	2140596	3.52E-05	2897275	4.58E-04
83	2111848	3.48E-05	2877641	4.58E-04
84	1996688	3.33E-05	2758499	4.55E-04
85	2109506	3.73E-05	2780826	4.03E-04
86	2057971	3.41E-05	2823037	4.58E-04
87	2107847	3.59E-05	2818294	4.32E-04
88	2220400	3.66E-05	2969278	4.51E-04
89	2126437	3.68E-05	2817385	4.17E-04
90	2021831	3.44E-05	2757865	4.38E-04
91	2206765	3.81E-05	2891490	4.11E-04
92	2057982	3.37E-05	2837293	4.65E-04
93	2016740	3.46E-05	2734340	4.32E-04
94	2166642	3.80E-05	2833021	4.05E-04
95	2124999	3.60E-05	2843119	4.35E-04
96	1917113	3.31E-05	2633665	4.35E-04
97	2080597	3.53E-05	2798736	4.35E-04
98	1988573	3.34E-05	2731737	4.51E-04
99	1884075	3.14E-05	2666189	4.65E-04
100	2082409	3.51E-05	2814977	4.41E-04

**Anexo A.16.Viga de Entrepiso. ESTIMADORES PUNTUALES. Momento**

**Negativo**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
1	1836000	3,41E-05	2557700	5,13E-04
2	1823900	3,54E-05	2472900	4,76E-04
3	1660800	3,08E-05	2405400	5,26E-04
4	1650800	3,20E-05	2332600	4,88E-04

**Anexo A.17.Viga de Entrepiso. ESTIMADORES PUNTUALES. Momento Positivo.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M (kgf.cm)	$\phi y$ (rad/cm)	M (kgf.cm)	$\phi u$ (rad/cm)
1	2178300	3,55E-05	2968600	4,62E-04
2	2167200	3,72E-05	2861900	4,20E-04
3	1972600	3,21E-05	2783400	4,80E-04
4	1958600	3,36E-05	2681900	4,38E-04

**Anexo A.18.Valores de Salida. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Techo**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	4484.54	14.819	4.147	3.573
2	4684.51	17.591	5.394	3.261
3	4348.88	14.357	3.965	3.620
4	4925.25	16.586	4.946	3.353
5	3950.67	12.221	3.196	3.824
6	4753.02	15.618	4.483	3.484
7	4725.74	14.626	4.063	3.600
8	4589.58	15.070	4.254	3.542
9	4137.58	14.201	3.913	3.629
10	4845.70	16.032	4.684	3.423
11	4068.64	11.970	3.103	3.857
12	4622.32	15.957	4.645	3.435
13	4374.35	12.884	3.415	3.773
14	4993.02	17.393	5.328	3.264
15	4914.25	17.820	5.524	3.226
16	4912.86	15.597	4.508	3.460
17	4928.85	16.923	5.085	3.328
18	4346.49	14.646	4.086	3.584
19	4415.43	15.332	4.377	3.503
20	3943.52	12.884	3.438	3.748
21	4854.10	15.226	4.328	3.518
22	4979.12	15.652	4.543	3.445
23	4493.49	15.400	4.378	3.517
24	4527.03	14.902	4.187	3.559
25	4345.77	16.988	4.758	3.570
26	4601.27	15.856	4.602	3.445
27	4419.21	15.388	4.394	3.502
28	4812.74	16.494	4.891	3.372
29	4880.74	17.776	5.475	3.247
30	3680.10	11.925	3.138	3.800
31	4883.34	18.316	5.764	3.178
32	4647.49	14.048	3.857	3.642
33	5084.02	16.971	5.116	3.317
34	5184.73	18.141	5.699	3.184
35	5128.38	17.034	5.180	3.288
36	5059.85	17.362	5.321	3.263
37	4265.85	14.638	4.081	3.587
38	4471.95	13.658	3.693	3.698
39	4870.45	16.001	4.658	3.436
40	4585.34	16.436	4.851	3.388
41	3819.76	12.177	3.590	3.392
42	4440.81	14.892	4.172	3.569
43	4274.19	16.109	4.707	3.422
44	4626.43	16.064	4.684	3.430
45	4329.09	13.955	3.799	3.673
46	4319.70	16.041	4.667	3.437
47	4787.07	16.447	4.860	3.384
48	4567.35	16.570	4.904	3.379
49	4091.23	14.840	4.177	3.553
50	4743.36	15.811	4.572	3.459

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	4573.59	16.099	4.692	3.431
52	4826.54	14.919	4.202	3.550
53	4444.47	15.770	4.554	3.463
54	4381.40	14.548	4.046	3.596
55	4306.44	13.842	3.757	3.684
56	4577.09	15.428	4.401	3.505
57	4410.54	16.530	4.878	3.389
58	5104.32	17.235	5.252	3.281
59	4205.39	14.550	4.043	3.599
60	4848.11	16.272	4.785	3.401
61	4169.74	13.275	3.415	3.888
62	4750.24	17.245	5.227	3.299
63	3742.63	10.961	2.782	3.940
64	4819.40	16.593	4.925	3.369
65	4723.63	16.942	5.039	3.362
66	4762.98	16.900	5.060	3.340
67	5056.34	16.355	4.851	3.371
68	4688.61	15.609	5.629	2.773
69	4304.63	15.194	4.310	3.526
70	4334.23	14.536	4.041	3.597
71	4230.10	14.038	3.847	3.649
72	4828.34	15.964	4.642	3.439
73	5496.76	20.000	6.746	2.965
74	4926.39	18.393	5.811	3.165
75	4672.20	16.042	4.666	3.438
76	4685.16	17.143	5.167	3.318
77	5056.24	18.319	5.763	3.179
78	4593.40	15.898	4.612	3.447
79	4512.03	14.488	4.020	3.604
80	4011.23	13.206	3.543	3.727
81	4744.87	16.601	4.487	3.699
82	4770.22	16.700	4.764	3.505
83	4760.61	15.963	4.643	3.438
84	4548.75	16.164	4.724	3.422
85	3876.60	11.708	3.029	3.866
86	4653.80	15.956	4.634	3.443
87	4394.27	14.388	3.977	3.618
88	4813.00	15.256	4.343	3.513
89	4139.31	12.757	3.376	3.779
90	4364.84	15.022	4.228	3.553
91	4316.80	13.650	3.683	3.706
92	4751.87	16.357	4.821	3.393
93	4199.02	14.257	3.931	3.627
94	4002.55	11.742	3.031	3.874
95	4478.37	14.843	4.147	3.580
96	4089.44	14.672	4.111	3.569
97	4347.72	14.304	3.949	3.622
98	4432.33	15.609	4.482	3.483
99	4459.18	16.344	4.822	3.389
100	4486.44	15.035	4.231	3.554

**Anexo A.19.Valores de Salida. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Entrepiso**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	3171.52	14.594	3.923	3.721
2	3312.95	17.374	5.176	3.356
3	3075.59	14.128	3.741	3.776
4	3483.20	16.366	4.726	3.463
5	2793.97	11.997	2.972	4.036
6	3361.40	15.391	4.256	3.617
7	3342.11	14.396	3.833	3.755
8	3245.81	14.845	4.029	3.685
9	2926.15	13.982	3.694	3.785
10	3426.94	15.811	4.462	3.544
11	2877.40	11.745	2.878	4.081
12	3268.97	15.736	4.425	3.556
13	3093.60	12.659	3.190	3.968
14	3531.13	17.175	5.110	3.361
15	3475.42	17.602	5.307	3.317
16	3474.44	15.376	4.288	3.586
17	3485.75	16.701	4.862	3.435
18	3073.90	14.425	3.865	3.732
19	3122.65	15.112	4.147	3.644
20	2788.91	12.658	3.211	3.942
21	3432.89	15.001	4.103	3.656
22	3521.30	15.432	4.323	3.569
23	3177.86	15.172	4.150	3.656
24	3201.58	14.679	3.965	3.703
25	3073.39	16.767	4.539	3.694
26	3254.08	15.635	4.382	3.568
27	3125.33	15.169	4.176	3.633
28	3403.63	16.275	4.671	3.484
29	3451.72	17.554	5.252	3.342
30	2602.62	11.708	2.922	4.007
31	3453.57	18.099	5.547	3.263
32	3286.77	13.825	3.214	4.301
33	3595.49	16.747	4.893	3.423
34	3666.71	17.920	5.478	3.271
35	3626.86	16.813	4.959	3.391
36	3578.39	17.142	5.100	3.361
37	3016.87	14.415	3.858	3.736
38	3162.62	13.430	3.465	3.876
39	3444.45	15.777	4.433	3.559
40	3242.81	16.217	4.631	3.502
41	2701.39	11.984	3.396	3.529
42	3140.60	14.666	3.947	3.716
43	3022.76	15.892	4.490	3.540
44	3271.88	15.844	4.464	3.549
45	3061.59	13.729	3.573	3.843
46	3054.95	15.817	4.443	3.560
47	3385.48	16.226	4.638	3.499
48	3230.09	16.350	4.684	3.490
49	2893.37	14.617	3.954	3.697
50	3354.57	15.587	4.347	3.586

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	3234.50	15.877	4.470	3.552
52	3413.39	14.696	3.980	3.693
53	3143.19	15.551	4.334	3.588
54	3098.58	14.327	3.825	3.746
55	3045.57	13.616	3.531	3.857
56	3236.98	15.206	4.180	3.638
57	3119.19	16.309	4.657	3.502
58	3609.85	17.013	5.030	3.382
59	2974.11	14.328	3.821	3.749
60	3428.65	16.050	4.562	3.518
61	2948.89	13.050	3.189	4.092
62	3359.43	17.025	5.007	3.401
63	2646.84	10.750	2.571	4.182
64	3408.35	16.370	4.702	3.481
65	3340.62	16.716	4.813	3.473
66	3368.44	16.679	4.840	3.446
67	3575.91	16.133	4.629	3.485
68	3315.85	15.223	5.277	2.885
69	3044.29	14.974	4.090	3.662
70	3065.22	14.314	3.819	3.748
71	2991.58	13.817	3.624	3.813
72	3414.67	15.741	4.419	3.562
73	3887.38	19.783	6.529	3.030
74	3484.01	18.176	5.594	3.249
75	3304.24	15.820	4.444	3.560
76	3313.41	16.922	4.946	3.421
77	3575.84	18.098	5.542	3.265
78	3248.51	15.677	4.390	3.571
79	3190.97	14.263	3.795	3.758
80	2836.80	12.987	3.324	3.907
81	3355.64	14.372	3.827	3.755
82	3373.56	15.477	4.308	3.593
83	3366.77	15.740	4.419	3.562
84	3216.94	15.942	4.502	3.541
85	2741.58	11.487	2.808	4.091
86	3291.23	15.735	4.412	3.566
87	3107.69	14.162	3.752	3.775
88	3403.82	15.031	4.118	3.650
89	2927.38	12.535	3.154	3.974
90	3086.87	14.798	4.004	3.696
91	3052.90	13.419	3.452	3.888
92	3360.59	16.136	4.600	3.508
93	2969.60	14.036	3.710	3.783
94	2830.66	11.519	2.809	4.101
95	3167.16	14.616	3.920	3.729
96	2892.11	14.451	3.890	3.715
97	3074.76	14.052	3.720	3.778
98	3134.60	15.388	4.261	3.612
99	3153.60	16.127	4.605	3.502
100	3172.87	14.811	4.006	3.697

**Anexo A.20.Valores de Salida. ESTIMADORES PUNTUALES. Techo**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	4796,09	14,249	3,969	3,590
2	4190,02	12,002	3,114	3,854
3	4794,55	16,434	4,885	3,364
4	4159,79	13,930	3,816	3,650

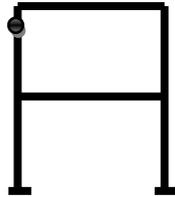
**Anexo A.21.Valores de Salida. ESTIMADORES PUNTUALES. Entrepiso**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	3391,86	14,032	3,753	3,739
2	2963,24	11,782	2,894	4,071
3	3390,77	16,217	4,669	3,474
4	2941,86	13,711	3,597	3,812

**Anexo A.22. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula  
Superior-Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

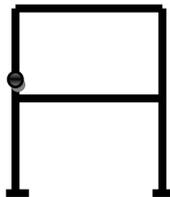


<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	5,24E-03	3,76E-02	7,172
2	5,76E-03	4,52E-02	7,849
3	4,23E-03	3,63E-02	8,576
4	5,02E-03	4,25E-02	8,461
5	5,26E-03	3,04E-02	5,781
6	5,25E-03	3,97E-02	7,563
7	4,53E-03	3,69E-02	8,147
8	4,26E-03	3,82E-02	8,973
9	4,10E-03	3,59E-02	8,752
10	5,11E-03	4,09E-02	8,015
11	4,66E-03	2,97E-02	6,379
12	5,49E-03	4,07E-02	7,415
13	4,55E-03	3,22E-02	7,087
14	5,41E-03	4,47E-02	8,260
15	5,76E-03	4,59E-02	7,964
16	5,17E-03	3,97E-02	7,679
17	5,99E-03	4,34E-02	7,241
18	4,14E-03	3,71E-02	8,971
19	5,03E-03	3,90E-02	7,752
20	4,48E-03	3,22E-02	7,184
21	4,33E-03	3,87E-02	8,927
22	5,19E-03	3,99E-02	7,692
23	5,21E-03	3,91E-02	7,500
24	5,19E-03	3,78E-02	7,278
25	5,01E-03	4,35E-02	8,690
26	5,99E-03	4,05E-02	6,755
27	4,99E-03	3,92E-02	7,851
28	5,96E-03	4,22E-02	7,078
29	5,84E-03	4,57E-02	7,823
30	4,38E-03	2,97E-02	6,781
31	5,65E-03	4,72E-02	8,360
32	4,38E-03	3,55E-02	8,090
33	5,07E-03	4,35E-02	8,573
34	5,87E-03	4,67E-02	7,954
35	5,01E-03	4,37E-02	8,711
36	5,91E-03	4,46E-02	7,537
37	4,16E-03	3,71E-02	8,919
38	4,54E-03	3,43E-02	7,563
39	5,16E-03	4,08E-02	7,911
40	5,90E-03	4,21E-02	7,124
41	4,21E-03	3,07E-02	7,304
42	4,24E-03	3,77E-02	8,897
43	5,80E-03	4,12E-02	7,106
44	6,00E-03	4,10E-02	6,840
45	4,48E-03	3,51E-02	7,854
46	5,96E-03	4,09E-02	6,865
47	6,00E-03	4,21E-02	7,014
48	5,88E-03	4,24E-02	7,211
49	5,09E-03	3,76E-02	7,396
50	5,17E-03	4,03E-02	7,783

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	5,01E-03	4,11E-02	8,209
52	4,30E-03	3,78E-02	8,781
53	5,96E-03	4,02E-02	6,748
54	4,17E-03	3,69E-02	8,857
55	4,42E-03	3,48E-02	7,866
56	5,12E-03	3,92E-02	7,653
57	5,87E-03	4,23E-02	7,202
58	5,00E-03	4,42E-02	8,832
59	4,15E-03	3,68E-02	8,871
60	5,07E-03	4,16E-02	8,198
61	4,51E-03	2,37E-02	5,260
62	5,81E-03	4,43E-02	7,622
63	4,42E-03	2,71E-02	6,131
64	5,03E-03	4,24E-02	8,427
65	5,10E-03	4,33E-02	8,495
66	5,91E-03	4,33E-02	7,329
67	5,13E-03	4,18E-02	8,149
68	5,20E-03	3,93E-02	7,557
69	5,03E-03	3,86E-02	7,681
70	4,20E-03	3,68E-02	8,766
71	4,22E-03	3,54E-02	8,389
72	5,15E-03	4,07E-02	7,901
73	5,96E-03	5,19E-02	8,715
74	5,65E-03	4,75E-02	8,402
75	5,05E-03	4,09E-02	8,091
76	5,85E-03	4,40E-02	7,518
77	5,79E-03	4,72E-02	8,155
78	5,04E-03	4,06E-02	8,060
79	4,29E-03	3,66E-02	8,527
80	4,24E-03	3,32E-02	7,831
81	4,48E-03	3,69E-02	8,228
82	5,15E-03	4,00E-02	7,763
83	5,12E-03	4,07E-02	7,944
84	5,99E-03	4,13E-02	6,892
85	4,53E-03	2,91E-02	6,417
86	5,05E-03	4,07E-02	8,057
87	4,31E-03	3,63E-02	8,414
88	5,30E-03	3,87E-02	7,305
89	4,44E-03	3,19E-02	7,179
90	5,14E-03	3,81E-02	7,412
91	4,58E-03	3,43E-02	7,493
92	5,01E-03	4,18E-02	8,348
93	4,18E-03	3,61E-02	8,640
94	4,59E-03	2,91E-02	6,335
95	4,30E-03	3,76E-02	8,752
96	5,04E-03	3,72E-02	7,382
97	4,24E-03	3,62E-02	8,546
98	5,01E-03	3,98E-02	7,948
99	5,78E-03	4,18E-02	7,227
100	5,21E-03	3,81E-02	7,317

**Anexo A.23. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula  
Inferior-Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

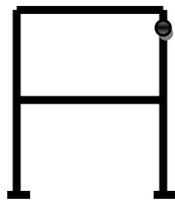


<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	5,24E-03	3,76E-02	7,172
2	5,76E-03	4,52E-02	7,850
3	4,23E-03	3,63E-02	8,577
4	5,02E-03	4,25E-02	8,461
5	5,26E-03	3,04E-02	5,782
6	5,25E-03	3,97E-02	7,563
7	4,53E-03	3,69E-02	8,147
8	4,26E-03	3,82E-02	8,974
9	4,10E-03	3,59E-02	8,753
10	5,11E-03	4,09E-02	8,016
11	4,66E-03	2,97E-02	6,379
12	5,49E-03	4,07E-02	7,415
13	4,55E-03	3,22E-02	7,087
14	5,41E-03	4,47E-02	8,261
15	5,76E-03	4,59E-02	7,965
16	5,17E-03	3,97E-02	7,680
17	5,99E-03	4,34E-02	7,241
18	4,14E-03	3,71E-02	8,971
19	5,03E-03	3,90E-02	7,753
20	4,48E-03	3,22E-02	7,185
21	4,33E-03	3,87E-02	8,928
22	5,19E-03	3,99E-02	7,693
23	5,21E-03	3,91E-02	7,500
24	5,19E-03	3,78E-02	7,279
25	5,01E-03	4,35E-02	8,691
26	5,99E-03	4,05E-02	6,755
27	4,99E-03	3,92E-02	7,851
28	5,96E-03	4,22E-02	7,079
29	5,84E-03	4,57E-02	7,824
30	4,38E-03	2,97E-02	6,781
31	5,65E-03	4,72E-02	8,360
32	4,38E-03	3,55E-02	8,091
33	5,07E-03	4,35E-02	8,574
34	5,87E-03	4,67E-02	7,955
35	5,01E-03	4,37E-02	8,712
36	5,91E-03	4,46E-02	7,538
37	4,16E-03	3,71E-02	8,920
38	4,54E-03	3,43E-02	7,564
39	5,16E-03	4,08E-02	7,912
40	5,90E-03	4,21E-02	7,125
41	4,21E-03	3,07E-02	7,303
42	4,24E-03	3,77E-02	8,898
43	5,80E-03	4,12E-02	7,107
44	6,00E-03	4,10E-02	6,841
45	4,48E-03	3,52E-02	7,855
46	5,96E-03	4,09E-02	6,865
47	6,00E-03	4,21E-02	7,014
48	5,88E-03	4,24E-02	7,211
49	5,09E-03	3,63E-02	7,126
50	5,17E-03	4,03E-02	7,783

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	5,01E-03	4,11E-02	8,209
52	4,30E-03	3,78E-02	8,781
53	5,96E-03	4,02E-02	6,748
54	4,17E-03	3,69E-02	8,857
55	4,42E-03	3,48E-02	7,866
56	5,12E-03	3,92E-02	7,653
57	5,87E-03	4,23E-02	7,202
58	5,00E-03	4,42E-02	8,832
59	4,15E-03	3,68E-02	8,871
60	5,07E-03	4,16E-02	8,198
61	4,51E-03	2,37E-02	5,260
62	5,81E-03	4,43E-02	7,622
63	4,42E-03	2,71E-02	6,131
64	5,03E-03	4,24E-02	8,427
65	5,10E-03	4,33E-02	8,495
66	5,91E-03	4,33E-02	7,329
67	5,13E-03	4,18E-02	8,149
68	5,20E-03	3,93E-02	7,557
69	5,03E-03	3,86E-02	7,681
70	4,20E-03	3,68E-02	8,766
71	4,22E-03	3,54E-02	8,389
72	5,15E-03	4,07E-02	7,901
73	5,96E-03	5,19E-02	8,715
74	5,65E-03	4,75E-02	8,402
75	5,05E-03	4,09E-02	8,091
76	5,85E-03	4,40E-02	7,518
77	5,79E-03	4,72E-02	8,155
78	5,04E-03	4,06E-02	8,060
79	4,29E-03	3,66E-02	8,527
80	4,24E-03	3,32E-02	7,831
81	4,48E-03	3,69E-02	8,228
82	5,15E-03	4,00E-02	7,763
83	5,12E-03	4,07E-02	7,944
84	5,99E-03	4,13E-02	6,892
85	4,53E-03	2,91E-02	6,417
86	5,05E-03	4,07E-02	8,057
87	4,31E-03	3,63E-02	8,414
88	5,30E-03	3,87E-02	7,305
89	4,44E-03	3,19E-02	7,179
90	5,14E-03	3,81E-02	7,412
91	4,58E-03	3,43E-02	7,493
92	5,01E-03	4,18E-02	8,348
93	4,18E-03	3,61E-02	8,640
94	4,59E-03	2,91E-02	6,335
95	4,30E-03	3,76E-02	8,752
96	5,04E-03	3,72E-02	7,382
97	4,24E-03	3,62E-02	8,546
98	5,01E-03	3,98E-02	7,948
99	5,78E-03	4,18E-02	7,227
100	5,21E-03	3,81E-02	7,317

**Anexo A.24. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula  
Superior-Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**

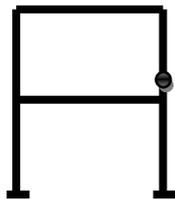


<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	5,47E-03	3,74E-02	6,852
2	5,75E-03	4,51E-02	7,843
3	5,47E-03	3,62E-02	6,623
4	5,18E-03	4,23E-02	8,171
5	5,85E-03	3,03E-02	5,186
6	5,48E-03	3,96E-02	7,223
7	5,83E-03	3,68E-02	6,322
8	5,48E-03	3,81E-02	6,963
9	4,22E-03	3,58E-02	8,492
10	5,29E-03	4,08E-02	7,710
11	6,00E-03	2,96E-02	4,941
12	5,14E-03	4,06E-02	7,895
13	5,85E-03	3,21E-02	5,494
14	4,97E-03	4,46E-02	8,969
15	5,83E-03	4,58E-02	7,852
16	5,38E-03	3,96E-02	7,362
17	5,14E-03	4,32E-02	8,412
18	5,32E-03	3,70E-02	6,956
19	5,21E-03	3,89E-02	7,473
20	5,80E-03	3,21E-02	5,539
21	5,56E-03	3,85E-02	6,931
22	5,37E-03	3,98E-02	7,402
23	5,44E-03	3,90E-02	7,168
24	5,39E-03	3,77E-02	6,992
25	5,18E-03	4,34E-02	8,386
26	5,15E-03	4,03E-02	7,840
27	5,13E-03	3,91E-02	7,616
28	5,09E-03	4,21E-02	8,269
29	5,95E-03	4,56E-02	7,658
30	5,65E-03	2,96E-02	5,248
31	5,71E-03	4,71E-02	8,259
32	5,65E-03	3,54E-02	6,254
33	5,24E-03	4,33E-02	8,266
34	5,99E-03	4,66E-02	7,780
35	5,17E-03	4,36E-02	8,424
36	5,04E-03	4,45E-02	8,816
37	5,35E-03	3,70E-02	6,914
38	5,84E-03	3,42E-02	5,865
39	5,36E-03	4,07E-02	7,591
40	5,02E-03	4,19E-02	8,362
41	5,39E-03	3,07E-02	5,707
42	5,51E-03	3,76E-02	6,833
43	4,90E-03	4,11E-02	8,379
44	5,14E-03	4,09E-02	7,965
45	5,69E-03	3,50E-02	6,163
46	5,11E-03	4,08E-02	7,980
47	5,15E-03	4,19E-02	8,139
48	5,01E-03	4,23E-02	8,446
49	5,26E-03	3,75E-02	7,132
50	5,36E-03	4,02E-02	7,489

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	5,17E-03	4,10E-02	7,930
52	5,55E-03	3,77E-02	6,793
53	5,11E-03	4,01E-02	7,850
54	5,36E-03	3,67E-02	6,851
55	5,71E-03	3,47E-02	6,072
56	5,32E-03	3,91E-02	7,352
57	5,00E-03	4,22E-02	8,437
58	5,14E-03	4,41E-02	8,581
59	5,34E-03	3,67E-02	6,875
60	5,25E-03	4,15E-02	7,900
61	5,80E-03	3,33E-02	5,743
62	4,92E-03	4,41E-02	8,969
63	5,67E-03	2,71E-02	4,780
64	5,20E-03	4,23E-02	8,137
65	5,29E-03	4,32E-02	8,173
66	5,04E-03	4,32E-02	8,572
67	5,32E-03	4,17E-02	7,838
68	5,40E-03	3,92E-02	7,263
69	5,20E-03	3,85E-02	7,406
70	5,40E-03	3,67E-02	6,797
71	5,45E-03	3,53E-02	6,475
72	5,35E-03	4,06E-02	7,585
73	5,96E-03	5,18E-02	8,695
74	5,71E-03	4,73E-02	8,284
75	5,23E-03	4,08E-02	7,800
76	4,97E-03	4,39E-02	8,834
77	5,88E-03	4,71E-02	8,008
78	5,21E-03	4,04E-02	7,755
79	5,54E-03	3,65E-02	6,588
80	5,46E-03	3,31E-02	6,064
81	5,78E-03	3,68E-02	6,362
82	5,36E-03	3,99E-02	7,451
83	5,32E-03	4,06E-02	7,635
84	5,15E-03	4,12E-02	7,995
85	5,84E-03	2,90E-02	4,966
86	5,23E-03	4,06E-02	7,768
87	5,55E-03	3,62E-02	6,524
88	5,54E-03	3,86E-02	6,965
89	5,72E-03	3,18E-02	5,561
90	5,35E-03	3,80E-02	7,107
91	5,89E-03	3,42E-02	5,807
92	5,15E-03	4,17E-02	8,100
93	5,40E-03	3,60E-02	6,669
94	5,91E-03	2,91E-02	4,921
95	5,55E-03	3,75E-02	6,761
96	5,22E-03	3,71E-02	7,105
97	5,47E-03	3,61E-02	6,599
98	5,17E-03	3,97E-02	7,674
99	4,88E-03	4,17E-02	8,537
100	5,41E-03	3,80E-02	7,025

**Anexo A.25. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula  
Inferior-Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**



<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	5,47E-03	3,75E-02	6,854
2	5,75E-03	4,51E-02	7,846
3	5,47E-03	3,62E-02	6,625
4	5,18E-03	4,23E-02	8,176
5	5,85E-03	3,04E-02	5,188
6	5,48E-03	3,96E-02	7,223
7	5,83E-03	3,68E-02	6,322
8	5,48E-03	3,81E-02	6,963
9	4,22E-03	3,58E-02	8,496
10	5,29E-03	4,08E-02	7,713
11	6,00E-03	2,96E-02	4,941
12	5,14E-03	4,06E-02	7,895
13	5,85E-03	3,21E-02	5,494
14	4,97E-03	4,46E-02	8,972
15	5,83E-03	4,58E-02	7,854
16	5,38E-03	3,96E-02	7,365
17	5,14E-03	4,32E-02	8,415
18	5,32E-03	3,70E-02	6,959
19	5,21E-03	3,89E-02	7,475
20	5,80E-03	3,22E-02	5,542
21	5,56E-03	3,86E-02	6,933
22	5,37E-03	3,98E-02	7,405
23	5,44E-03	3,90E-02	7,170
24	5,39E-03	3,77E-02	6,995
25	5,18E-03	4,35E-02	8,390
26	5,15E-03	4,03E-02	7,840
27	5,13E-03	3,91E-02	7,619
28	5,09E-03	4,21E-02	8,274
29	5,95E-03	4,56E-02	7,658
30	5,65E-03	2,96E-02	5,248
31	5,71E-03	4,71E-02	8,259
32	5,65E-03	3,54E-02	6,254
33	5,24E-03	4,34E-02	8,270
34	5,99E-03	4,66E-02	7,783
35	5,17E-03	4,36E-02	8,424
36	5,04E-03	4,45E-02	8,816
37	5,35E-03	3,70E-02	6,916
38	5,84E-03	3,42E-02	5,865
39	5,36E-03	4,07E-02	7,595
40	5,02E-03	4,20E-02	8,365
41	5,39E-03	3,06E-02	5,690
42	5,51E-03	3,76E-02	6,835
43	4,90E-03	4,11E-02	8,382
44	5,14E-03	4,09E-02	7,967
45	5,69E-03	3,51E-02	6,166
46	5,11E-03	4,08E-02	7,980
47	5,15E-03	4,20E-02	8,141
48	5,01E-03	4,23E-02	8,448
49	5,26E-03	3,75E-02	7,132
50	5,36E-03	4,02E-02	7,489

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	5,17E-03	4,10E-02	7,930
52	5,55E-03	3,77E-02	6,793
53	5,11E-03	4,01E-02	7,850
54	5,36E-03	3,67E-02	6,851
55	5,71E-03	3,47E-02	6,072
56	5,32E-03	3,91E-02	7,352
57	5,00E-03	4,22E-02	8,437
58	5,14E-03	4,41E-02	8,581
59	5,34E-03	3,67E-02	6,875
60	5,25E-03	4,15E-02	7,900
61	5,80E-03	3,33E-02	5,743
62	4,92E-03	4,41E-02	8,969
63	5,67E-03	2,71E-02	4,780
64	5,20E-03	4,23E-02	8,137
65	5,29E-03	4,32E-02	8,173
66	5,04E-03	4,32E-02	8,572
67	5,32E-03	4,17E-02	7,838
68	5,40E-03	3,92E-02	7,263
69	5,20E-03	3,85E-02	7,406
70	5,40E-03	3,67E-02	6,797
71	5,45E-03	3,53E-02	6,475
72	5,35E-03	4,06E-02	7,585
73	5,96E-03	5,18E-02	8,695
74	5,71E-03	4,73E-02	8,284
75	5,23E-03	4,08E-02	7,800
76	4,97E-03	4,39E-02	8,834
77	5,88E-03	4,71E-02	8,008
78	5,21E-03	4,04E-02	7,755
79	5,54E-03	3,65E-02	6,588
80	5,46E-03	3,31E-02	6,064
81	5,78E-03	3,68E-02	6,362
82	5,36E-03	3,99E-02	7,451
83	5,32E-03	4,06E-02	7,635
84	5,15E-03	4,12E-02	7,995
85	5,84E-03	2,90E-02	4,966
86	5,23E-03	4,06E-02	7,768
87	5,55E-03	3,62E-02	6,524
88	5,54E-03	3,86E-02	6,965
89	5,72E-03	3,18E-02	5,561
90	5,35E-03	3,80E-02	7,107
91	5,89E-03	3,42E-02	5,807
92	5,15E-03	4,17E-02	8,100
93	5,40E-03	3,60E-02	6,669
94	5,91E-03	2,91E-02	4,921
95	5,55E-03	3,75E-02	6,761
96	5,22E-03	3,71E-02	7,105
97	5,47E-03	3,61E-02	6,599
98	5,17E-03	3,97E-02	7,674
99	4,88E-03	4,17E-02	8,537
100	5,41E-03	3,80E-02	7,025

**Anexo A.26. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula Superior-Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	5,85E-03	3,61E-02	6,169
2	5,48E-03	2,99E-02	5,453
3	5,83E-03	4,21E-02	7,226
4	5,48E-03	3,52E-02	6,428

**Anexo A.27. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula Inferior-Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	5,85E-03	3,61E-02	6,169
2	5,48E-03	2,99E-02	5,453
3	5,83E-03	4,21E-02	7,226
4	5,48E-03	3,52E-02	6,428

**Anexo A.28. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula Superior-**

**Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	5,26E-03	3,60E-02	6,838
2	5,25E-03	2,98E-02	5,675
3	4,53E-03	4,20E-02	9,263
4	4,26E-03	3,51E-02	8,238

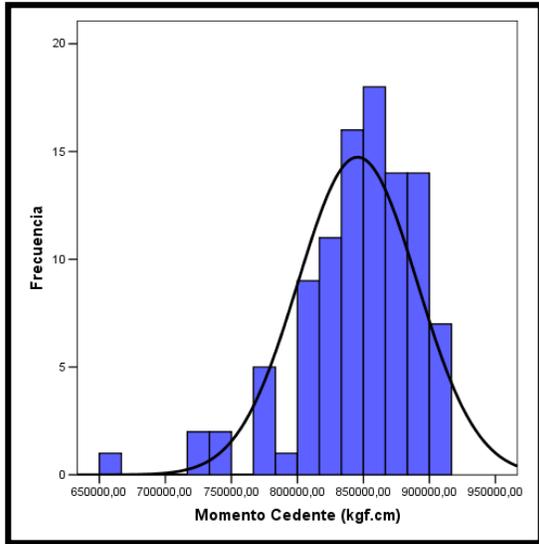
**Anexo A.29. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula Inferior-**

**Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**

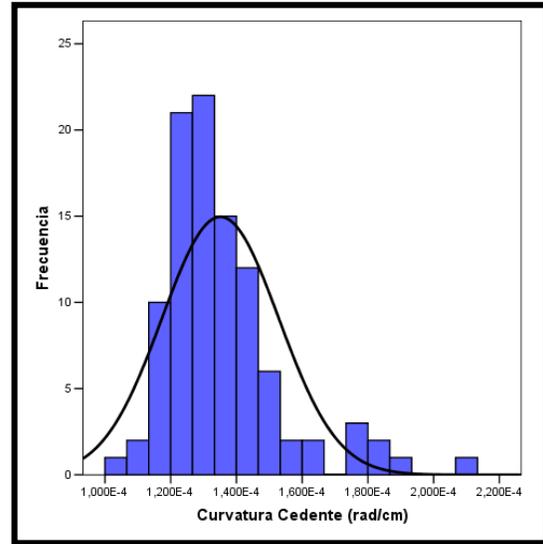
<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	5,26E-03	3,60E-02	6,838
2	5,25E-03	2,98E-02	5,675
3	4,53E-03	4,20E-02	9,263
4	4,26E-03	3,51E-02	8,238

**Gráfico A.1. Momento cedente en la columna planta baja, carga axial 68114kgf.**



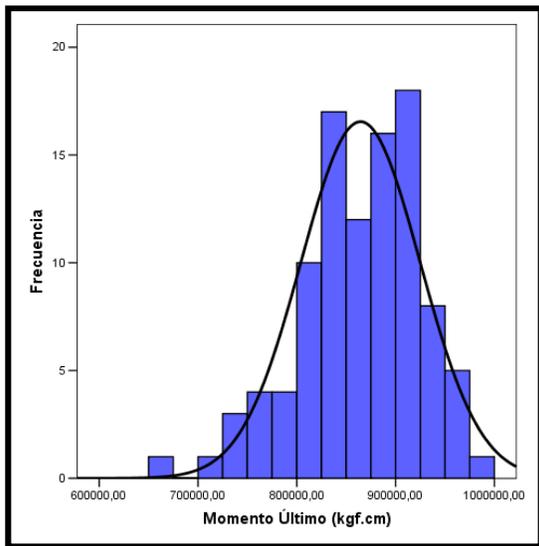
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.2. Curvatura cedente en la columna planta baja, carga axial 68114kgf.**



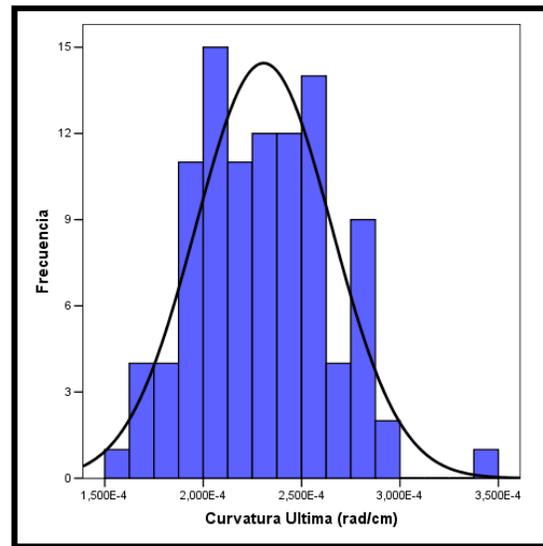
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.3. Momento último en la columna planta baja, carga axial 68114kgf.**



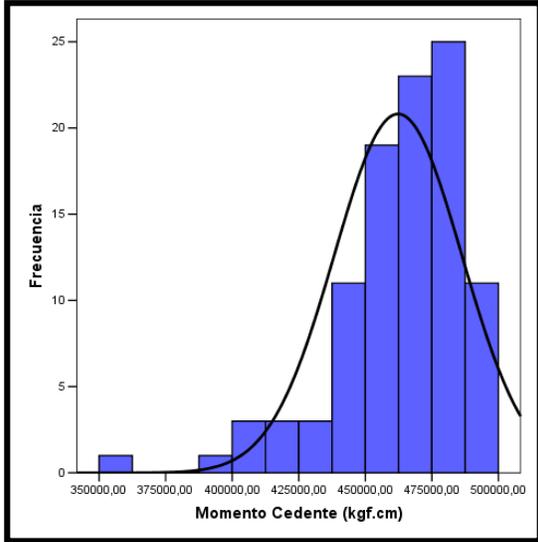
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.4. Curvatura última en la columna planta baja, carga axial 68114kgf.**



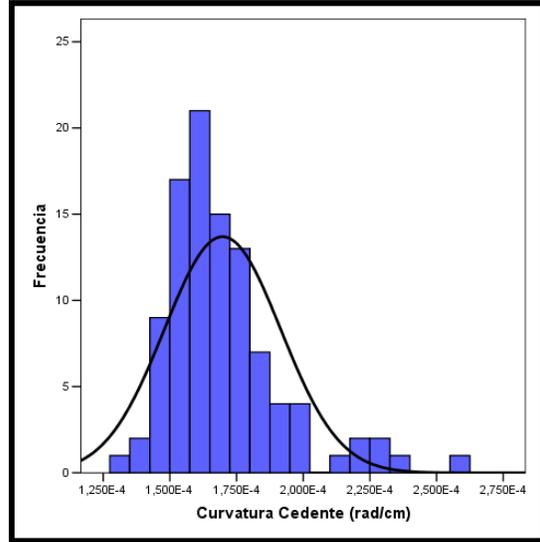
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.5. Momento cedente en la columna piso uno, carga axial 45536kgf.**



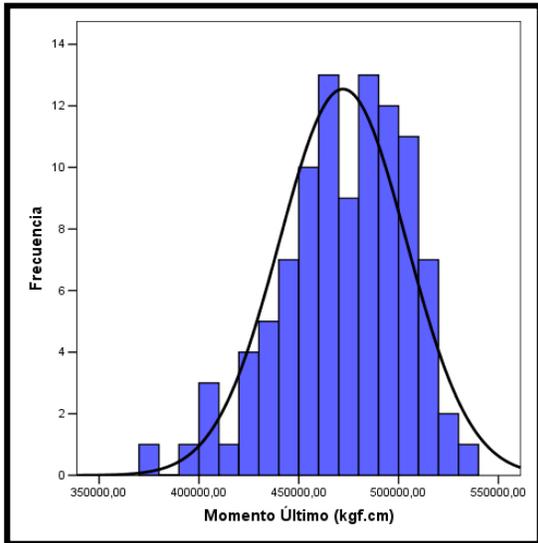
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.6. Curvatura cedente en la columna piso uno, carga axial 45536kgf.**



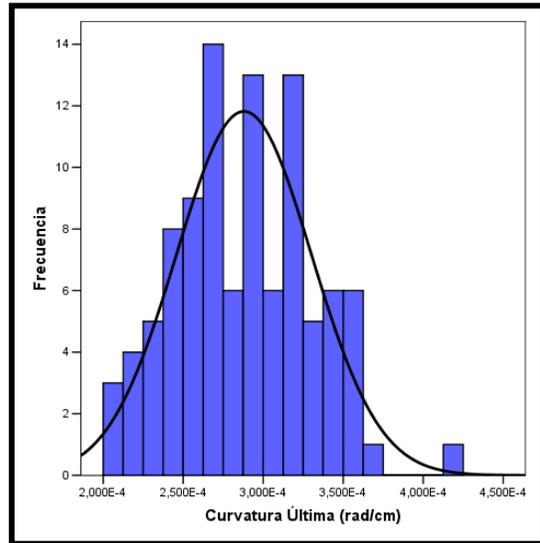
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.7. Momento último en la columna piso uno, carga axial 45536kgf.**



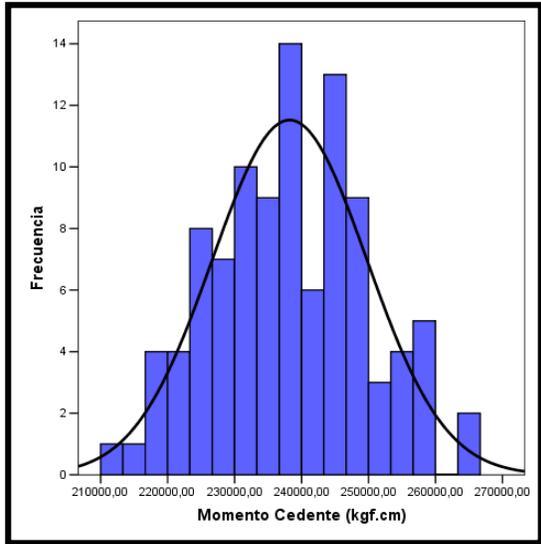
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.8. Curvatura última en la columna piso uno, carga axial 45536kgf.**



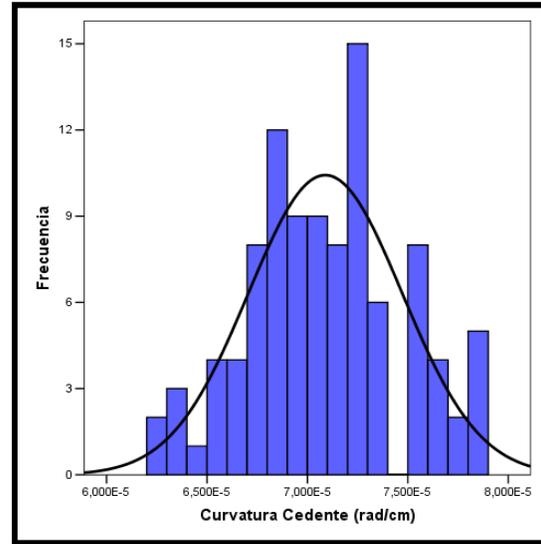
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.9. Momento cedente en la columna planta baja, flexión pura.**



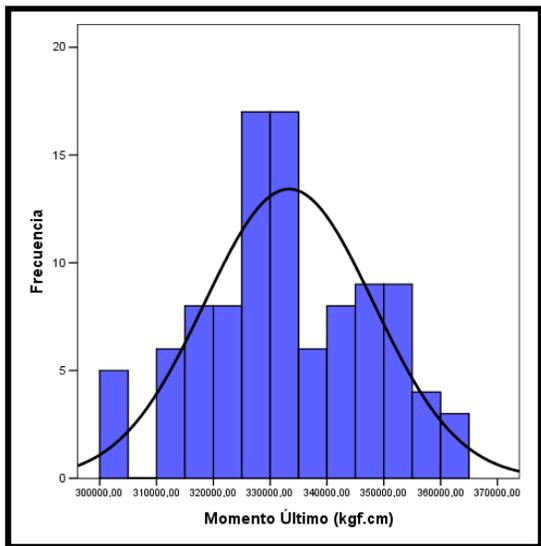
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.10. Curvatura cedente en la columna planta baja, flexión pura.**



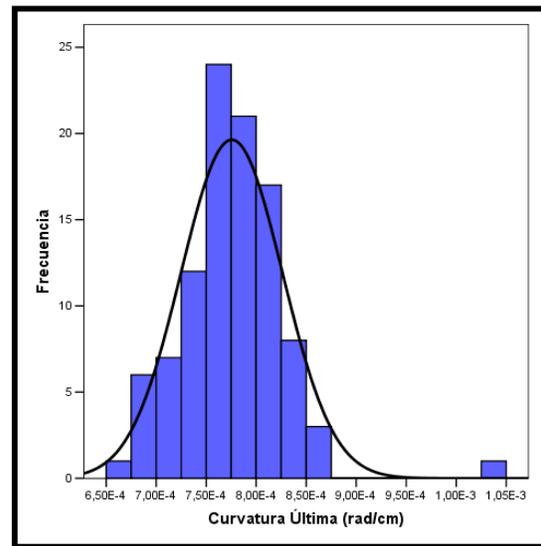
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.11. Momento último en la columna planta baja, flexión pura.**



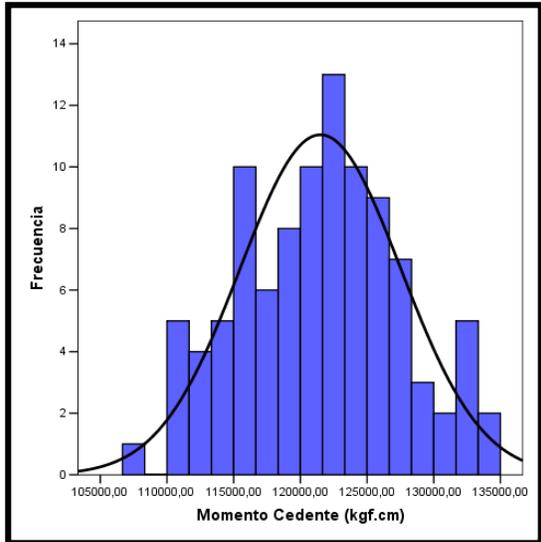
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.12. Curvatura última en la columna planta baja, flexión pura.**



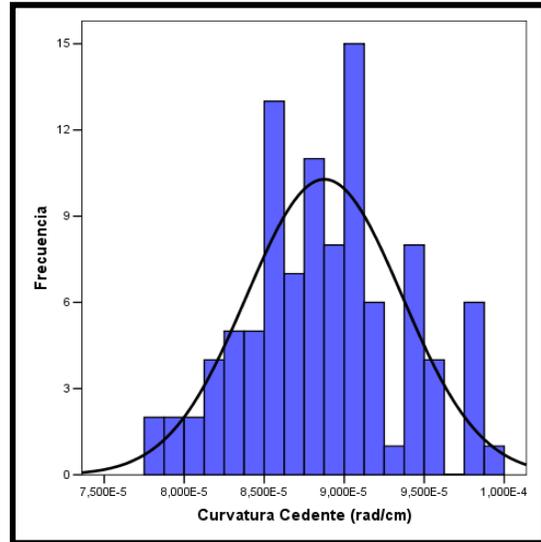
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.13. Momento cedente en la columna piso uno, flexión pura.**



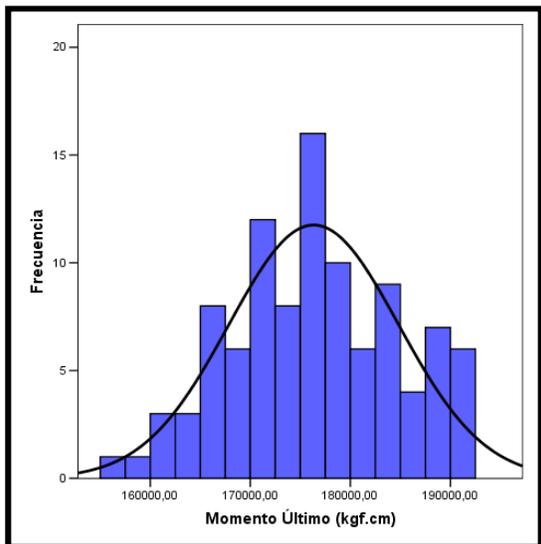
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.14. Curvatura cedente en la columna piso uno, flexión pura.**



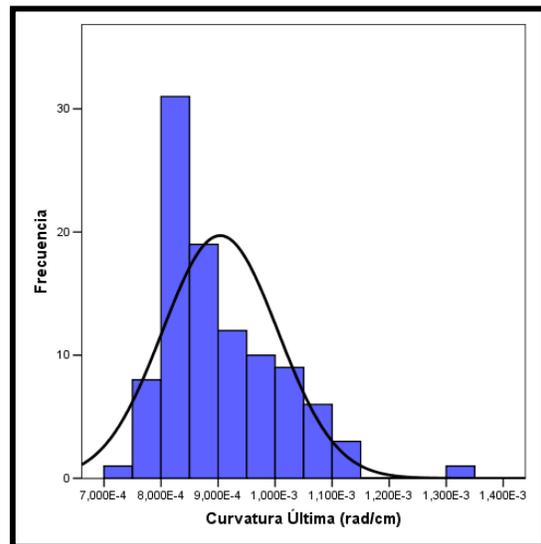
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.15. Momento último en la columna piso uno, flexión pura.**



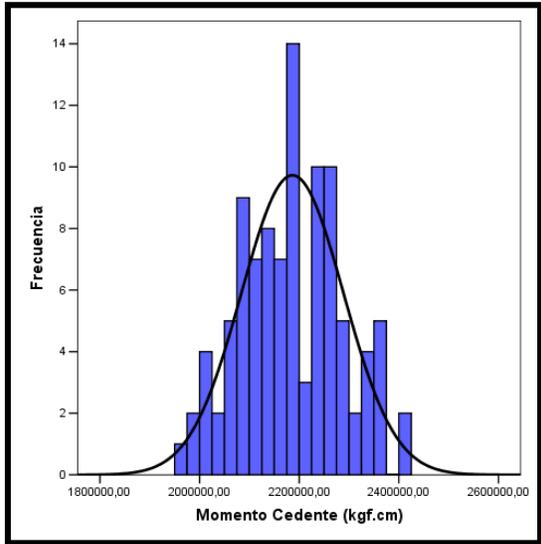
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.16. Curvatura última en la columna piso uno, flexión pura.**



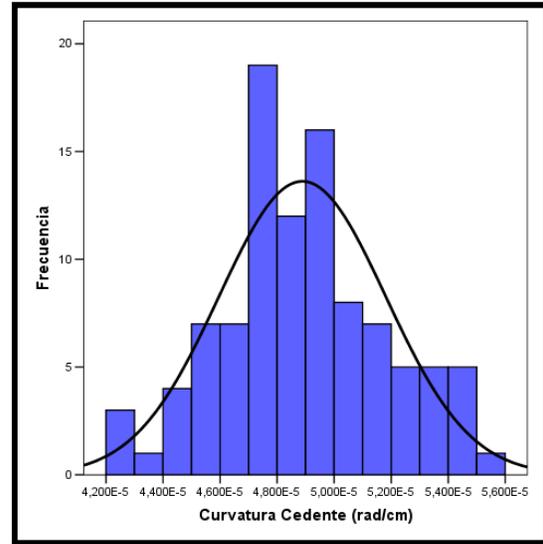
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.17. Momento cedente positivo para la viga techo.**



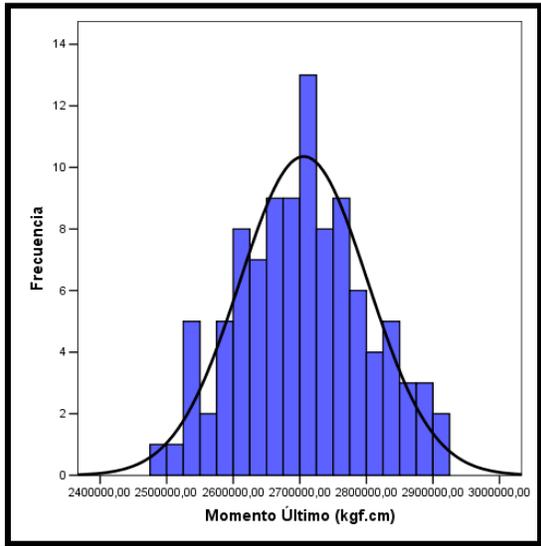
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.18. Curvatura cedente positiva para la viga techo.**



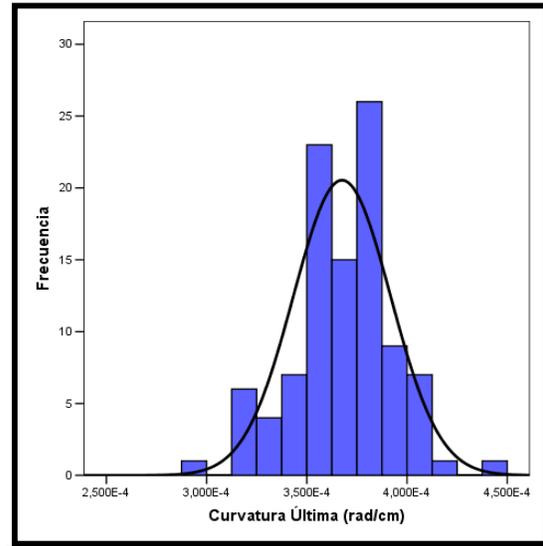
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.19. Momento último positivo para la viga techo.**



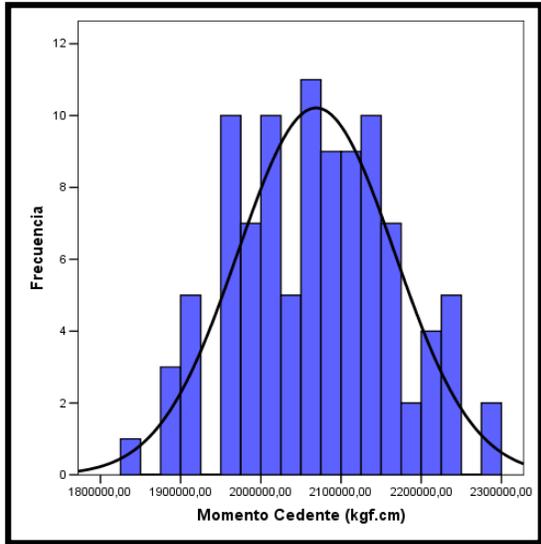
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.20. Curvatura última positiva para la viga techo.**



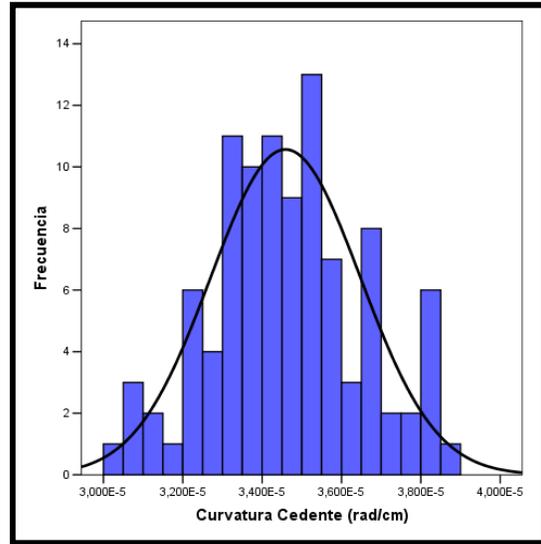
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.21. Momento cedente positivo para la viga entrepiso.**



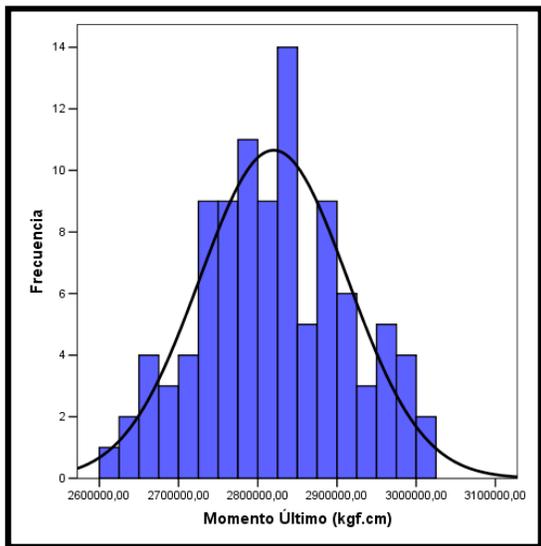
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.22. Curvatura cedente positiva para la viga entrepiso.**



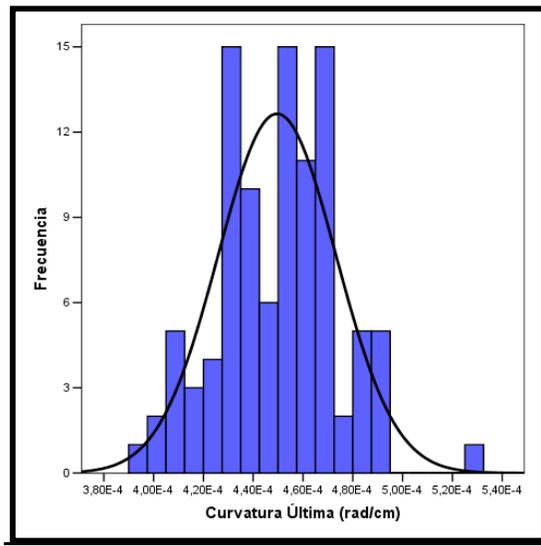
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.23. Momento último positivo para la viga entrepiso.**



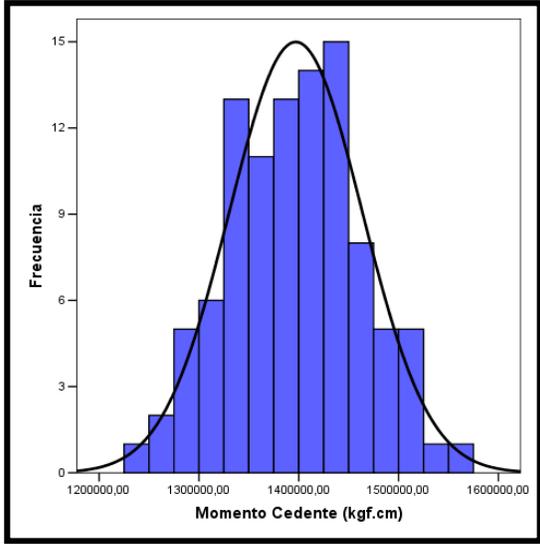
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.24. Curvatura última positiva para la viga entrepiso.**



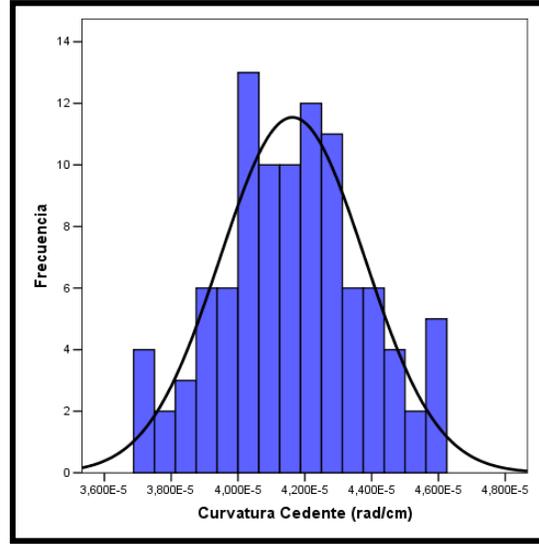
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.25. Momento cedente negativo para la viga techo.**



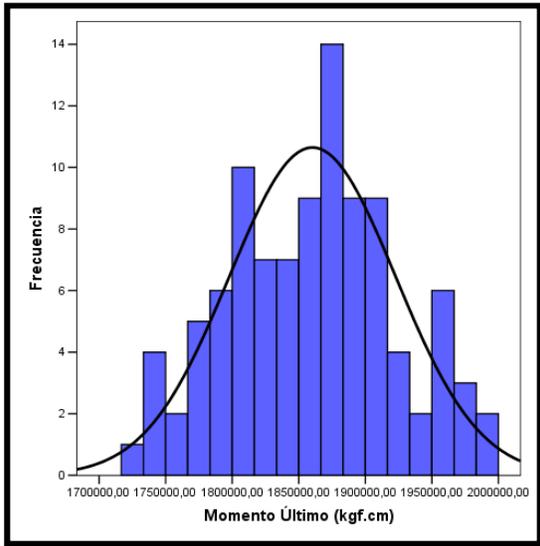
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.26. Curvatura cedente negativa para la viga techo.**



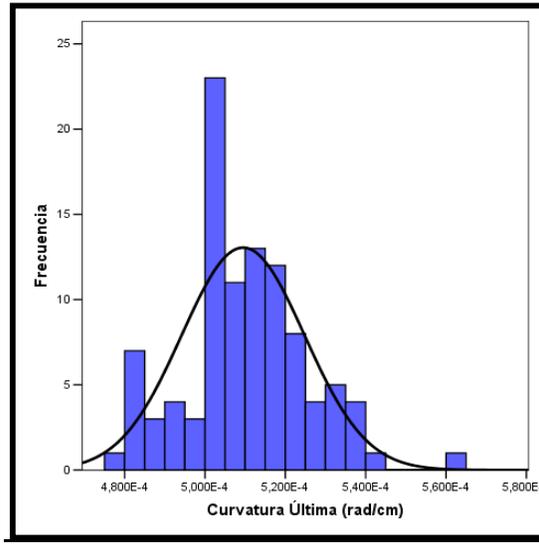
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.27. Momento último negativo para la viga techo.**



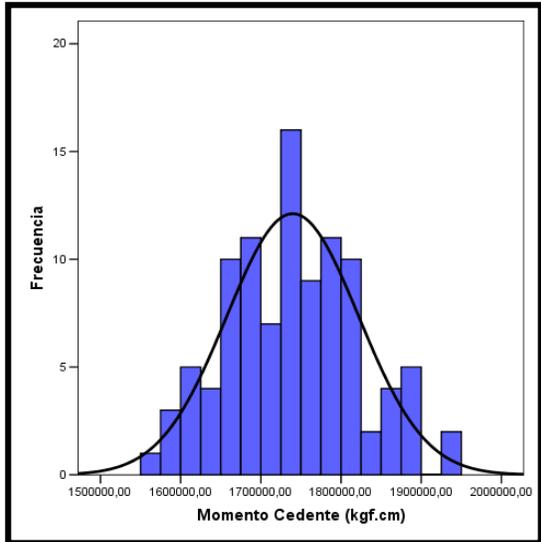
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.28. Curvatura última negativa para la viga techo.**



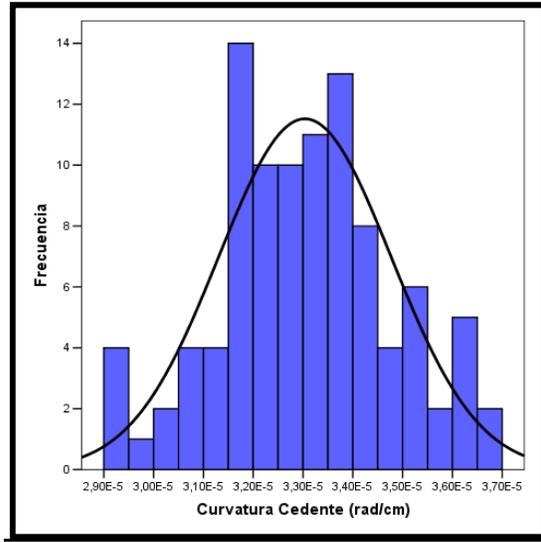
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.29. Momento cedente negativo para la viga entrepiso.**



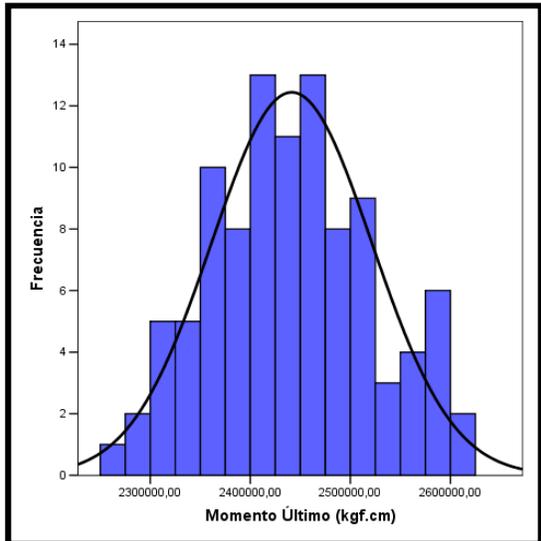
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.30. Curvatura cedente negativa para la viga entrepiso.**



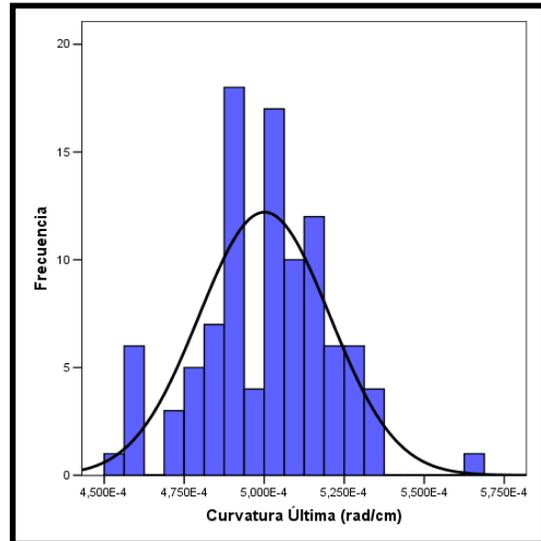
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.31. Momento último negativo para la viga entrepiso.**



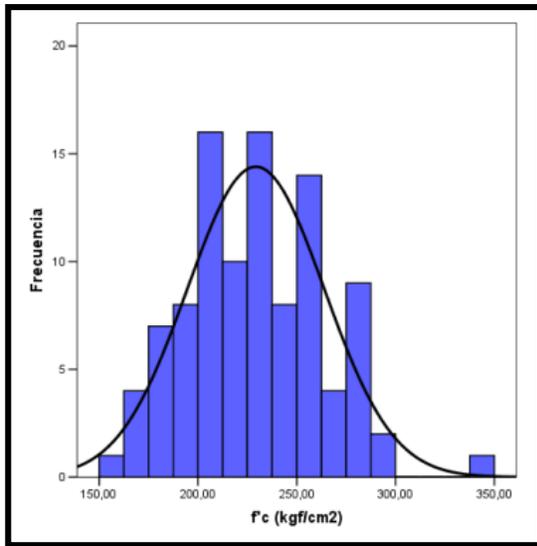
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.32. Curvatura última negativa para la viga entrepiso.**



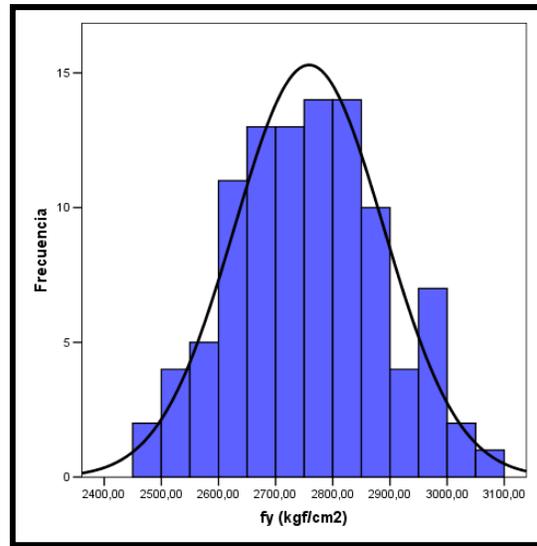
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.33. Resistencia del concreto ( $f'_c$ ).**



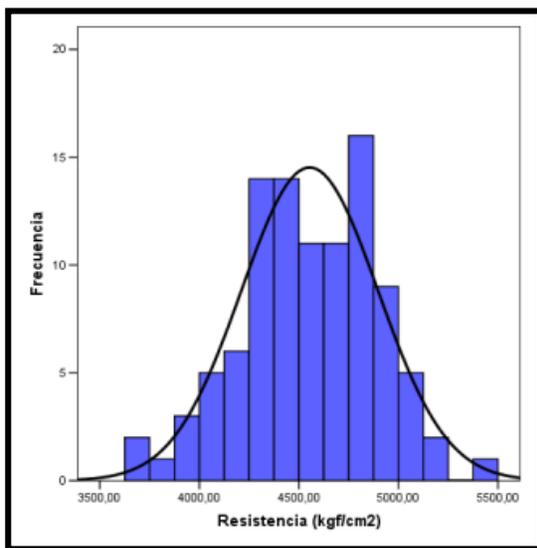
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.34. Tensión cedente del acero ( $f_y$ ).**



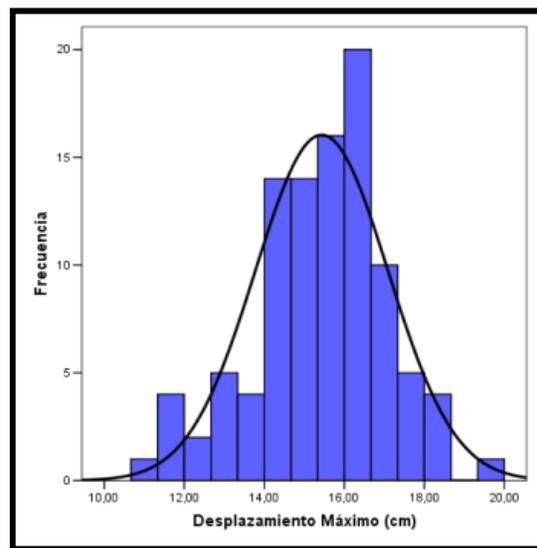
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.35. Resistencia en la viga techo.**



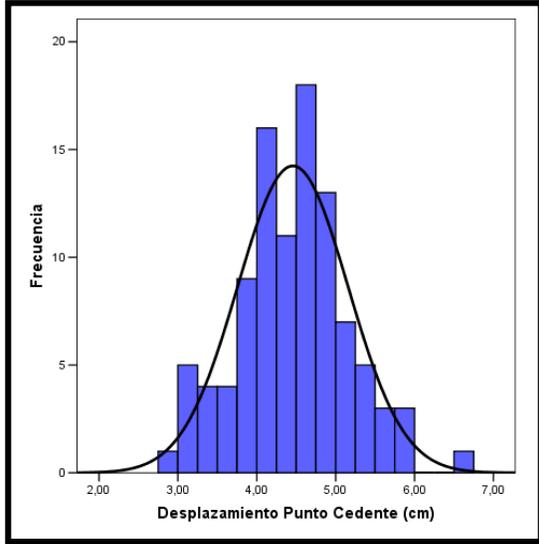
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.36. Desplazamiento máximo en la viga techo.**



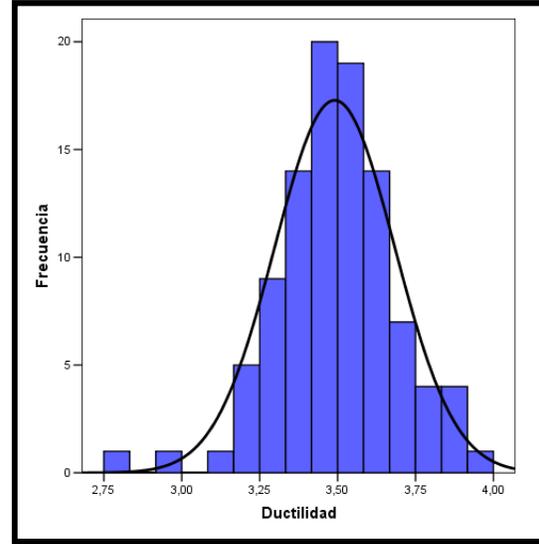
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.37. Desplazamiento cedente en la viga techo.**



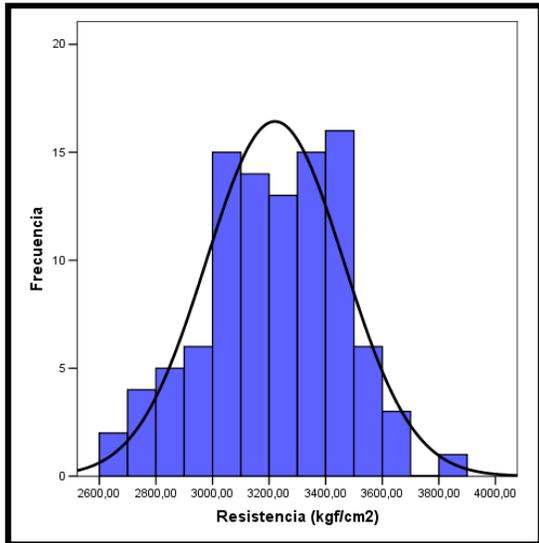
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.38. Ductilidad en la viga techo en función al desplazamiento.**



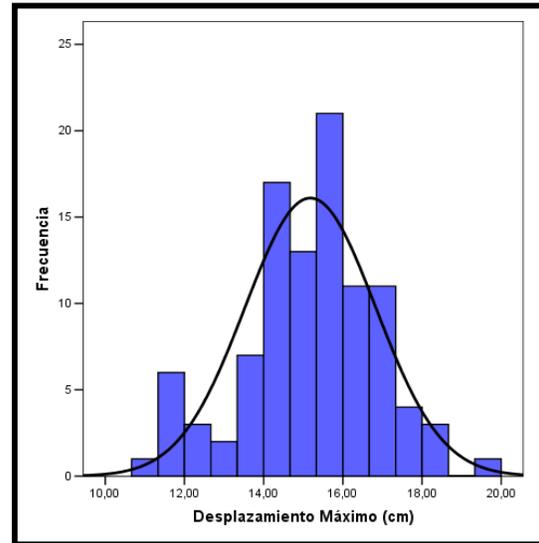
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.39. Resistencia en la viga entrepiso.**



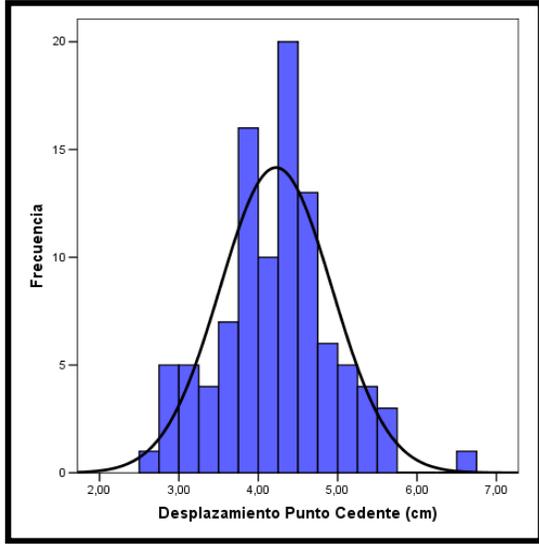
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.40. Desplazamiento máximo en la viga entrepiso.**



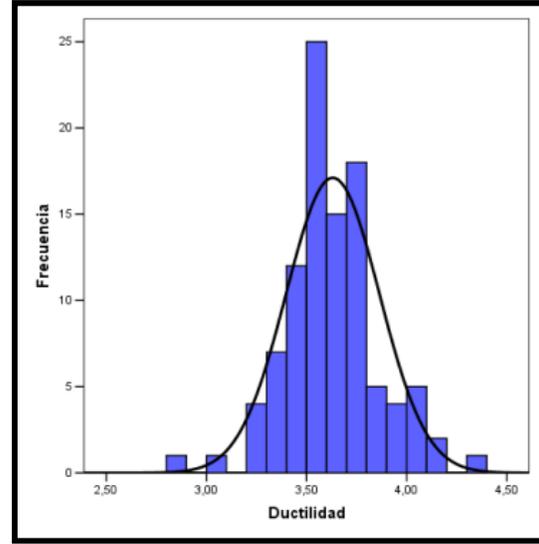
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.41. Desplazamiento cedente en la viga entrepiso.**



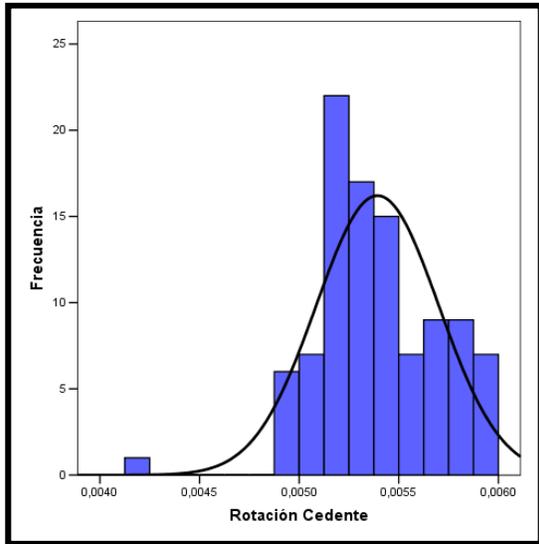
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.42. Ductilidad en la viga entrepiso en función al desplazamiento.**



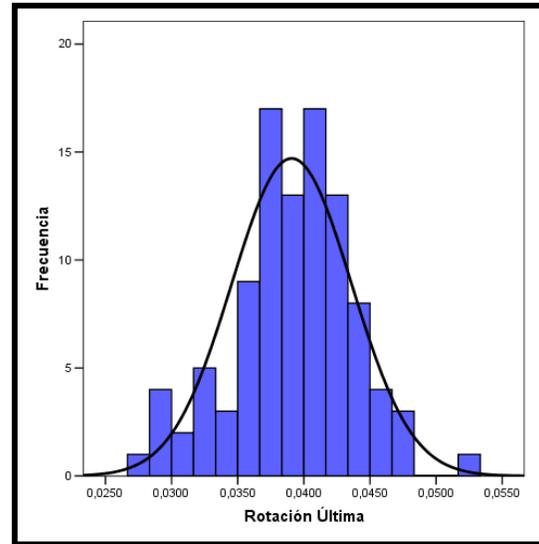
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.43. Rotación cedente - superior derecha en piso uno.**



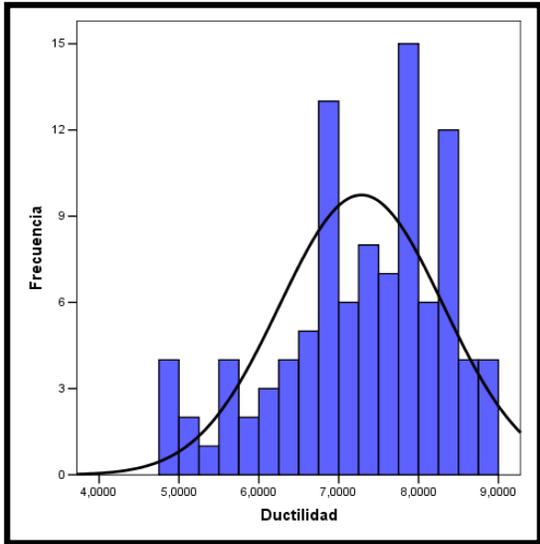
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.44. Rotación última - superior derecha en piso uno.**



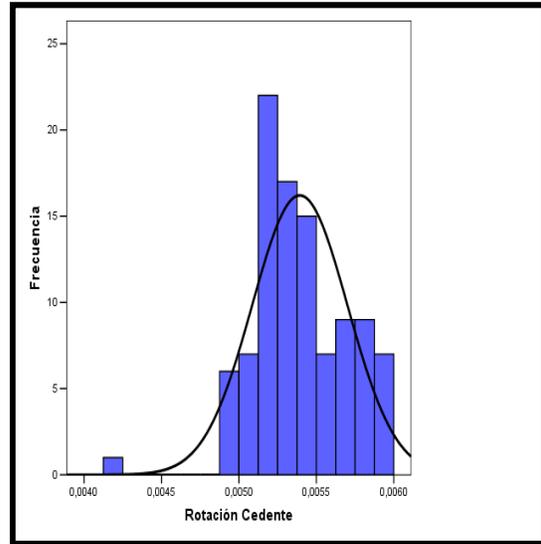
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.45. Ductilidad en función a la rotación - superior derecha en piso uno.**



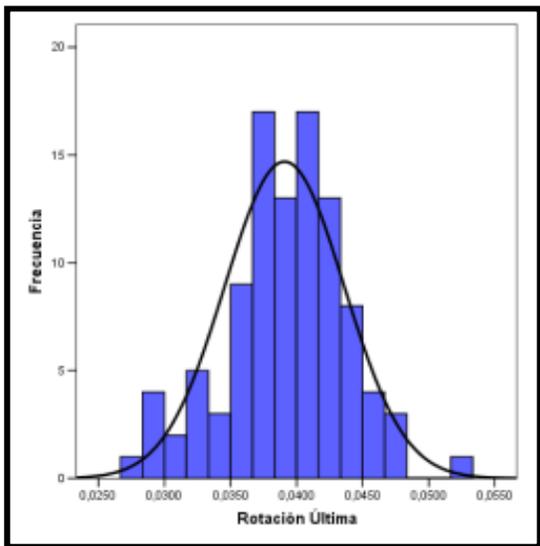
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.46. Rotación cedente - inferior derecha en piso uno.**



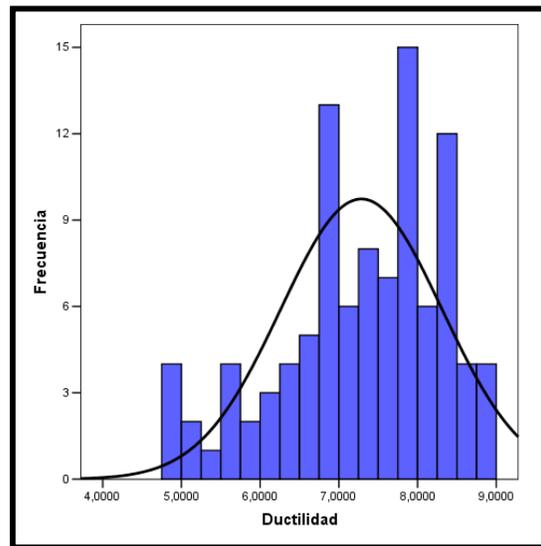
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.47. Rotación última - inferior derecha en piso uno.**



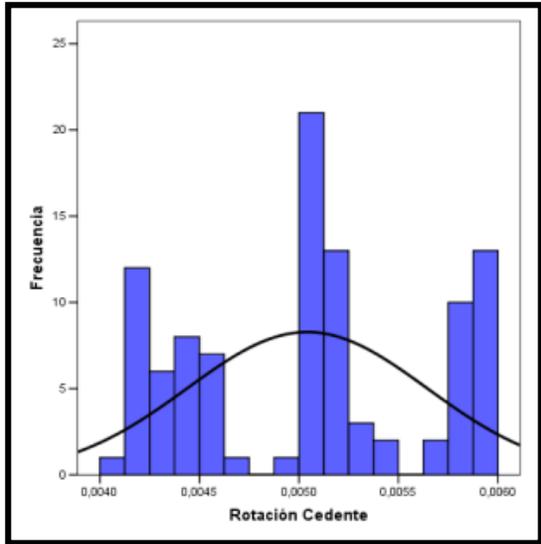
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.48. Ductilidad en función a la rotación - inferior derecha en piso uno.**



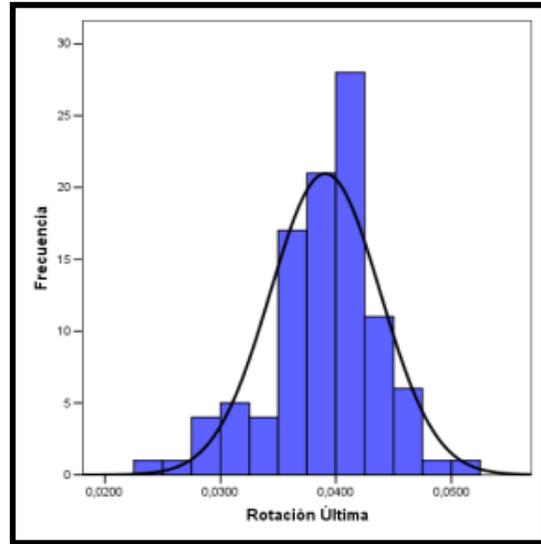
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.49. Rotación cedente - superior izquierda en piso uno.**



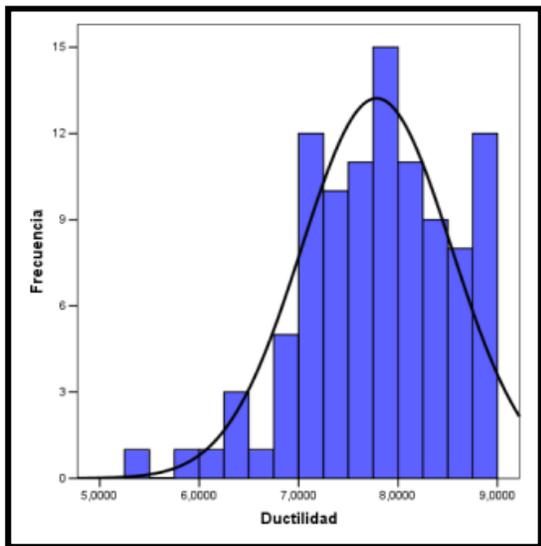
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.50. Rotación última - superior izquierda en piso uno.**



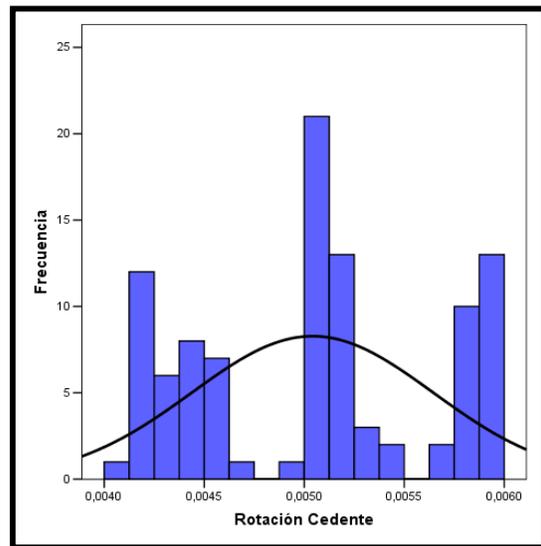
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.51. Ductilidad en función a la rotación - superior izquierda en piso uno.**



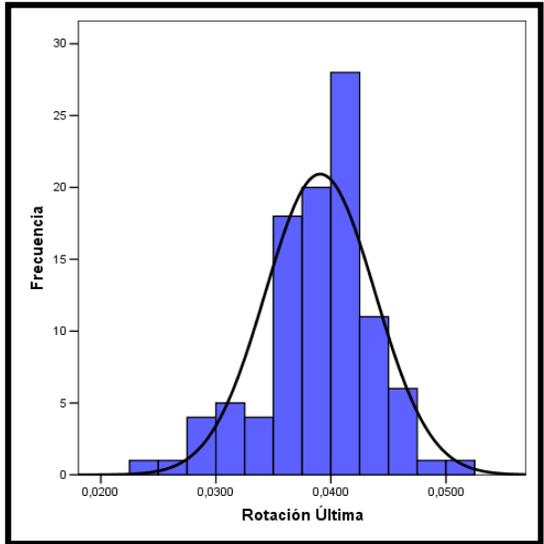
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.52. Rotación cedente - inferior izquierda en piso uno.**



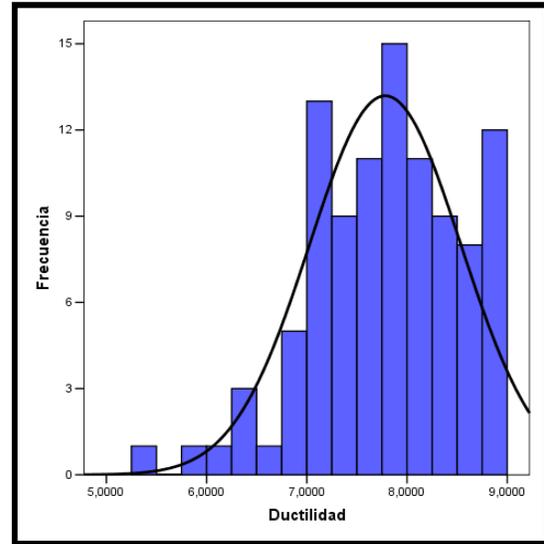
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.53. Rotación última - inferior izquierda en piso uno.**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico A.54. Ductilidad en función a la rotación - inferior izquierda en piso uno.**



Fuente: Elaboración Propia

**Anexo B.1. Valores  $f_c$  y  $f_y$  para SIMULACIÓN DE MONTE CARLO**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	f'c	fy
	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)
1	328	4896
2	323	4640
3	242	5097
4	244	4486
5	265	4989
6	284	4597
7	259	4967
8	339	5006
9	285	4776
10	274	5148
11	313	5051
12	323	5008
13	232	4744
14	272	5193
15	313	4807
16	299	5005
17	352	4732
18	255	4628
19	232	5135
20	156	5091
21	236	4955
22	310	5102
23	293	4837
24	356	4962
25	231	4795
26	291	4837
27	206	4980
28	378	4643
29	230	4435
30	245	4574
31	336	5189
32	277	4950
33	315	5037
34	280	4740
35	318	5097
36	232	4918
37	239	4899
38	240	4943
39	237	4978
40	280	4909
41	265	4812
42	290	4598
43	262	4841
44	352	5011
45	329	4828
46	291	5101
47	269	4847
48	320	4613
49	253	4808
50	225	5140

51	335	4570
52	283	4746
53	270	4573
54	275	4621
55	305	4688
56	196	5088
57	331	4493
58	296	5109
59	281	4503
60	254	5042
61	296	4313
62	274	4452
63	367	4674
64	168	5039
65	251	5398
66	348	5026
67	336	5120
68	324	4636
69	293	4974
70	326	5063
71	280	4750
72	241	5159
73	250	4744
74	278	4123
75	401	5036
76	274	5210
77	274	4854
78	366	4667
79	255	4842
80	261	4873
81	314	5090
82	299	5229
83	281	4856
84	276	5060
85	249	5175
86	340	4577
87	312	5107
88	242	4715
89	242	5043
90	304	4700
91	309	4874
92	244	4679
93	313	4963
94	320	5018
95	326	4676
96	248	5276
97	267	4575
98	266	5056
99	327	5382
100	358	4827

N°	f'c	fy
	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)



**Anexo B.2. Condición Balanceada y Flexión Pura. SIMULACIÓN DE MONTE  
CARLO. Columna Piso 1  
Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CONDICIÓN BALANCEADA			FLEXIÓN PURA			
	Pb	Mb	$\phi_b$	My	$\phi_y$	Mu	$\phi_u$
	(kgf)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
1	189064	4723298	1,18E-04	2352231	7,35E-05	3202920	3,09E-04
2	192078	4596699	1,16E-04	2233864	6,98E-05	3065021	3,21E-04
3	135445	4062985	1,21E-04	2389176	8,04E-05	3184719	2,44E-04
4	148489	3875143	1,14E-04	2115524	7,04E-05	2887761	2,78E-04
5	151177	4231272	1,19E-04	2359231	7,75E-05	3162372	2,65E-04
6	170061	4253756	1,15E-04	2192184	7,05E-05	2996439	2,99E-04
7	148183	4173819	1,19E-04	2343885	7,74E-05	3146435	2,62E-04
8	192814	4850663	1,20E-04	2406875	7,48E-05	3266386	3,11E-04
9	166681	4318823	1,17E-04	2272699	7,32E-05	3083827	2,90E-04
10	152010	4336622	1,21E-04	2443701	7,97E-05	3254635	2,63E-04
11	176949	4646888	1,20E-04	2416135	7,65E-05	3258335	2,93E-04
12	183716	4719143	1,20E-04	2403294	7,55E-05	3246347	3,02E-04
13	136701	3868584	1,17E-04	2225208	7,52E-05	2995712	2,55E-04
14	149510	4324929	1,22E-04	2454675	8,04E-05	3273312	2,60E-04
15	182389	4567489	1,18E-04	2301453	7,27E-05	3133288	3,06E-04
16	170091	4517149	1,20E-04	2384536	7,63E-05	3221353	2,86E-04
17	206553	4863363	1,17E-04	2289036	7,03E-05	3143403	3,33E-04
18	152184	4016689	1,16E-04	2185036	7,21E-05	2971395	2,78E-04
19	128631	3982361	1,21E-04	2404359	8,16E-05	3186164	2,35E-04
20	87065	3347041	1,21E-04	2307510	8,64E-05	2912191	2,00E-04
21	135114	3973840	1,19E-04	2321765	7,84E-05	3105996	2,47E-04
22	173700	4630078	1,21E-04	2436988	7,74E-05	3278601	2,88E-04
23	170331	4414068	1,18E-04	2309529	7,39E-05	3127032	2,91E-04
24	203537	4978182	1,19E-04	2402561	7,37E-05	3267311	3,23E-04
25	135310	3881000	1,17E-04	2242465	7,60E-05	3017986	2,52E-04
26	169177	4397336	1,18E-04	2302362	7,39E-05	3125185	2,90E-04
27	117626	3733934	1,19E-04	2305579	8,05E-05	3069686	2,24E-04
28	224376	5061355	1,16E-04	2257400	6,82E-05	3128952	3,53E-04
29	141250	3742624	1,14E-04	2079297	7,02E-05	2845021	2,70E-04
30	147471	3916960	1,15E-04	2156733	7,18E-05	2930198	2,74E-04
31	185357	4852810	1,22E-04	2496180	7,78E-05	3361635	2,99E-04
32	158521	4311297	1,19E-04	2353283	7,64E-05	3160674	2,75E-04
33	178657	4665111	1,20E-04	2417225	7,63E-05	3256843	2,94E-04
34	164641	4267553	1,17E-04	2256933	7,29E-05	3059926	2,88E-04
35	178284	4693749	1,21E-04	2443838	7,71E-05	3291654	2,93E-04
36	133584	3930000	1,19E-04	2306031	7,81E-05	3082274	2,46E-04
37	137979	3982774	1,19E-04	2302553	7,74E-05	3082053	2,52E-04
38	137753	4006450	1,19E-04	2316749	7,79E-05	3108073	2,50E-04
39	135283	3990455	1,19E-04	2335532	7,88E-05	3116076	2,47E-04
40	161111	4323566	1,19E-04	2329107	7,55E-05	3145840	2,79E-04
41	154608	4169887	1,18E-04	2275619	7,46E-05	3079331	2,74E-04
42	173595	4304980	1,15E-04	2195983	7,03E-05	3000866	3,03E-04
43	152086	4149278	1,18E-04	2285088	7,52E-05	3090361	2,70E-04
44	200183	4962933	1,20E-04	2421320	7,46E-05	3288642	3,17E-04
45	191146	4707908	1,18E-04	2326014	7,25E-05	3166580	3,14E-04
46	163005	4471752	1,21E-04	2424180	7,81E-05	3254248	2,77E-04
47	156093	4212086	1,18E-04	2296943	7,51E-05	3099615	2,75E-04
48	190823	4559406	1,15E-04	2212397	6,94E-05	3046178	3,21E-04
49	147684	4066603	1,18E-04	2270351	7,52E-05	3057273	2,67E-04
50	124624	3926612	1,21E-04	2400564	8,21E-05	3173297	2,31E-04

N°	CONDICIÓN BALANCEADA			FLEXIÓN PURA			
	Pb	Mb	$\phi_b$	My	$\phi_y$	Mu	$\phi_u$
	(kgf)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
51	200656	4670154	1.15E-04	2203715	6.83E-05	3047014	3.31E-04
52	166362	4297259	1.17E-04	2261520	7.29E-05	3068120	2.90E-04
53	162245	4126363	1.15E-04	2166569	7.06E-05	2962923	2.91E-04
54	164308	4187764	1.16E-04	2196551	7.12E-05	2996733	2.91E-04
55	180546	4464562	1.16E-04	2241387	7.11E-05	3063754	3.08E-04
56	109657	3677505	1.21E-04	2349248	8.31E-05	3084973	2.14E-04
57	200252	4613200	1.14E-04	2166795	6.73E-05	2994634	3.35E-04
58	165326	4508051	1.21E-04	2436831	7.81E-05	3265897	2.79E-04
59	170090	4190900	1.14E-04	2141238	6.91E-05	2947631	3.02E-04
60	143697	4152315	1.20E-04	2372745	7.88E-05	3173150	2.55E-04
61	183483	4256063	1.12E-04	2057682	6.55E-05	2869958	3.23E-04
62	167179	4118526	1.14E-04	2111929	6.85E-05	2912245	3.00E-04
63	216876	4972916	1.16E-04	2269120	6.90E-05	3133208	3.45E-04
64	95283	3442673	1.20E-04	2294196	8.43E-05	2949700	2.05E-04
65	131739	4173501	1.24E-04	2534635	8.48E-05	3341181	2.36E-04
66	197412	4930811	1.20E-04	2425030	7.49E-05	3292758	3.14E-04
67	187662	4845636	1.21E-04	2466399	7.68E-05	3320982	3.03E-04
68	192680	4601777	1.16E-04	2226004	6.96E-05	3059391	3.23E-04
69	167178	4453173	1.19E-04	2368184	7.60E-05	3193371	2.84E-04
70	183713	4751315	1.20E-04	2427469	7.62E-05	3280237	3.00E-04
71	164601	4275172	1.17E-04	2261220	7.31E-05	3069495	2.87E-04
72	133006	4060243	1.21E-04	2419208	8.15E-05	3208647	2.41E-04
73	147172	4019340	1.17E-04	2231644	7.42E-05	3022447	2.68E-04
74	176493	4029173	1.10E-04	1966256	6.32E-05	2751687	3.23E-04
75	227432	5380103	1.20E-04	2456878	7.36E-05	3349149	3.45E-04
76	150021	4341158	1.22E-04	2469800	8.07E-05	3287299	2.60E-04
77	158945	4259032	1.18E-04	2301156	7.49E-05	3112022	2.78E-04
78	216780	4970047	1.16E-04	2263045	6.89E-05	3127582	3.45E-04
79	148049	4091625	1.18E-04	2284072	7.56E-05	3080994	2.65E-04
80	151045	4155896	1.18E-04	2303389	7.58E-05	3105075	2.68E-04
81	176134	4656699	1.21E-04	2436429	7.71E-05	3279246	2.91E-04
82	163305	4548306	1.22E-04	2489443	7.98E-05	3327743	2.75E-04
83	162970	4319026	1.18E-04	2310226	7.47E-05	3118057	2.83E-04
84	155873	4344038	1.20E-04	2396064	7.81E-05	3212952	2.69E-04
85	137243	4133947	1.21E-04	2433766	8.13E-05	3233233	2.45E-04
86	203585	4718175	1.15E-04	2203331	6.82E-05	3050343	3.35E-04
87	174752	4649424	1.21E-04	2446350	7.74E-05	3289377	2.88E-04
88	142949	3939353	1.17E-04	2212798	7.41E-05	3000530	2.63E-04
89	136891	4053207	1.20E-04	2366726	7.95E-05	3156543	2.47E-04
90	179529	4456033	1.16E-04	2252315	7.14E-05	3070031	3.06E-04
91	178639	4557354	1.18E-04	2335500	7.39E-05	3162069	3.00E-04
92	144888	3945771	1.16E-04	2205438	7.35E-05	2984848	2.67E-04
93	179004	4620803	1.19E-04	2378307	7.51E-05	3215692	2.97E-04
94	181566	4691826	1.20E-04	2407028	7.57E-05	3251484	2.99E-04
95	192879	4630990	1.16E-04	2249906	7.02E-05	3085653	3.21E-04
96	133551	4132843	1.23E-04	2480225	8.31E-05	3276955	2.40E-04
97	160465	4102669	1.15E-04	2165048	7.07E-05	2963550	2.88E-04
98	150275	4258855	1.20E-04	2391405	7.86E-05	3201007	2.62E-04
99	174116	4800505	1.24E-04	2577931	8.11E-05	3442631	2.84E-04
100	207889	4949343	1.18E-04	2339451	7.16E-05	3198706	3.31E-04

**Anexo B.3. Condición Balanceada y Flexión Pura. SIMULACIÓN DE MONTE  
CARLO. Columna Planta Baja  
Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CONDICIÓN BALANCEADA			FLEXIÓN PURA			
	Pb	Mb	$\phi_b$	My	$\phi_y$	Mu	$\phi_u$
	(kgf)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
1	189924	4971190	1,18E-04	2797066	7,69E-05	3790805	2,42E-04
2	194378	4838880	1,16E-04	2647908	7,29E-05	3655359	2,46E-04
3	135174	4315436	1,21E-04	2810969	8,43E-05	3661241	2,08E-04
4	151655	4113966	1,14E-04	2489173	7,37E-05	3382898	2,22E-04
5	151514	4481302	1,19E-04	2784226	8,12E-05	3673249	2,19E-04
6	172602	4495016	1,15E-04	2588497	7,37E-05	3534596	2,34E-04
7	148644	4423364	1,19E-04	2764738	8,11E-05	3646126	2,17E-04
8	193056	5101000	1,20E-04	2864045	7,83E-05	3871955	2,43E-04
9	168216	4564079	1,17E-04	2691361	7,67E-05	3630802	2,30E-04
10	151452	4590170	1,21E-04	2883655	8,35E-05	3777663	2,18E-04
11	176938	4898253	1,20E-04	2865796	8,00E-05	3831457	2,33E-04
12	183946	4969540	1,20E-04	2854292	7,90E-05	3840273	2,37E-04
13	138415	4113178	1,17E-04	2611480	7,87E-05	3471115	2,12E-04
14	148699	4579475	1,22E-04	2905989	8,44E-05	3792846	2,17E-04
15	183750	4813408	1,18E-04	2733570	7,60E-05	3711106	2,39E-04
16	170338	4767503	1,20E-04	2824818	7,98E-05	3773520	2,30E-04
17	208335	5107569	1,17E-04	2720502	7,34E-05	3777633	2,52E-04
18	154551	4258671	1,16E-04	2581202	7,56E-05	3478856	2,23E-04
19	128146	4235662	1,21E-04	2824628	8,56E-05	3654348	2,03E-04
20	86828	3599443	1,21E-04	2684743	9,08E-05	3397238	1,73E-04
21	135642	4223139	1,19E-04	2731989	8,22E-05	3579182	2,09E-04
22	173401	4882574	1,21E-04	2888832	8,10E-05	3845750	2,32E-04
23	171523	4660677	1,18E-04	2726128	7,73E-05	3676503	2,32E-04
24	204027	5227520	1,19E-04	2852923	7,70E-05	3892827	2,49E-04
25	136738	4126733	1,17E-04	2639917	7,97E-05	3492005	2,11E-04
26	170369	4643947	1,18E-04	2727571	7,74E-05	3673499	2,31E-04
27	118014	3983821	1,19E-04	2704290	8,45E-05	3506508	1,97E-04
28	226659	5303547	1,16E-04	2691529	7,12E-05	3792983	2,62E-04
29	144703	3980323	1,14E-04	2444018	7,35E-05	3314271	2,19E-04
30	150142	4157746	1,15E-04	2536735	7,51E-05	3427156	2,21E-04
31	184568	5107205	1,22E-04	2965778	8,14E-05	3953031	2,38E-04
32	159077	4560445	1,19E-04	2771305	7,99E-05	3687809	2,24E-04
33	178725	4916163	1,20E-04	2856667	7,97E-05	3830118	2,34E-04
34	166378	4512009	1,17E-04	2661767	7,63E-05	3600395	2,29E-04
35	178013	4946126	1,21E-04	2899203	8,06E-05	3863391	2,34E-04
36	134321	4178477	1,19E-04	2703632	8,17E-05	3551006	2,08E-04
37	138823	4230820	1,19E-04	2701756	8,10E-05	3562540	2,11E-04
38	138349	4255477	1,19E-04	2727674	8,17E-05	3587301	2,11E-04
39	135682	4240267	1,19E-04	2747895	8,26E-05	3591559	2,09E-04
40	161898	4571796	1,19E-04	2754765	7,91E-05	3678448	2,26E-04
41	155940	4415966	1,18E-04	2688442	7,82E-05	3595266	2,22E-04
42	176131	4546256	1,15E-04	2594606	7,35E-05	3551761	2,36E-04
43	153255	4396008	1,18E-04	2698464	7,88E-05	3600433	2,21E-04
44	200396	5213369	1,20E-04	2873456	7,79E-05	3904857	2,47E-04
45	192389	4954280	1,18E-04	2756105	7,58E-05	3768429	2,43E-04
46	162711	4724244	1,21E-04	2867643	8,18E-05	3802946	2,25E-04
47	157229	4458942	1,18E-04	2714067	7,86E-05	3620663	2,23E-04
48	193274	4800987	1,15E-04	2632790	7,26E-05	3641258	2,45E-04
49	149039	4312604	1,18E-04	2669158	7,87E-05	3559914	2,18E-04
50	124110	4180030	1,21E-04	2818010	8,62E-05	3636123	2,01E-04

N°	CONDICIÓN BALANCEADA			FLEXIÓN PURA			
	Pb	Mb	$\phi_b$	My	$\phi_y$	Mu	$\phi_u$
	(kgf)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
51	203349	4910760	1,15E-04	2616677	7,14E-05	3652239	2,51E-04
52	168066	4541846	1,17E-04	2667931	7,62E-05	3611142	2,30E-04
53	164922	4367102	1,15E-04	2564573	7,39E-05	3489255	2,30E-04
54	166715	4429569	1,16E-04	2591012	7,45E-05	3522916	2,31E-04
55	182576	4707832	1,16E-04	2661618	7,44E-05	3634034	2,39E-04
56	109437	3929802	1,21E-04	2750613	8,73E-05	3524807	1,90E-04
57	203379	4852091	1,14E-04	2572664	7,03E-05	3609811	2,51E-04
58	164987	4760716	1,21E-04	2883549	8,18E-05	3817899	2,26E-04
59	173160	4430065	1,14E-04	2538568	7,23E-05	3483646	2,35E-04
60	143736	4403538	1,20E-04	2796212	8,26E-05	3672113	2,14E-04
61	187622	4490970	1,12E-04	2446286	6,86E-05	3427730	2,45E-04
62	170536	4356559	1,14E-04	2502718	7,17E-05	3446843	2,33E-04
63	218984	5215812	1,16E-04	2701818	7,20E-05	3777234	2,59E-04
64	95339	3693913	1,20E-04	2680389	8,87E-05	3410956	1,80E-04
65	129773	4432601	1,24E-04	2989317	8,91E-05	3831764	2,05E-04
66	197541	5181586	1,20E-04	2887828	7,83E-05	3907279	2,45E-04
67	187262	5098505	1,21E-04	2931301	8,03E-05	3924872	2,39E-04
68	195003	4843867	1,16E-04	2649755	7,29E-05	3659812	2,46E-04
69	167600	4702841	1,19E-04	2803914	7,96E-05	3747304	2,28E-04
70	183634	5002932	1,20E-04	2883371	7,97E-05	3872058	2,37E-04
71	166282	4519852	1,17E-04	2666710	7,64E-05	3603079	2,29E-04
72	132386	4314067	1,21E-04	2844719	8,54E-05	3691580	2,06E-04
73	148887	4263916	1,17E-04	2633407	7,78E-05	3517370	2,19E-04
74	181700	4259857	1,10E-04	2326047	6,61E-05	3294865	2,43E-04
75	227505	5631049	1,20E-04	2930202	7,67E-05	4031567	2,61E-04
76	149114	4596078	1,22E-04	2913623	8,45E-05	3809518	2,17E-04
77	160042	4506039	1,18E-04	2720634	7,85E-05	3636364	2,25E-04
78	218928	5212788	1,16E-04	2694602	7,19E-05	3770035	2,59E-04
79	149213	4338384	1,18E-04	2694900	7,92E-05	3581086	2,18E-04
80	152034	4403340	1,18E-04	2718912	7,95E-05	3610584	2,20E-04
81	175902	4908926	1,21E-04	2889408	8,07E-05	3856666	2,33E-04
82	162290	4803623	1,22E-04	2945213	8,36E-05	3884494	2,25E-04
83	164055	4566071	1,18E-04	2733111	7,83E-05	3653812	2,27E-04
84	155811	4595637	1,20E-04	2830276	8,18E-05	3742894	2,21E-04
85	136532	4388116	1,21E-04	2863961	8,53E-05	3718886	2,09E-04
86	206239	4958932	1,15E-04	2628476	7,13E-05	3670949	2,52E-04
87	174425	4902029	1,21E-04	2899951	8,11E-05	3858637	2,32E-04
88	144827	4183289	1,17E-04	2609337	7,77E-05	3482927	2,17E-04
89	136925	4304463	1,20E-04	2785245	8,34E-05	3640028	2,09E-04
90	181491	4699573	1,16E-04	2663577	7,46E-05	3640728	2,38E-04
91	179623	4804773	1,18E-04	2760940	7,72E-05	3733965	2,36E-04
92	146968	4188902	1,16E-04	2592212	7,70E-05	3471077	2,18E-04
93	179488	4870206	1,19E-04	2822036	7,86E-05	3789738	2,35E-04
94	181740	4942450	1,20E-04	2857543	7,93E-05	3835214	2,36E-04
95	194977	4873972	1,16E-04	2667472	7,34E-05	3681597	2,46E-04
96	132271	4389248	1,23E-04	2916449	8,71E-05	3766825	2,06E-04
97	163130	4343455	1,15E-04	2561953	7,41E-05	3480448	2,29E-04
98	150235	4510376	1,20E-04	2821355	8,23E-05	3712287	2,17E-04
99	172239	5059180	1,24E-04	3056752	8,49E-05	4028144	2,31E-04
100	209137	5195664	1,18E-04	2780561	7,48E-05	3835671	2,52E-04

**Anexo B.4. Condición Balanceada y Flexión Pura. ESTIMADORES PUNTUALES.****Columna Piso 1****Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CONDICIÓN BALANCEADA			FLEXIÓN PURA			
	Pb	Mb	$\phi_b$	My	$\phi_y$	Mu	$\phi_u$
	(kgf)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
1	187240	4819100	1,20E-04	2447200	7,6303E-05	3295000	3,02E-04
2	137890	4091200	1,20E-04	2388600	7,9967E-05	3175300	2,47E-04
3	198640	4663200	1,15E-04	2216900	6,8819E-05	3050900	3,28E-04
4	147130	3927300	1,15E-04	2168500	7,2112E-05	2943000	2,71E-04

**Anexo B.5. Condición Balanceada y Flexión Pura. ESTIMADORES PUNTUALES.****Columna Planta Baja****Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CONDICIÓN BALANCEADA			FLEXIÓN PURA			
	Pb	Mb	$\phi_b$	My	$\phi_y$	Mu	$\phi_u$
	(kgf)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
1	187060	5070800	1,20E-04	2506600	7,9835E-05	3890300	2,38E-04
2	137710	4342400	1,20E-04	2610200	8,3854E-05	3661600	2,09E-04
3	201190	4903700	1,15E-04	2444040	7,1993E-05	3652900	2,49E-04
4	149670	4167700	1,15E-04	2249400	7,5475E-05	3433800	2,20E-04

**Anexo B.6. Viga de Techo y Entrepiso. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Viga  
Simétrica**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M	$\phi\gamma$	M	$\phi\mu$
	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
1	3691837	5.82E-05	4363394	4.11E-04
2	3491078	5.52E-05	4192450	4.20E-04
3	3813992	6.34E-05	4387065	3.53E-04
4	3359355	5.55E-05	3981323	3.85E-04
5	3740165	6.12E-05	4340830	3.73E-04
6	3458964	5.57E-05	4119378	4.00E-04
7	3727169	6.11E-05	4317303	3.70E-04
8	3779569	5.93E-05	4453720	4.11E-04
9	3589045	5.79E-05	4238001	3.92E-04
10	3862071	6.29E-05	4458427	3.70E-04
11	3806042	6.05E-05	4454920	3.95E-04
12	3772744	5.97E-05	4434609	4.03E-04
13	3547762	5.92E-05	4140809	3.64E-04
14	3894471	6.35E-05	4479591	3.68E-04
15	3623310	5.75E-05	4280121	4.08E-04
16	3768498	6.03E-05	4404669	3.90E-04
17	3567005	5.56E-05	4278432	4.32E-04
18	3471452	5.69E-05	4086523	3.85E-04
19	3838122	6.43E-05	4387071	3.47E-04
20	3778168	6.78E-05	4244231	2.97E-04
21	3704770	6.18E-05	4278088	3.57E-04
22	3839986	6.12E-05	4476313	3.92E-04
23	3635070	5.84E-05	4282245	3.95E-04
24	3744990	5.83E-05	4438876	4.23E-04
25	3587772	5.99E-05	4167679	3.61E-04
26	3637063	5.85E-05	4272952	3.95E-04
27	3714774	6.34E-05	4250931	3.37E-04
28	3505577	5.41E-05	4254815	4.48E-04
29	3322444	5.54E-05	3936662	3.77E-04
30	3425605	5.66E-05	4047026	3.80E-04
31	3907423	6.15E-05	4561415	4.03E-04
32	3716897	6.03E-05	4340938	3.80E-04
33	3793406	6.03E-05	4442417	3.97E-04
34	3562571	5.76E-05	4201220	3.92E-04
35	3836875	6.09E-05	4478635	3.97E-04
36	3678221	6.15E-05	4244025	3.57E-04
37	3671509	6.10E-05	4246566	3.61E-04
38	3697048	6.15E-05	4280979	3.59E-04
39	3725936	6.21E-05	4291727	3.57E-04
40	3691527	5.97E-05	4310064	3.85E-04
41	3606427	5.89E-05	4231839	3.80E-04
42	3454292	5.55E-05	4114867	4.05E-04
43	3633141	5.94E-05	4242600	3.77E-04
44	3787951	5.91E-05	4477047	4.17E-04
45	3636531	5.73E-05	4324808	4.14E-04
46	3832582	6.17E-05	4449248	3.82E-04
47	3639301	5.93E-05	4249444	3.82E-04
48	3471055	5.49E-05	4169177	4.20E-04
49	3607664	5.93E-05	4214757	3.73E-04
50	3843721	6.47E-05	4388311	3.41E-04

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M	$\phi y$	M	$\phi u$
	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
51	3444251	5.41E-05	4163819	4.29E-04
52	3569698	5.76E-05	4201870	3.95E-04
53	3431554	5.58E-05	4076999	3.95E-04
54	3467161	5.62E-05	4118118	3.95E-04
55	3527879	5.62E-05	4199680	4.08E-04
56	3787301	6.53E-05	4302018	3.26E-04
57	3385426	5.32E-05	4099184	4.32E-04
58	3838708	6.17E-05	4460643	3.85E-04
59	3379909	5.46E-05	4054654	4.03E-04
60	3775218	6.22E-05	4361646	3.64E-04
61	3247177	5.19E-05	3934440	4.23E-04
62	3344067	5.42E-05	4003688	4.03E-04
63	3535174	5.47E-05	4261372	4.41E-04
64	3743961	6.63E-05	4224746	3.09E-04
65	4037343	6.69E-05	4596515	3.45E-04
66	3794443	5.93E-05	4483293	4.14E-04
67	3859100	6.07E-05	4518183	4.05E-04
68	3492242	5.51E-05	4195363	4.20E-04
69	3741981	6.01E-05	4364917	3.90E-04
70	3812385	6.03E-05	4468803	4.03E-04
71	3569577	5.77E-05	4204947	3.92E-04
72	3861906	6.42E-05	4417720	3.51E-04
73	3558507	5.86E-05	4162406	3.75E-04
74	3099250	5.00E-05	3801626	4.20E-04
75	3818271	5.83E-05	4539487	4.41E-04
76	3905032	6.36E-05	4495802	3.68E-04
77	3646540	5.92E-05	4261050	3.85E-04
78	3526522	5.46E-05	4254552	4.41E-04
79	3630900	5.97E-05	4237197	3.73E-04
80	3650603	5.98E-05	4263927	3.75E-04
81	3837804	6.10E-05	4474100	3.95E-04
82	3936366	6.31E-05	4550642	3.80E-04
83	3648314	5.90E-05	4279862	3.87E-04
84	3799649	6.17E-05	4406497	3.75E-04
85	3873157	6.41E-05	4439011	3.55E-04
86	3457188	5.41E-05	4169137	4.32E-04
87	3840741	6.12E-05	4487523	3.92E-04
88	3528890	5.85E-05	4126361	3.73E-04
89	3776680	6.27E-05	4341292	3.57E-04
90	3532108	5.64E-05	4199639	4.08E-04
91	3664509	5.84E-05	4320752	4.03E-04
92	3503796	5.79E-05	4109030	3.75E-04
93	3732826	5.94E-05	4388959	4.00E-04
94	3778541	5.99E-05	4441604	4.00E-04
95	3528502	5.56E-05	4219076	4.20E-04
96	3948181	6.54E-05	4510105	3.49E-04
97	3429580	5.59E-05	4078982	3.92E-04
98	3791619	6.20E-05	4384850	3.70E-04
99	4051836	6.42E-05	4676752	3.90E-04
100	3645395	5.67E-05	4358993	4.29E-04

**Anexo B.7. Viga de Techo y Entrepiso. ESTIMADORES PUNTUALES. Viga**

**Simétrica**

**Fuente: Elaboración Propia.**

N°	CEDENCIA		AGOTAMIENTO	
	M	$\phi y$	M	$\phi u$
	(kgf.cm)	(rad/cm)	(kgf.cm)	(rad/cm)
1	3838300	6,04E-05	4493100	4,03E-04
2	3808900	6,31E-05	4376900	3,55E-04
3	3473700	5,45E-05	4170300	4,26E-04
4	3452100	5,69E-05	4063300	3,77E-04

**Anexo B.8.Valores de Salida. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Entrepiso**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	28668,193	9,717	3,521	2,760
2	27481,976	9,743	3,630	2,684
3	28042,084	9,603	3,659	2,624
4	25616,400	9,678	3,430	2,822
5	28026,203	9,645	3,368	2,864
6	26744,483	9,708	3,696	2,627
7	27845,104	9,639	3,317	2,906
8	29282,614	9,718	3,379	2,876
9	27501,310	9,691	3,423	2,831
10	28802,917	9,640	3,500	2,755
11	29094,129	9,688	3,392	2,856
12	29062,437	9,704	3,443	2,819
13	26438,348	9,633	3,249	2,965
14	28977,777	9,629	3,831	2,513
15	28060,509	9,715	3,515	2,764
16	28684,651	9,679	3,297	2,936
17	28296,923	9,758	3,308	2,950
18	26390,698	9,674	3,326	2,908
19	27973,573	9,686	3,388	2,859
20	25547,211	9,694	3,325	2,916
21	27370,400	9,610	3,583	2,682
22	29232,139	9,682	3,911	2,476
23	27877,273	9,692	3,532	2,744
24	29344,513	9,734	3,594	2,709
25	26622,068	9,628	3,638	2,646
26	27857,153	9,690	3,715	2,609
27	26845,885	9,670	3,249	2,976
28	28221,238	9,792	3,831	2,556
29	25150,871	9,664	3,415	2,830
30	25987,667	9,670	3,444	2,808
31	29995,847	9,693	3,430	2,826
32	28058,589	9,666	3,368	2,870
33	29067,237	9,691	3,388	2,861
34	27277,968	9,690	3,645	2,659
35	29348,800	9,687	3,583	2,704
36	27153,865	9,609	3,911	2,457
37	27223,033	9,621	3,532	2,724
38	27404,588	9,618	3,594	2,676
39	27482,276	9,610	3,638	2,641
40	27965,699	9,672	3,715	2,604
41	27303,445	9,667	3,607	2,680
42	26824,719	9,715	3,515	2,764
43	27374,619	9,661	3,297	2,930
44	29512,949	9,725	3,308	2,940
45	28395,697	9,727	3,326	2,924
46	28940,074	9,662	3,388	2,852
47	27517,454	9,668	3,325	2,908
48	27334,524	9,745	3,420	2,849
49	27105,278	9,650	3,525	2,738
50	27861,666	9,679	3,504	2,762

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	27371,922	9,759	3,321	2,939
52	27359,855	9,692	3,430	2,826
53	26391,844	9,700	3,459	2,804
54	26671,071	9,698	3,445	2,815
55	27440,217	9,720	3,383	2,873
56	26969,827	9,653	3,711	2,601
57	26982,234	9,768	3,332	2,932
58	29023,995	9,669	3,394	2,849
59	26292,468	9,715	3,438	2,826
60	28052,322	9,625	3,515	2,739
61	25729,598	9,752	3,407	2,862
62	25990,191	9,715	3,458	2,809
63	28255,275	9,774	3,264	2,994
64	26004,031	9,540	3,846	2,480
65	29357,894	9,581	3,530	2,714
66	29564,521	9,728	3,312	2,937
67	29720,095	9,703	3,323	2,920
68	27485,410	9,747	3,341	2,917
69	28449,587	9,679	3,403	2,844
70	29328,057	9,700	3,340	2,905
71	27323,120	9,687	3,435	2,820
72	28230,080	9,597	3,540	2,711
73	26784,522	9,653	3,519	2,743
74	24644,523	9,760	3,458	2,823
75	30245,418	9,764	3,216	3,037
76	29058,213	9,633	3,452	2,791
77	27640,551	9,671	3,446	2,807
78	28198,798	9,775	3,265	2,994
79	27275,399	9,648	3,504	2,753
80	27337,262	9,630	3,474	2,772
81	29275,781	9,686	3,361	2,882
82	29599,438	9,655	3,400	2,840
83	27756,861	9,678	3,431	2,821
84	28525,722	9,650	3,450	2,797
85	28477,925	9,603	3,530	2,720
86	27491,162	9,764	3,315	2,945
87	29298,783	9,682	3,365	2,878
88	26513,573	9,646	3,543	2,723
89	27678,369	9,714	3,460	2,808
90	27468,804	9,719	3,385	2,871
91	27751,340	9,641	3,329	2,896
92	26387,177	9,657	3,528	2,737
93	28688,709	9,702	3,355	2,892
94	29055,954	9,699	3,350	2,895
95	27703,265	9,741	3,338	2,918
96	28827,868	9,592	3,530	2,717
97	26346,025	9,695	3,466	2,798
98	28325,953	9,639	3,472	2,776
99	30595,049	9,667	3,315	2,916
100	28784,659	9,754	3,279	2,974

**Anexo B.9. Valores de Salida. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Techo**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	42920,410	19,717	6,597	2,989
2	41108,690	19,556	6,561	2,981
3	41827,410	19,066	6,976	2,733
4	38419,040	19,978	7,059	2,830
5	41668,000	18,587	6,703	2,773
6	39578,230	17,987	6,411	2,806
7	41421,740	18,668	6,751	2,765
8	43827,900	19,674	6,550	3,004
9	41143,300	19,597	6,762	2,898
10	43154,590	19,709	6,888	2,861
11	43072,080	18,002	6,329	2,844
12	43329,850	19,085	6,498	2,937
13	39389,500	18,904	6,953	2,719
14	43465,240	19,992	6,984	2,863
15	42033,070	19,795	6,667	2,969
16	42510,630	18,145	6,416	2,828
17	42260,760	19,085	6,411	2,977
18	39182,490	18,416	6,679	2,758
19	41788,340	19,276	7,083	2,721
20	38320,820	18,319	7,588	2,414
21	40270,030	17,036	6,604	2,580
22	43302,210	18,079	6,362	2,842
23	41658,180	19,424	6,689	2,904
24	43671,620	18,852	6,311	2,987
25	39680,470	18,966	6,973	2,720
26	41681,650	19,619	6,741	2,910
27	40177,900	19,645	7,336	2,678
28	42062,480	19,025	6,213	3,062
29	37403,810	18,662	6,879	2,713
30	38612,570	18,522	6,759	2,740
31	44812,590	19,389	6,533	2,968
32	41654,240	18,381	6,565	2,800
33	43502,060	19,654	6,658	2,952
34	40831,400	19,680	6,803	2,893
35	43982,570	19,859	6,698	2,965
36	40503,010	19,073	7,030	2,713
37	40028,880	16,926	6,557	2,582
38	40308,530	16,958	6,561	2,585
39	40982,620	19,032	6,992	2,722
40	41493,080	18,306	6,532	2,803
41	40547,510	18,438	6,634	2,780
42	40159,240	19,712	6,738	2,925
43	40675,160	18,512	6,246	2,964
44	44136,400	19,556	6,483	3,017
45	42368,650	19,221	6,482	2,965
46	43346,360	19,769	6,810	2,903
47	40856,330	18,405	6,605	2,786
48	40888,870	19,559	6,573	2,976
49	40246,380	18,389	6,721	2,736
50	41631,340	19,400	7,154	2,712

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	40757.800	18,851	6,361	2,964
52	40917.480	19,545	6,758	2,892
53	39103.560	18,145	6,514	2,786
54	39512.990	18,129	6,486	2,795
55	41058.090	19,631	6,664	2,946
56	40435.210	19,922	7,476	2,665
57	40131.360	18,680	6,336	2,948
58	43052.950	18,263	6,461	2,827
59	39255.070	19,308	6,697	2,883
60	41219.050	16,805	6,451	2,605
61	38355.900	19,025	6,557	2,902
62	38850.470	19,485	6,770	2,878
63	41948.100	18,409	6,155	2,991
64	38634.010	18,397	7,454	2,468
65	43803.440	19,185	6,970	2,753
66	44226.980	19,604	6,533	3,001
67	44319.080	19,116	6,465	2,957
68	41106.390	19,528	6,549	2,982
69	42173.580	18,181	6,448	2,820
70	43760.980	19,204	6,517	2,947
71	40881.260	19,613	6,788	2,889
72	42262.690	19,488	7,072	2,756
73	39677.100	18,029	6,662	2,706
74	36383.570	17,650	6,346	2,781
75	45113.700	19,118	6,224	3,071
76	43585.370	19,989	6,950	2,876
77	41021.390	18,346	6,568	2,793
78	41839.280	18,318	6,137	2,985
79	40482.810	18,324	6,699	2,735
80	40995.000	19,958	6,995	2,853
81	43348.220	18,021	6,332	2,846
82	43927.680	18,322	6,501	2,818
83	41162.130	18,240	6,511	2,801
84	42381.790	18,485	6,629	2,789
85	42465.220	19,019	6,930	2,744
86	40980.440	19,026	6,382	2,981
87	43398.080	18,071	6,354	2,844
88	39312.510	18,164	6,739	2,695
89	41517.550	19,007	6,959	2,731
90	41093.280	19,603	6,654	2,946
91	41082.070	18,072	6,339	2,851
92	39243.200	18,649	6,793	2,745
93	43014.100	19,933	6,701	2,975
94	43359.700	19,220	6,541	2,939
95	41426.180	19,549	6,546	2,987
96	43202.010	19,758	7,097	2,784
97	39051.620	18,201	6,543	2,782
98	42130.280	18,640	6,713	2,777
99	45725.930	19,118	6,552	2,918
100	42998.590	19,344	6,394	3,025

**Anexo B.10.Valores de Salida. ESTIMADORES PUNTUALES. Entrepiso**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	29390,63	9,399	3,267	2,877
2	28035,01	9,609	3,544	2,711
3	27450,68	9,753	3,329	2,930
4	26087,31	9,665	3,531	2,737

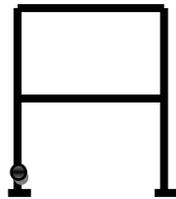
**Anexo B.11.Valores de Salida. ESTIMADORES PUNTUALES. Techo**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Resistencia (kgf)</b>	<b>Desplazamiento Máximo (cm)</b>	<b>Desplazamiento Cedente (cm)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	44085,94	19,395	6,540	2,966
2	41799,26	18,999	6,945	2,735
3	41028,09	19,431	6,500	2,989
4	38773,86	18,566	6,772	2,742

**Anexo B.12. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula PB  
Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**



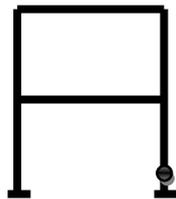
<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0,0033	0,0256	7,874
2	0,0031	0,0255	8,233
3	0,0036	0,0258	7,207
4	0,0032	0,0251	7,937
5	0,0034	0,0252	7,309
6	0,0031	0,0252	8,013
7	0,0034	0,0253	7,344
8	0,0033	0,0255	7,723
9	0,0033	0,0251	7,696
10	0,0035	0,0252	7,134
11	0,0034	0,0252	7,461
12	0,0033	0,0253	7,594
13	0,0034	0,0257	7,629
14	0,0036	0,0253	7,101
15	0,0032	0,0255	7,919
16	0,0034	0,0250	7,405
17	0,0031	0,0256	8,245
18	0,0032	0,0250	7,747
19	0,0036	0,0262	7,198
20	0,0039	0,0229	5,856
21	0,0035	0,0259	7,401
22	0,0034	0,0251	7,345
23	0,0033	0,0251	7,653
24	0,0032	0,0258	7,951
25	0,0034	0,0258	7,577
26	0,0033	0,0251	7,639
27	0,0036	0,0267	7,383
28	0,0030	0,0249	8,275
29	0,0032	0,0254	8,035
30	0,0032	0,0252	7,830
31	0,0034	0,0253	7,393
32	0,0034	0,0249	7,345
33	0,0034	0,0252	7,482
34	0,0032	0,0250	7,696
35	0,0034	0,0252	7,407
36	0,0035	0,0259	7,430
37	0,0035	0,0257	7,442
38	0,0035	0,0258	7,418
39	0,0035	0,0259	7,367
40	0,0034	0,0248	7,389
41	0,0033	0,0250	7,518
42	0,0031	0,0254	8,118
43	0,0034	0,0251	7,490
44	0,0033	0,0257	7,829
45	0,0032	0,0257	8,016
46	0,0035	0,0248	7,174
47	0,0033	0,0249	7,461
48	0,0031	0,0255	8,267
49	0,0034	0,0252	7,517
50	0,0037	0,0264	7,206

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	0.0030	0.0253	8.351
52	0.0032	0.0251	7.745
53	0.0032	0.0250	7.921
54	0.0032	0.0250	7.866
55	0.0032	0.0255	8.064
56	0.0037	0.0257	6.886
57	0.0030	0.0252	8.431
58	0.0035	0.0248	7.188
59	0.0031	0.0253	8.198
60	0.0035	0.0255	7.266
61	0.0029	0.0251	8.552
62	0.0031	0.0252	8.216
63	0.0030	0.0252	8.273
64	0.0038	0.0250	6.558
65	0.0038	0.0260	6.908
66	0.0033	0.0257	7.793
67	0.0034	0.0254	7.509
68	0.0031	0.0255	8.254
69	0.0034	0.0250	7.425
70	0.0034	0.0253	7.525
71	0.0032	0.0250	7.694
72	0.0036	0.0259	7.135
73	0.0033	0.0253	7.621
74	0.0028	0.0250	8.785
75	0.0032	0.0257	7.976
76	0.0036	0.0253	7.090
77	0.0033	0.0249	7.477
78	0.0030	0.0252	8.285
79	0.0034	0.0252	7.477
80	0.0034	0.0254	7.516
81	0.0034	0.0251	7.375
82	0.0035	0.0248	7.035
83	0.0033	0.0249	7.496
84	0.0035	0.0250	7.214
85	0.0036	0.0258	7.137
86	0.0030	0.0255	8.433
87	0.0034	0.0250	7.308
88	0.0033	0.0254	7.656
89	0.0035	0.0257	7.256
90	0.0032	0.0255	8.044
91	0.0033	0.0256	7.828
92	0.0033	0.0254	7.715
93	0.0033	0.0252	7.580
94	0.0033	0.0252	7.536
95	0.0031	0.0258	8.294
96	0.0037	0.0259	7.027
97	0.0032	0.0249	7.871
98	0.0035	0.0253	7.254
99	0.0036	0.0249	6.979
100	0.0032	0.0256	8.110

**Anexo B.13. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula PB**

**Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**



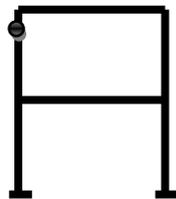
<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0.0036	0.0258	7.211
2	0.0034	0.0257	7.551
3	0.0040	0.0261	6.520
4	0.0035	0.0253	7.196
5	0.0038	0.0255	6.654
6	0.0035	0.0255	7.332
7	0.0038	0.0256	6.670
8	0.0036	0.0258	7.106
9	0.0036	0.0253	7.016
10	0.0039	0.0255	6.500
11	0.0037	0.0254	6.803
12	0.0037	0.0256	6.969
13	0.0038	0.0259	6.881
14	0.0040	0.0256	6.456
15	0.0036	0.0257	7.233
16	0.0037	0.0252	6.747
17	0.0034	0.0259	7.604
18	0.0036	0.0252	7.032
19	0.0041	0.0264	6.480
20	0.0041	0.0230	5.575
21	0.0039	0.0261	6.666
22	0.0038	0.0253	6.696
23	0.0036	0.0254	6.996
24	0.0036	0.0261	7.335
25	0.0038	0.0260	6.834
26	0.0036	0.0254	6.982
27	0.0041	0.0269	6.612
28	0.0040	0.0252	6.358
29	0.0035	0.0256	7.260
30	0.0036	0.0254	7.100
31	0.0038	0.0256	6.790
32	0.0038	0.0251	6.680
33	0.0037	0.0254	6.835
34	0.0036	0.0253	7.042
35	0.0038	0.0254	6.768
36	0.0039	0.0261	6.689
37	0.0039	0.0259	6.718
38	0.0039	0.0260	6.684
39	0.0039	0.0261	6.649
40	0.0037	0.0251	6.749
41	0.0037	0.0253	6.845
42	0.0035	0.0257	7.432
43	0.0037	0.0254	6.817
44	0.0036	0.0260	7.222
45	0.0035	0.0259	7.341
46	0.0038	0.0250	6.520
47	0.0037	0.0252	6.795
48	0.0034	0.0257	7.581
49	0.0037	0.0255	6.836
50	0.0041	0.0266	6.469

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	0.0033	0.0255	7.665
52	0.0036	0.0254	7.074
53	0.0035	0.0253	7.227
54	0.0035	0.0253	7.194
55	0.0035	0.0257	7.374
56	0.0042	0.0259	6.148
57	0.0033	0.0254	7.751
58	0.0038	0.0250	6.548
59	0.0034	0.0256	7.500
60	0.0039	0.0258	6.595
61	0.0032	0.0254	7.861
62	0.0034	0.0255	7.512
63	0.0033	0.0255	7.650
64	0.0043	0.0252	5.807
65	0.0042	0.0263	6.254
66	0.0036	0.0260	7.173
67	0.0037	0.0257	6.908
68	0.0034	0.0257	7.558
69	0.0037	0.0252	6.736
70	0.0037	0.0256	6.906
71	0.0036	0.0253	7.027
72	0.0041	0.0262	6.440
73	0.0037	0.0255	6.900
74	0.0031	0.0252	8.032
75	0.0035	0.0260	7.386
76	0.0040	0.0255	6.423
77	0.0037	0.0252	6.813
78	0.0033	0.0255	7.661
79	0.0038	0.0255	6.802
80	0.0038	0.0257	6.839
81	0.0038	0.0254	6.764
82	0.0039	0.0250	6.410
83	0.0037	0.0252	6.846
84	0.0038	0.0253	6.574
85	0.0033	0.0261	7.838
86	0.0033	0.0257	7.742
87	0.0038	0.0253	6.702
88	0.0037	0.0256	6.914
89	0.0040	0.0260	6.565
90	0.0035	0.0257	7.356
91	0.0036	0.0259	7.176
92	0.0037	0.0256	6.981
93	0.0037	0.0255	6.951
94	0.0037	0.0255	6.915
95	0.0034	0.0260	7.595
96	0.0041	0.0262	6.362
97	0.0035	0.0252	7.181
98	0.0039	0.0256	6.605
99	0.0038	0.0252	6.706
100	0.0035	0.0259	7.482

**Anexo B.14. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula P1**

**Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**



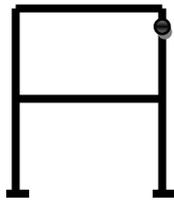
<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0.0030	0.0166	5.503
2	0.0029	0.0165	5.753
3	0.0033	0.0148	4.479
4	0.0029	0.0156	5.373
5	0.0032	0.0154	4.842
6	0.0029	0.0162	5.591
7	0.0032	0.0153	4.808
8	0.0031	0.0166	5.408
9	0.0030	0.0161	5.349
10	0.0033	0.0154	4.715
11	0.0031	0.0162	5.164
12	0.0031	0.0164	5.298
13	0.0031	0.0150	4.845
14	0.0033	0.0153	4.637
15	0.0030	0.0165	5.526
16	0.0031	0.0160	5.114
17	0.0029	0.0167	5.792
18	0.0030	0.0157	5.286
19	0.0034	0.0145	4.327
20	0.0036	0.0153	4.278
21	0.0032	0.0148	4.592
22	0.0032	0.0161	5.072
23	0.0030	0.0161	5.307
24	0.0030	0.0169	5.598
25	0.0031	0.0149	4.761
26	0.0030	0.0161	5.299
27	0.0033	0.0140	4.220
28	0.0028	0.0156	5.575
29	0.0029	0.0153	5.277
30	0.0030	0.0155	5.245
31	0.0032	0.0164	5.146
32	0.0031	0.0157	5.008
33	0.0031	0.0162	5.186
34	0.0030	0.0160	5.339
35	0.0032	0.0162	5.134
36	0.0032	0.0148	4.611
37	0.0032	0.0150	4.715
38	0.0032	0.0149	4.650
39	0.0032	0.0148	4.571
40	0.0031	0.0158	5.090
41	0.0031	0.0156	5.085
42	0.0029	0.0164	5.678
43	0.0031	0.0155	5.006
44	0.0031	0.0168	5.502
45	0.0030	0.0167	5.614
46	0.0032	0.0158	4.931
47	0.0031	0.0157	5.089
48	0.0029	0.0165	5.777
49	0.0031	0.0154	4.982
50	0.0034	0.0143	4.241

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	0.0028	0.0163	5.789
52	0.0030	0.0161	5.356
53	0.0029	0.0160	5.479
54	0.0029	0.0160	5.440
55	0.0029	0.0165	5.621
56	0.0034	0.0166	4.830
57	0.0028	0.0162	5.833
58	0.0032	0.0158	4.915
59	0.0029	0.0163	5.706
60	0.0033	0.0151	4.643
61	0.0027	0.0161	5.933
62	0.0028	0.0162	5.717
63	0.0028	0.0163	5.741
64	0.0035	0.0160	4.569
65	0.0035	0.0146	4.179
66	0.0031	0.0168	5.460
67	0.0032	0.0165	5.230
68	0.0029	0.0165	5.739
69	0.0031	0.0160	5.104
70	0.0031	0.0164	5.232
71	0.0030	0.0160	5.310
72	0.0034	0.0147	4.373
73	0.0031	0.0154	5.016
74	0.0026	0.0159	6.069
75	0.0030	0.0168	5.570
76	0.0033	0.0153	4.606
77	0.0031	0.0157	5.082
78	0.0028	0.0163	5.741
79	0.0031	0.0154	4.931
80	0.0031	0.0154	4.924
81	0.0032	0.0162	5.108
82	0.0033	0.0158	4.810
83	0.0031	0.0159	5.161
84	0.0032	0.0156	4.844
85	0.0033	0.0148	4.419
86	0.0028	0.0165	5.860
87	0.0032	0.0161	5.059
88	0.0031	0.0153	4.989
89	0.0033	0.0149	4.542
90	0.0029	0.0165	5.607
91	0.0030	0.0161	5.293
92	0.0030	0.0153	5.036
93	0.0031	0.0163	5.271
94	0.0031	0.0163	5.230
95	0.0029	0.0168	5.803
96	0.0034	0.0147	4.298
97	0.0029	0.0159	5.433
98	0.0032	0.0153	4.731
99	0.0029	0.0160	5.426
100	0.0029	0.0167	5.669

**Anexo B.15. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula P1**

**Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**

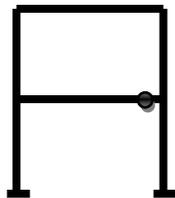


<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0.0032	0.0180	5.662
2	0.0030	0.0169	5.590
3	0.0035	0.0226	6.449
4	0.0031	0.0199	6.463
5	0.0034	0.0211	6.261
6	0.0031	0.0185	6.031
7	0.0034	0.0211	6.256
8	0.0032	0.0179	5.534
9	0.0032	0.0194	6.097
10	0.0035	0.0209	6.042
11	0.0033	0.0193	5.825
12	0.0033	0.0188	5.762
13	0.0033	0.0215	6.533
14	0.0035	0.0218	6.236
15	0.0031	0.0181	5.750
16	0.0033	0.0194	5.869
17	0.0030	0.0167	5.499
18	0.0031	0.0200	6.353
19	0.0036	0.0231	6.485
20	0.0038	0.0210	5.497
21	0.0034	0.0227	6.627
22	0.0034	0.0193	5.757
23	0.0032	0.0192	5.989
24	0.0032	0.0174	5.473
25	0.0033	0.0215	6.463
26	0.0032	0.0193	6.010
27	0.0035	0.0233	6.587
28	0.0029	0.0154	5.237
29	0.0031	0.0204	6.630
30	0.0031	0.0202	6.435
31	0.0034	0.0188	5.598
32	0.0033	0.0196	5.903
33	0.0033	0.0191	5.790
34	0.0032	0.0194	6.123
35	0.0033	0.0192	5.762
36	0.0034	0.0228	6.683
37	0.0034	0.0224	6.627
38	0.0034	0.0223	6.550
39	0.0034	0.0227	6.597
40	0.0033	0.0196	5.973
41	0.0033	0.0198	6.091
42	0.0031	0.0183	5.995
43	0.0033	0.0198	6.044
44	0.0032	0.0175	5.442
45	0.0031	0.0178	5.678
46	0.0034	0.0204	6.024
47	0.0033	0.0197	6.027
48	0.0030	0.0169	5.613
49	0.0033	0.0211	6.440
50	0.0036	0.0231	6.443

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	0.0030	0.0166	5.594
52	0.0032	0.0194	6.104
53	0.0031	0.0186	6.021
54	0.0031	0.0185	5.947
55	0.0031	0.0182	5.878
56	0.0037	0.0231	6.297
57	0.0029	0.0166	5.680
58	0.0034	0.0194	5.710
59	0.0030	0.0181	5.992
60	0.0034	0.0221	6.409
61	0.0029	0.0169	5.902
62	0.0030	0.0183	6.096
63	0.0030	0.0162	5.427
64	0.0037	0.0233	6.222
65	0.0037	0.0229	6.181
66	0.0032	0.0178	5.491
67	0.0033	0.0187	5.625
68	0.0030	0.0169	5.576
69	0.0033	0.0195	5.885
70	0.0033	0.0188	5.689
71	0.0032	0.0194	6.088
72	0.0036	0.0228	6.393
73	0.0033	0.0210	6.450
74	0.0028	0.0162	5.847
75	0.0032	0.0163	5.144
76	0.0035	0.0208	5.920
77	0.0033	0.0197	6.019
78	0.0030	0.0162	5.427
79	0.0033	0.0210	6.342
80	0.0033	0.0207	6.244
81	0.0033	0.0193	5.770
82	0.0035	0.0207	5.963
83	0.0033	0.0197	6.048
84	0.0034	0.0209	6.136
85	0.0036	0.0225	6.324
86	0.0030	0.0167	5.628
87	0.0034	0.0193	5.741
88	0.0033	0.0211	6.486
89	0.0035	0.0226	6.483
90	0.0031	0.0181	5.831
91	0.0032	0.0180	5.601
92	0.0032	0.0201	6.237
93	0.0033	0.0180	5.520
94	0.0033	0.0189	5.752
95	0.0031	0.0168	5.505
96	0.0036	0.0229	6.313
97	0.0031	0.0186	6.008
98	0.0034	0.0210	6.127
99	0.0035	0.0200	5.694
100	0.0031	0.0166	5.358

**Anexo B.16. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga  
Entrepiso-Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**



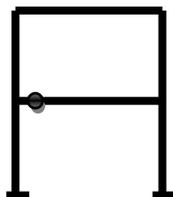
<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0.0046	0.0366	7.997
2	0.0044	0.0365	8.291
3	0.0050	0.0348	6.954
4	0.0045	0.0356	7.882
5	0.0048	0.0354	7.324
6	0.0045	0.0362	8.086
7	0.0048	0.0353	7.294
8	0.0046	0.0366	7.906
9	0.0046	0.0361	7.839
10	0.0049	0.0354	7.189
11	0.0047	0.0362	7.650
12	0.0047	0.0364	7.791
13	0.0048	0.0350	7.345
14	0.0050	0.0353	7.108
15	0.0046	0.0365	8.019
16	0.0047	0.0360	7.604
17	0.0044	0.0367	8.331
18	0.0046	0.0357	7.787
19	0.0051	0.0345	6.797
20	0.0051	0.0353	6.885
21	0.0049	0.0348	7.078
22	0.0048	0.0361	7.557
23	0.0046	0.0361	7.797
24	0.0046	0.0369	8.097
25	0.0048	0.0349	7.262
26	0.0046	0.0361	7.785
27	0.0051	0.0340	6.707
28	0.0050	0.0356	7.171
29	0.0045	0.0353	7.797
30	0.0046	0.0355	7.753
31	0.0048	0.0364	7.632
32	0.0048	0.0357	7.502
33	0.0047	0.0362	7.678
34	0.0046	0.0360	7.840
35	0.0048	0.0362	7.618
36	0.0049	0.0348	7.097
37	0.0049	0.0350	7.207
38	0.0049	0.0349	7.136
39	0.0049	0.0348	7.064
40	0.0047	0.0358	7.585
41	0.0047	0.0356	7.579
42	0.0045	0.0364	8.167
43	0.0047	0.0355	7.510
44	0.0046	0.0368	8.001
45	0.0045	0.0367	8.107
46	0.0048	0.0358	7.404
47	0.0047	0.0357	7.581
48	0.0044	0.0365	8.316
49	0.0047	0.0354	7.482
50	0.0051	0.0343	6.708

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	0.0043	0.0363	8.391
52	0.0046	0.0361	7.866
53	0.0045	0.0360	8.000
54	0.0045	0.0360	7.972
55	0.0045	0.0365	8.140
56	0.0052	0.0366	7.023
57	0.0043	0.0362	8.466
58	0.0048	0.0358	7.429
59	0.0044	0.0363	8.227
60	0.0049	0.0351	7.144
61	0.0042	0.0361	8.534
62	0.0044	0.0362	8.239
63	0.0043	0.0363	8.379
64	0.0053	0.0360	6.744
65	0.0052	0.0346	6.646
66	0.0046	0.0368	7.959
67	0.0047	0.0365	7.735
68	0.0044	0.0365	8.296
69	0.0047	0.0360	7.595
70	0.0047	0.0364	7.735
71	0.0046	0.0360	7.827
72	0.0051	0.0347	6.845
73	0.0047	0.0354	7.537
74	0.0041	0.0359	8.678
75	0.0045	0.0368	8.143
76	0.0050	0.0353	7.101
77	0.0047	0.0357	7.596
78	0.0043	0.0363	8.388
79	0.0048	0.0354	7.452
80	0.0048	0.0354	7.438
81	0.0048	0.0362	7.615
82	0.0049	0.0358	7.304
83	0.0047	0.0359	7.671
84	0.0048	0.0356	7.341
85	0.0043	0.0348	8.035
86	0.0043	0.0365	8.452
87	0.0048	0.0361	7.562
88	0.0047	0.0353	7.504
89	0.0050	0.0349	7.034
90	0.0045	0.0365	8.124
91	0.0046	0.0361	7.834
92	0.0047	0.0353	7.562
93	0.0047	0.0363	7.778
94	0.0047	0.0363	7.745
95	0.0044	0.0368	8.321
96	0.0051	0.0347	6.778
97	0.0045	0.0359	7.963
98	0.0049	0.0353	7.238
99	0.0048	0.0360	7.568
100	0.0045	0.0367	8.227

**Anexo B.17. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga**

**Entrepiso-Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

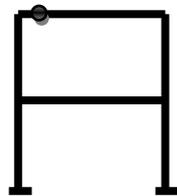


<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0.0046	0.0358	7.821
2	0.0044	0.0357	8.107
3	0.0050	0.0361	7.216
4	0.0045	0.0353	7.817
5	0.0048	0.0355	7.346
6	0.0045	0.0355	7.928
7	0.0048	0.0356	7.358
8	0.0046	0.0358	7.731
9	0.0046	0.0353	7.664
10	0.0049	0.0355	7.211
11	0.0047	0.0354	7.479
12	0.0047	0.0356	7.618
13	0.0048	0.0359	7.536
14	0.0050	0.0356	7.170
15	0.0046	0.0357	7.841
16	0.0047	0.0352	7.434
17	0.0044	0.0359	8.148
18	0.0046	0.0352	7.680
19	0.0051	0.0364	7.173
20	0.0051	0.0330	6.438
21	0.0049	0.0361	7.344
22	0.0048	0.0353	7.388
23	0.0046	0.0354	7.645
24	0.0046	0.0361	7.919
25	0.0048	0.0360	7.493
26	0.0046	0.0354	7.633
27	0.0051	0.0369	7.280
28	0.0050	0.0352	7.092
29	0.0045	0.0356	7.865
30	0.0046	0.0354	7.733
31	0.0048	0.0356	7.463
32	0.0048	0.0351	7.378
33	0.0047	0.0354	7.507
34	0.0046	0.0353	7.686
35	0.0048	0.0354	7.448
36	0.0049	0.0361	7.364
37	0.0049	0.0359	7.394
38	0.0049	0.0360	7.362
39	0.0049	0.0361	7.329
40	0.0047	0.0351	7.438
41	0.0047	0.0353	7.517
42	0.0045	0.0357	8.008
43	0.0047	0.0354	7.490
44	0.0046	0.0360	7.826
45	0.0045	0.0359	7.929
46	0.0048	0.0350	7.240
47	0.0047	0.0352	7.476
48	0.0044	0.0357	8.132
49	0.0047	0.0355	7.505
50	0.0051	0.0366	7.159

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	0.0043	0.0355	8.205
52	0.0046	0.0354	7.712
53	0.0045	0.0353	7.843
54	0.0045	0.0353	7.816
55	0.0045	0.0357	7.960
56	0.0052	0.0359	6.887
57	0.0043	0.0354	8.277
58	0.0048	0.0350	7.264
59	0.0044	0.0356	8.067
60	0.0049	0.0358	7.288
61	0.0042	0.0354	8.366
62	0.0044	0.0355	8.078
63	0.0043	0.0355	8.192
64	0.0053	0.0352	6.592
65	0.0052	0.0363	6.974
66	0.0046	0.0360	7.785
67	0.0047	0.0357	7.563
68	0.0044	0.0357	8.113
69	0.0047	0.0352	7.425
70	0.0047	0.0356	7.564
71	0.0046	0.0353	7.673
72	0.0051	0.0362	7.142
73	0.0047	0.0355	7.560
74	0.0041	0.0352	8.507
75	0.0045	0.0360	7.965
76	0.0050	0.0355	7.142
77	0.0047	0.0352	7.491
78	0.0043	0.0355	8.202
79	0.0048	0.0355	7.475
80	0.0048	0.0357	7.503
81	0.0048	0.0354	7.445
82	0.0049	0.0350	7.143
83	0.0047	0.0352	7.520
84	0.0048	0.0353	7.281
85	0.0043	0.0361	8.337
86	0.0043	0.0357	8.265
87	0.0048	0.0353	7.393
88	0.0047	0.0356	7.570
89	0.0050	0.0360	7.257
90	0.0045	0.0357	7.944
91	0.0046	0.0359	7.789
92	0.0047	0.0356	7.628
93	0.0047	0.0355	7.605
94	0.0047	0.0355	7.573
95	0.0044	0.0360	8.139
96	0.0051	0.0362	7.072
97	0.0045	0.0352	7.806
98	0.0049	0.0356	7.301
99	0.0048	0.0352	7.398
100	0.0045	0.0359	8.046

**Anexo B.18. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga  
Techo-Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**



<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0.0026	0.0062	2.417
2	0.0024	0.0078	3.242
3	0.0030	0.0007	0.238
4	0.0025	0.0045	1.794
5	0.0028	0.0026	0.916
6	0.0025	0.0060	2.423
7	0.0028	0.0025	0.893
8	0.0026	0.0063	2.392
9	0.0026	0.0048	1.851
10	0.0029	0.0026	0.890
11	0.0027	0.0045	1.663
12	0.0027	0.0052	1.954
13	0.0028	0.0023	0.848
14	0.0030	0.0015	0.516
15	0.0026	0.0062	2.419
16	0.0027	0.0044	1.625
17	0.0024	0.0079	3.303
18	0.0026	0.0042	1.626
19	0.0031	0.0000	0.000
20	0.0031	0.0000	0.000
21	0.0029	0.0008	0.258
22	0.0028	0.0045	1.623
23	0.0026	0.0050	1.885
24	0.0026	0.0069	2.683
25	0.0028	0.0023	0.822
26	0.0026	0.0048	1.824
27	0.0031	0.0000	0.000
28	0.0030	0.0096	3.227
29	0.0025	0.0040	1.584
30	0.0026	0.0041	1.599
31	0.0028	0.0050	1.814
32	0.0028	0.0043	1.551
33	0.0027	0.0048	1.769
34	0.0026	0.0048	1.835
35	0.0028	0.0047	1.693
36	0.0029	0.0007	0.242
37	0.0029	0.0012	0.404
38	0.0029	0.0012	0.411
39	0.0029	0.0007	0.252
40	0.0027	0.0043	1.589
41	0.0027	0.0042	1.562
42	0.0025	0.0062	2.522
43	0.0027	0.0042	1.530
44	0.0026	0.0064	2.443
45	0.0025	0.0066	2.604
46	0.0028	0.0032	1.135
47	0.0027	0.0042	1.567
48	0.0024	0.0078	3.258
49	0.0027	0.0027	1.000
50	0.0031	0.0000	0.000

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
51	0.0023	0.0083	3.550
52	0.0026	0.0049	1.876
53	0.0025	0.0059	2.361
54	0.0025	0.0059	2.349
55	0.0025	0.0063	2.521
56	0.0032	0.0000	0.000
57	0.0023	0.0084	3.674
58	0.0028	0.0044	1.556
59	0.0024	0.0068	2.838
60	0.0029	0.0014	0.484
61	0.0022	0.0081	3.633
62	0.0024	0.0063	2.652
63	0.0023	0.0086	3.673
64	0.0033	0.0000	0.000
65	0.0032	0.0000	0.000
66	0.0026	0.0063	2.413
67	0.0027	0.0052	1.918
68	0.0024	0.0078	3.257
69	0.0027	0.0044	1.612
70	0.0027	0.0051	1.901
71	0.0026	0.0048	1.849
72	0.0031	0.0004	0.127
73	0.0027	0.0030	1.112
74	0.0021	0.0091	4.266
75	0.0025	0.0081	3.232
76	0.0030	0.0026	0.864
77	0.0027	0.0043	1.587
78	0.0023	0.0086	3.708
79	0.0028	0.0028	1.012
80	0.0028	0.0031	1.109
81	0.0028	0.0045	1.650
82	0.0029	0.0028	0.969
83	0.0027	0.0044	1.625
84	0.0028	0.0027	0.939
85	0.0023	0.0008	0.323
86	0.0023	0.0081	3.502
87	0.0028	0.0045	1.624
88	0.0027	0.0029	1.071
89	0.0030	0.0000	0.000
90	0.0025	0.0063	2.522
91	0.0026	0.0060	2.298
92	0.0027	0.0041	1.518
93	0.0027	0.0061	2.295
94	0.0027	0.0051	1.908
95	0.0024	0.0078	3.228
96	0.0031	0.0002	0.059
97	0.0025	0.0089	3.534
98	0.0029	0.0026	0.890
99	0.0028	0.0034	1.233
100	0.0025	0.0080	3.236

**Anexo B.19. Estudio de Rótulas. ESTIMADORES PUNTUALES. Rótula PB**

**Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0,0034	0,0250	7,450
2	0,0036	0,0251	7,057
3	0,0030	0,0250	8,206
4	0,0032	0,0251	7,771

**Anexo B.20. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula PB**

**Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0,0037	0,0247	6,679
2	0,0040	0,0248	5,684
3	0,0033	0,0248	7,412
4	0,0036	0,0249	6,921

**Anexo B.21. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula P1**

**Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0,0031	0,0165	5,288
2	0,0033	0,0149	4,539
3	0,0028	0,0166	5,880
4	0,0030	0,0155	5,219

**Anexo B.22. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula P1**

**Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0,0033	0,0189	5,739
2	0,0035	0,0226	6,481
3	0,0030	0,0169	5,681
4	0,0031	0,0201	6,382

**Anexo B.23. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga**

**Entrepiso-Derecha**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0,0044	0,0367	8,331
2	0,0046	0,0357	7,680
3	0,0051	0,0345	6,797
4	0,0051	0,0353	6,885

**Anexo B.24. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga**

**Entrepiso-Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0,0044	0,0359	8,148
2	0,0046	0,0352	7,680
3	0,0051	0,0364	7,173
4	0,0051	0,0330	6,438

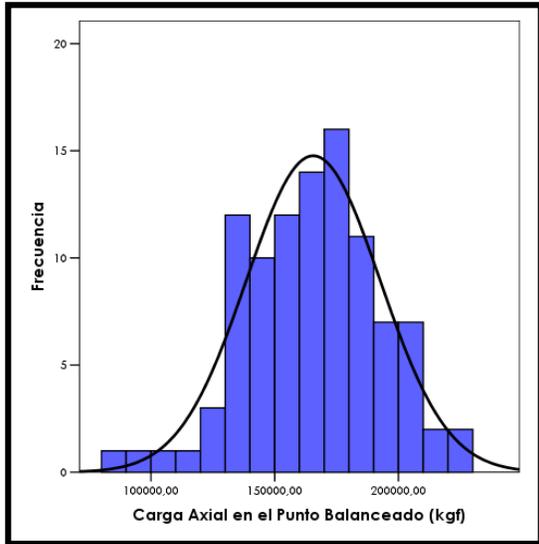
**Anexo B.25. Estudio de Rótulas. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO. Rótula Viga**

**Techo-Izquierda**

**Fuente: Elaboración Propia.**

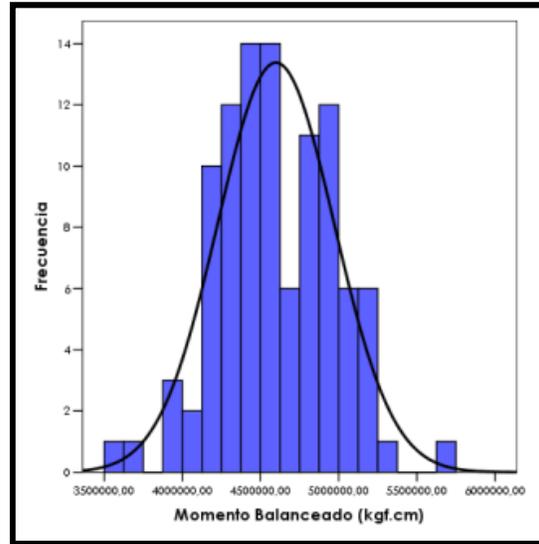
<b>Análisis</b>	<b>Rotación Cedente (rad)</b>	<b>Rotación Última (rad)</b>	<b>Ductilidad</b>
1	0,0026	0,0069	2,609
2	0,0026	0,0023	0,886
3	0,0029	0,0048	1,645
4	0,0027	0,0000	0,000

**Gráfico B.1. Carga axial en el punto balanceado de la columna planta baja.**



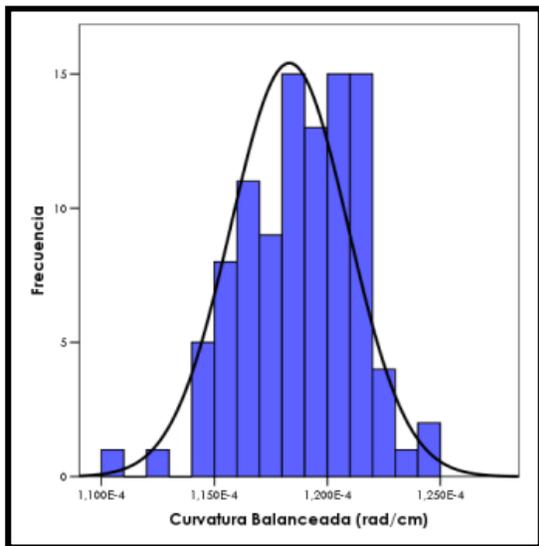
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.2. Momento en el punto balanceado de la columna planta baja.**



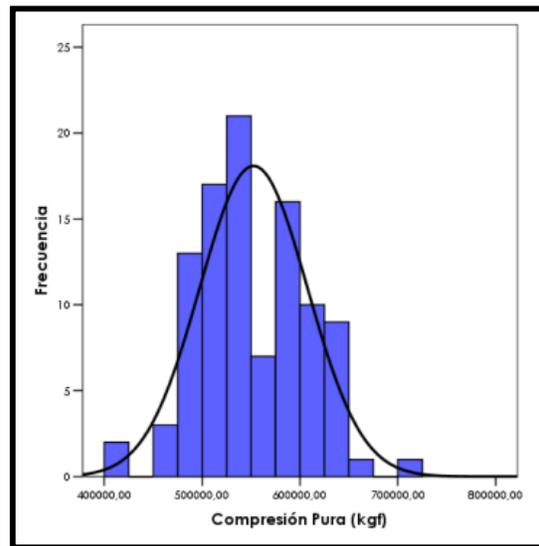
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.3. Curvatura en el punto balanceado de la columna planta baja.**



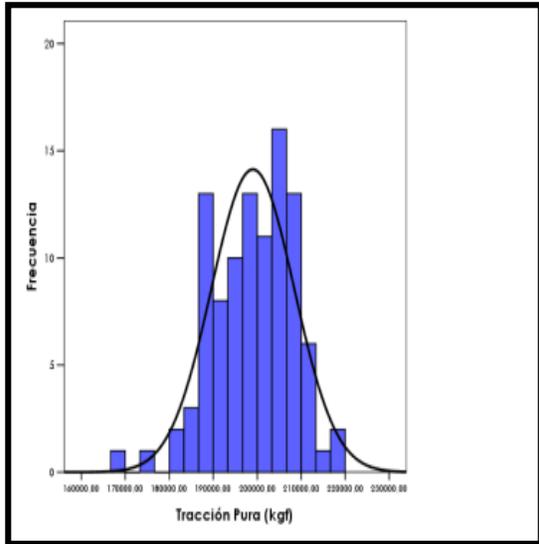
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.4. Compresión pura de la columna planta baja.**



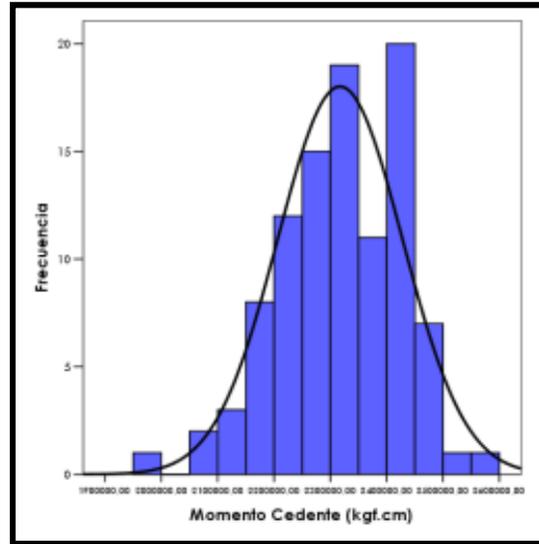
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.5. Tracción pura de la columna planta baja.**



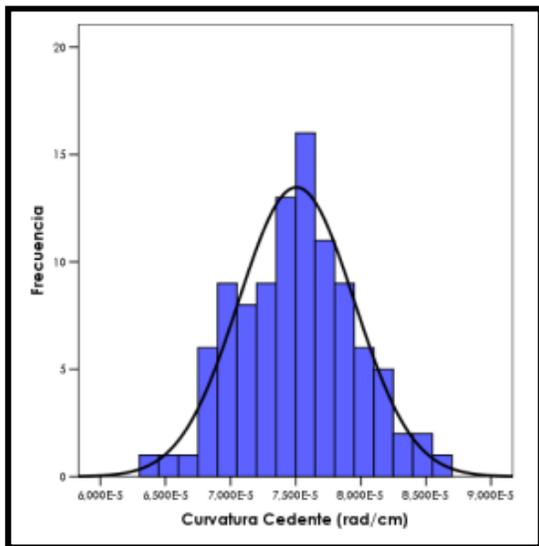
**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfico B.6. Momento cedente en la columna piso uno, flexión pura.**



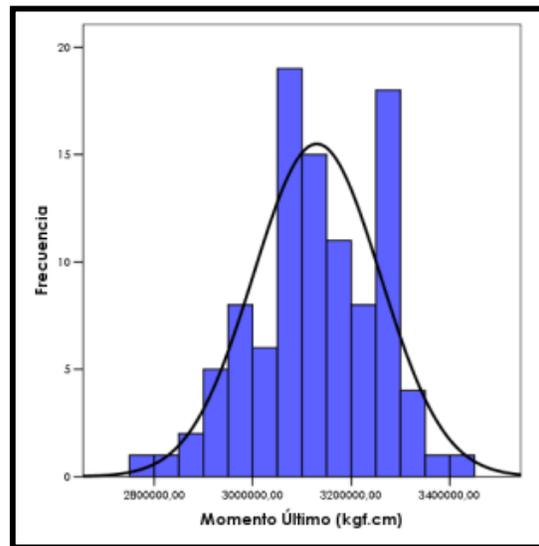
**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfico B.7. Curvatura cedente en la columna piso uno, flexión pura.**



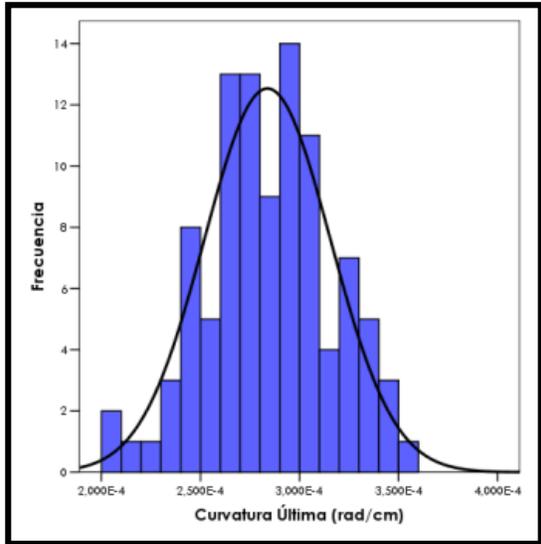
**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfico B.8. Momento último en la columna piso uno, flexión pura.**



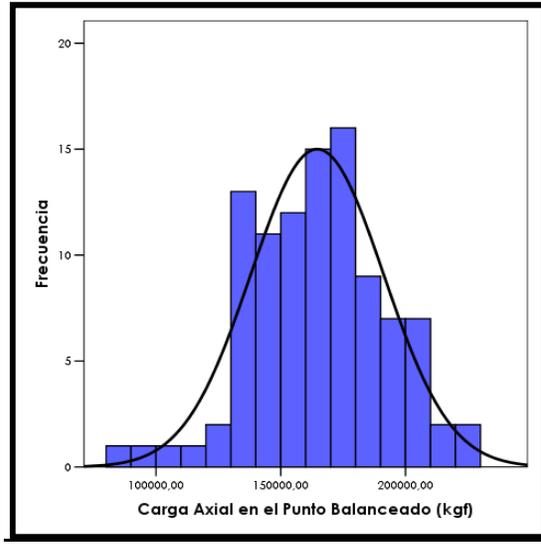
**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfico B.9. Curvatura última en la columna piso uno, flexión pura.**



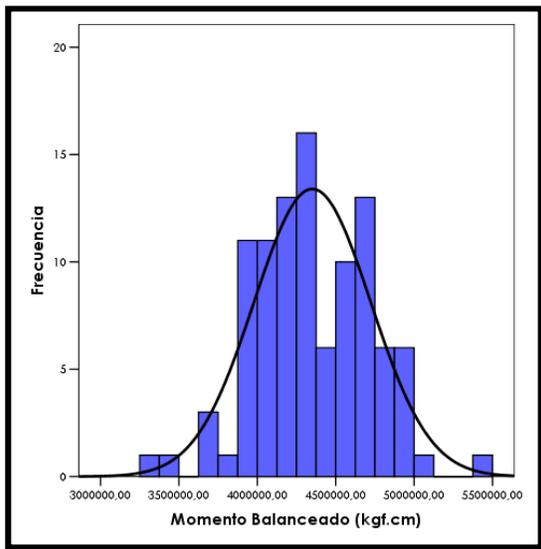
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.10. Carga axial en el punto balanceado de la columna piso 1.**



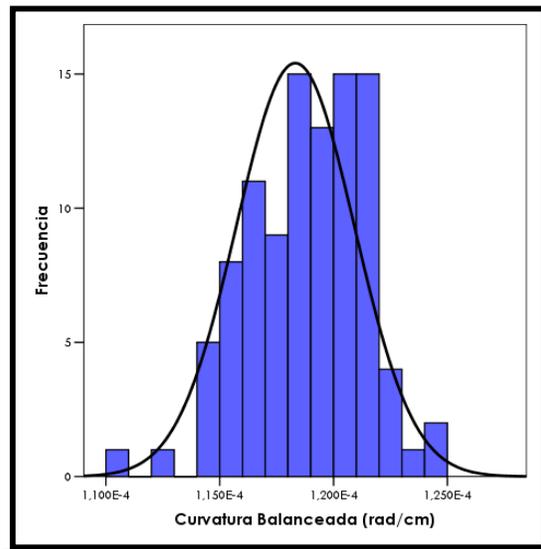
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.11. Momento en el punto balanceado de la columna piso uno.**



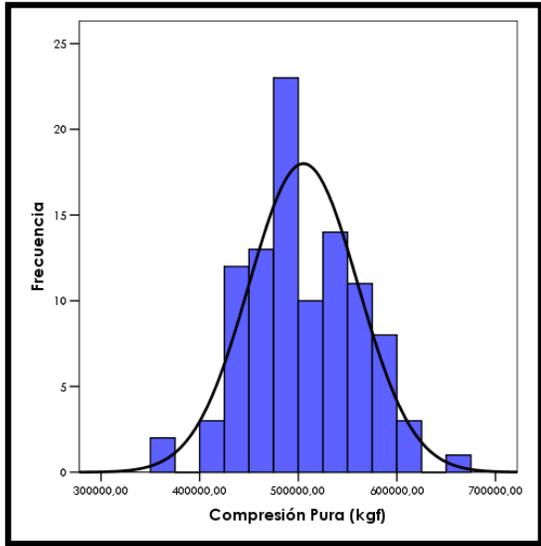
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.12. Curvatura en el punto balanceado de la columna piso uno.**



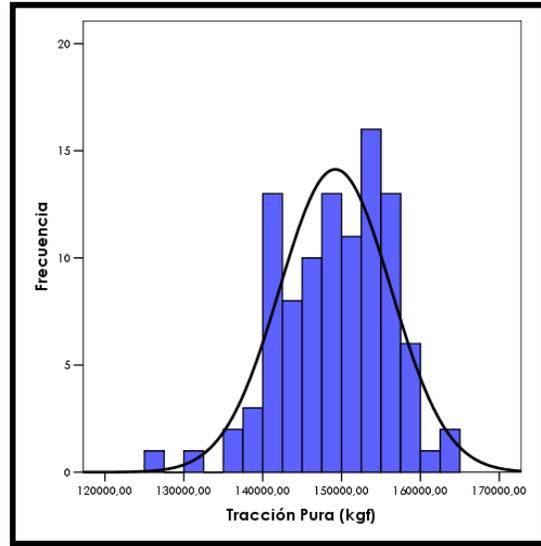
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.13. Compresión pura de la columna piso uno.**



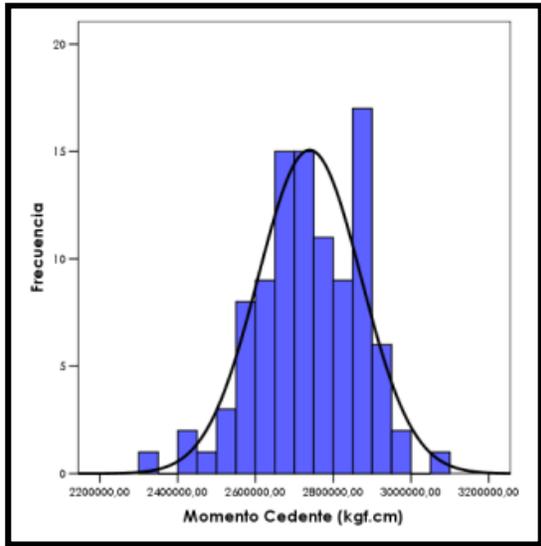
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.14. Tracción pura de la columna piso uno.**



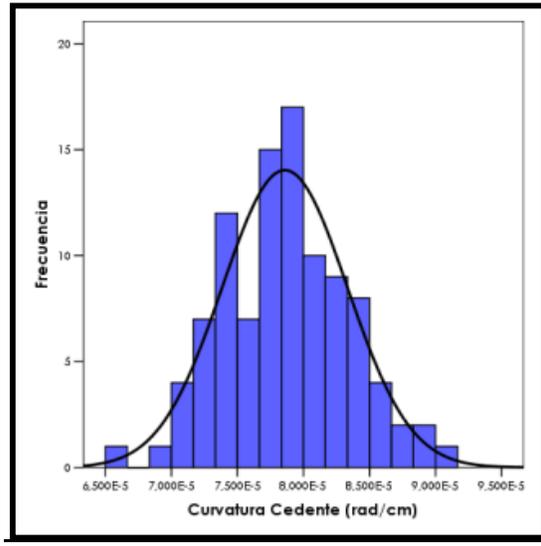
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.15. Momento cedente en la columna planta baja, flexión pura.**



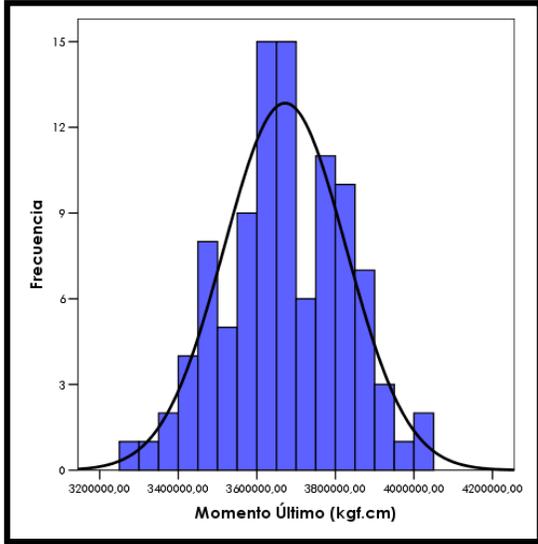
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.16. Curvatura cedente en la columna planta baja, flexión pura.**



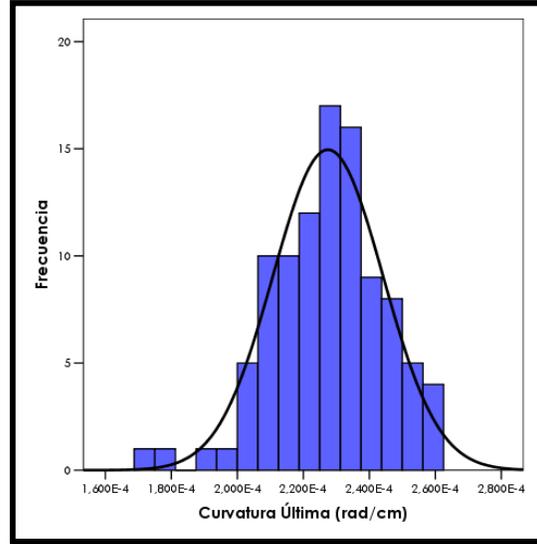
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.17. Momento último en la columna planta baja, flexión pura.**



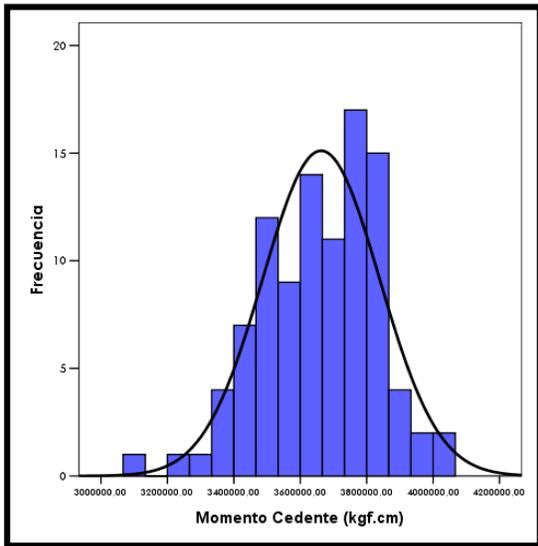
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.18. Curvatura última en la columna planta baja, flexión pura.**



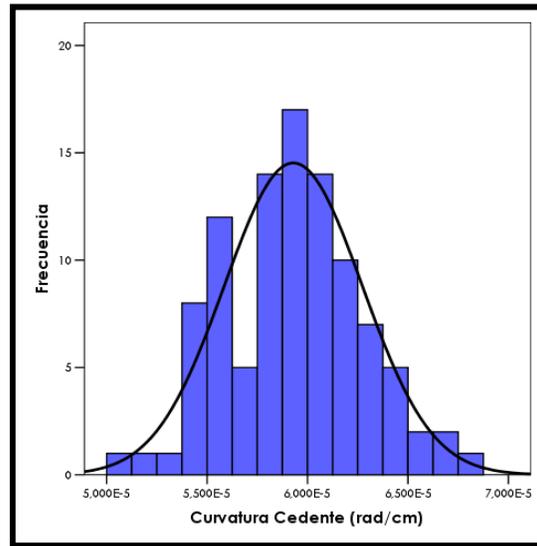
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.19. Momento cedente en la viga.**



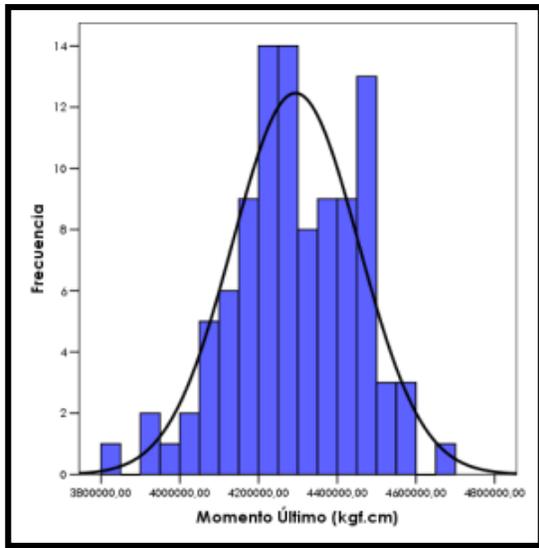
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.20. Curvatura cedente en la viga.**



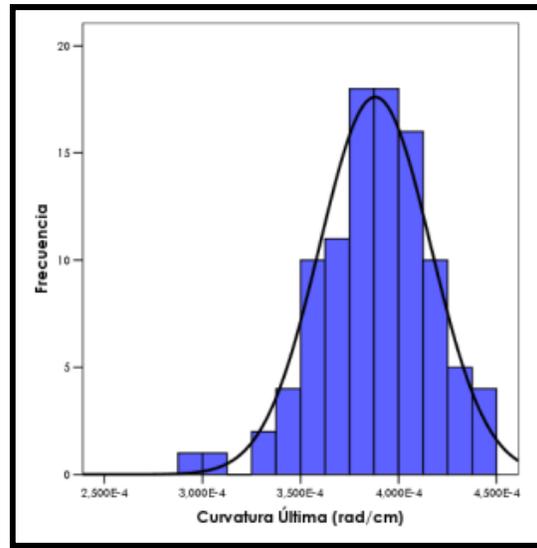
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico B.21. Momento último en la viga.



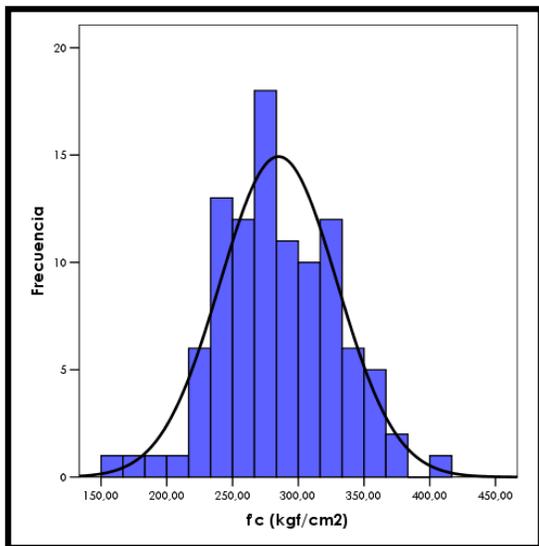
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico B.22. Curvatura última en la viga.



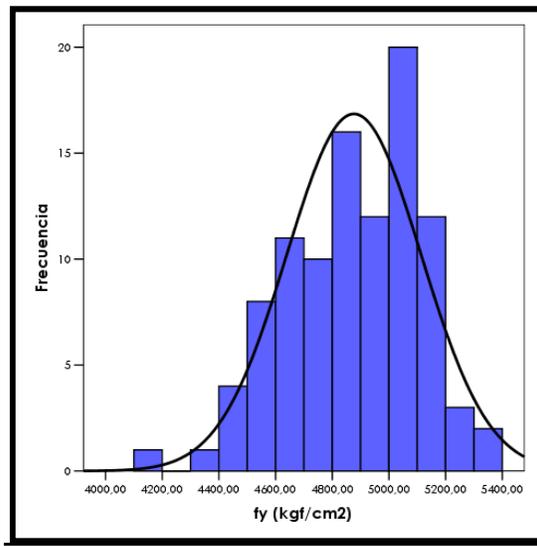
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico B.23. Resistencia del concreto ( $f'_c$ ).



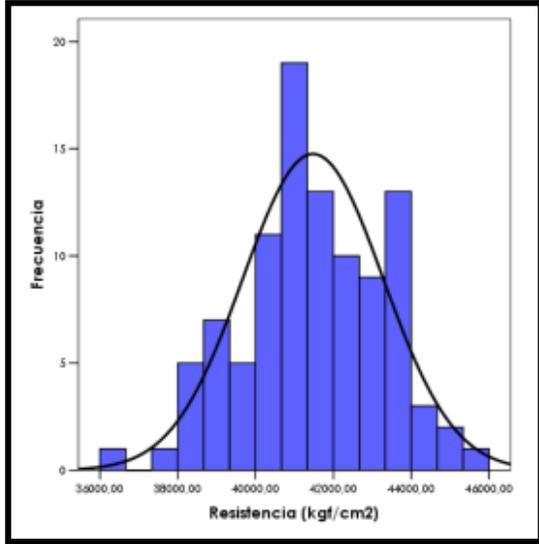
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico B.24. Tensión cedente del acero ( $f_y$ ).



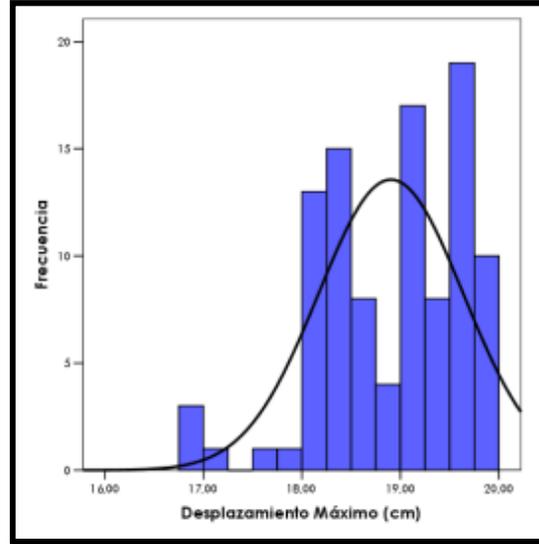
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico B.25. Resistencia en la viga de techo.



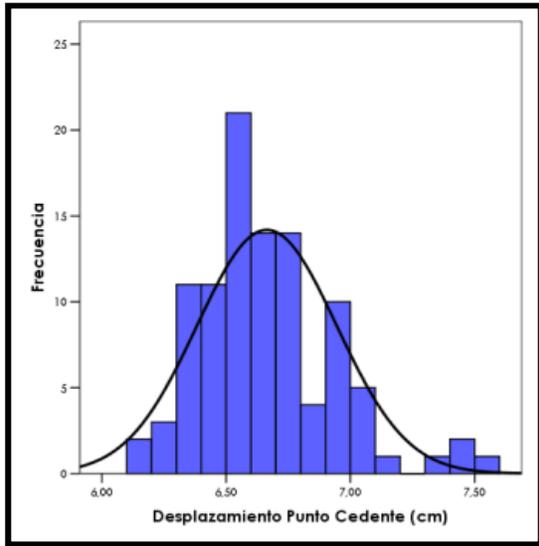
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico B.26. Desplazamiento máximo en la viga de techo.



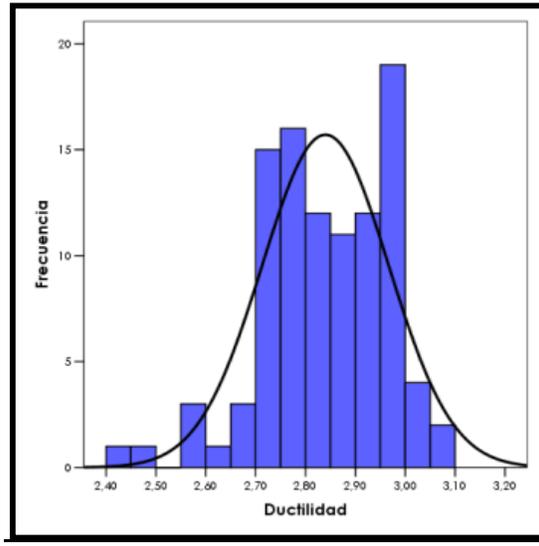
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico B.27. Desplazamiento cedente en la viga de techo.



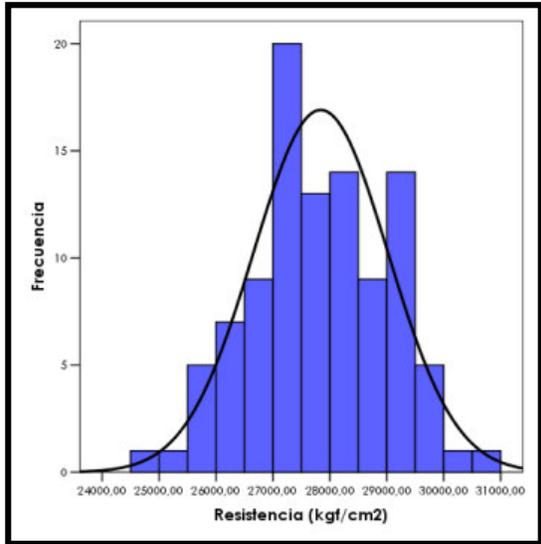
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico B.28. Ductilidad en la viga de techo en función al desplazamiento.



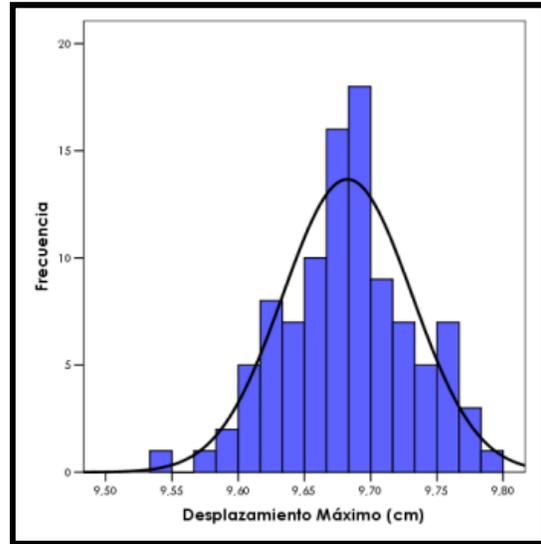
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.29. Resistencia en la viga de entrepiso.**



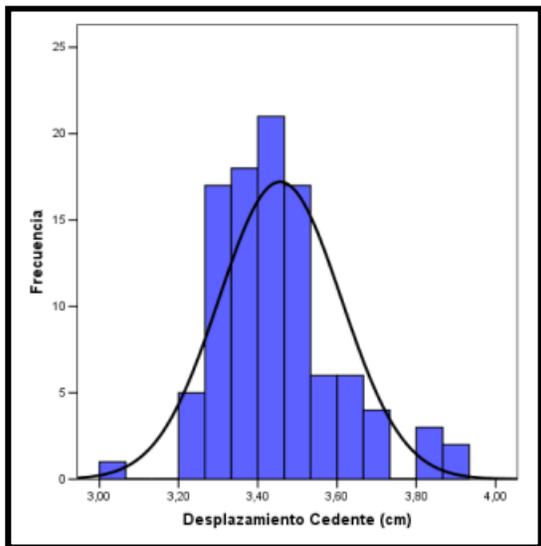
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.30. Desplazamiento máximo en la viga de entrepiso.**



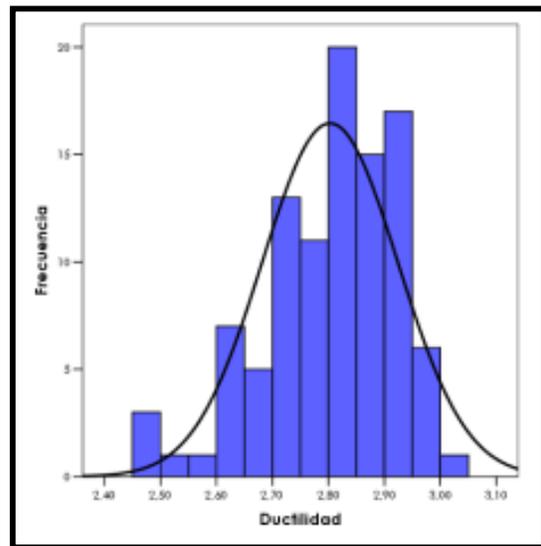
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.31. Desplazamiento cedente en la viga de entrepiso**



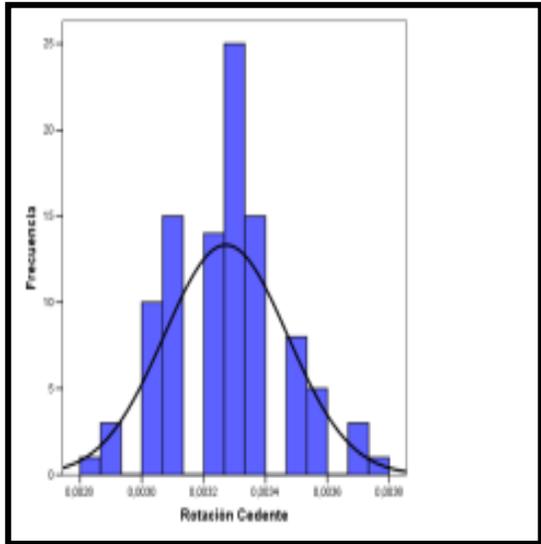
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.32. Ductilidad en la viga de entrepiso en función al desplazamiento.**



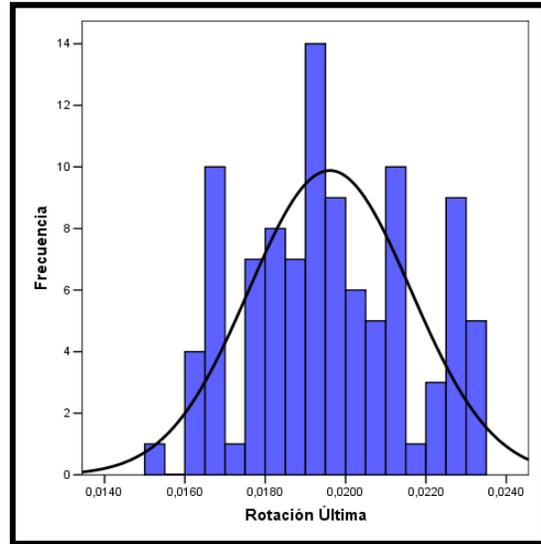
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.33. Rotación cedente - superior derecha en piso uno.**



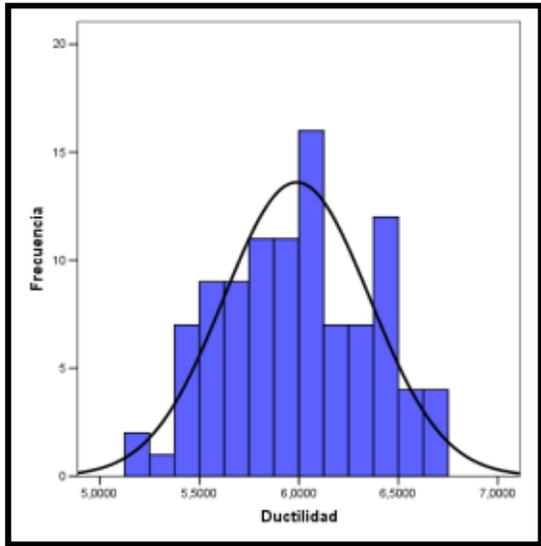
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.34. Rotación última - superior derecha en piso uno.**



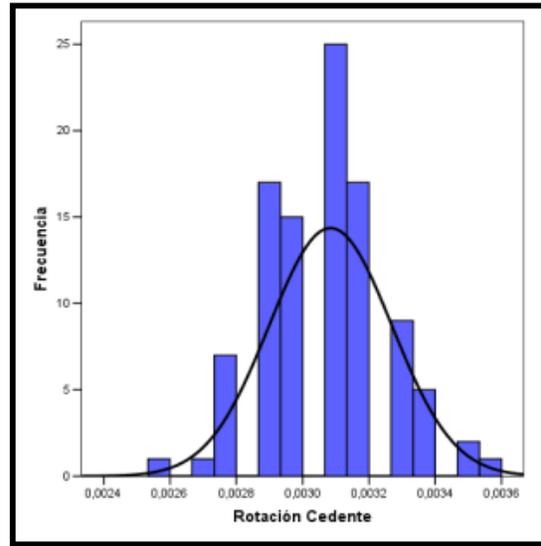
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.35. Ductilidad en función a la rotación- superior derecha en piso uno.**



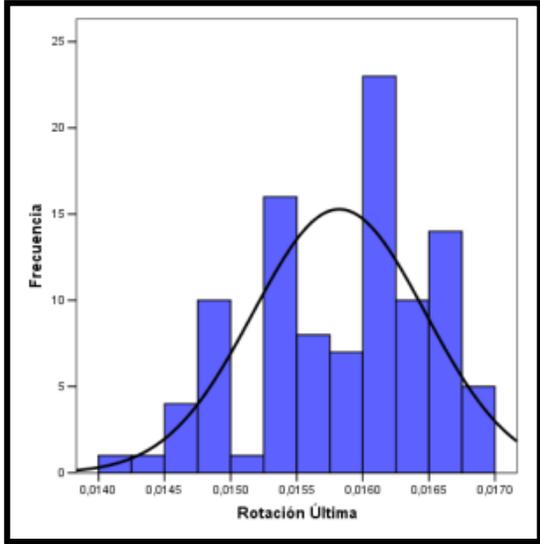
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.36. Rotación cedente - superior izquierda en piso uno.**



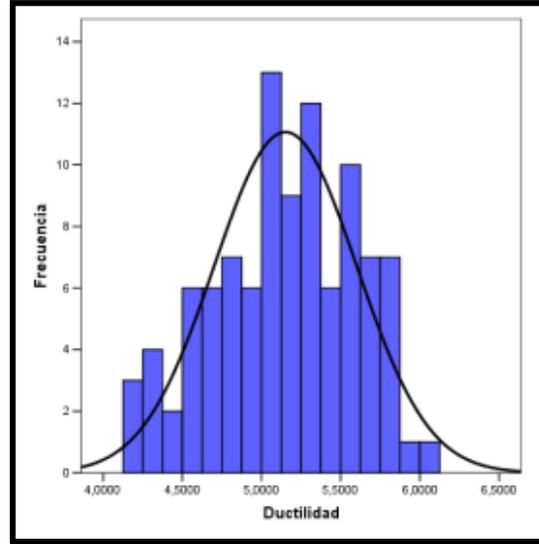
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.37. Rotación última - superior izquierda en piso uno.**



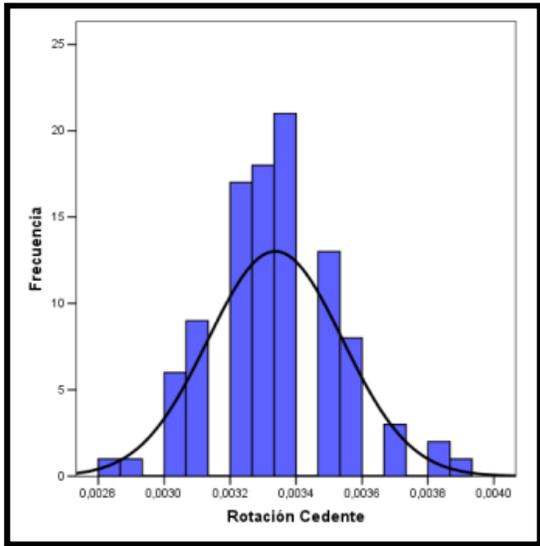
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.38. Ductilidad en función a la rotación - superior izquierda en piso uno.**



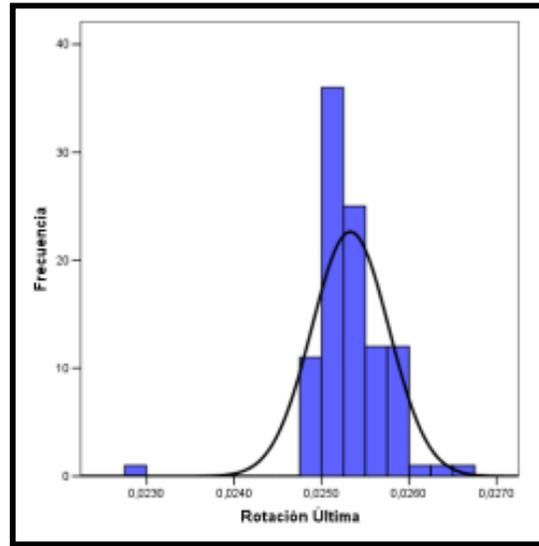
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.39. Rotación cedente - inferior izquierda en planta baja.**



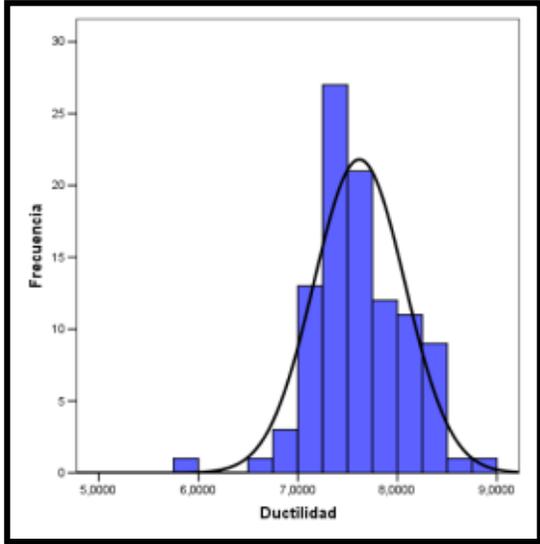
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.40. Rotación última - inferior izquierda en planta baja.**



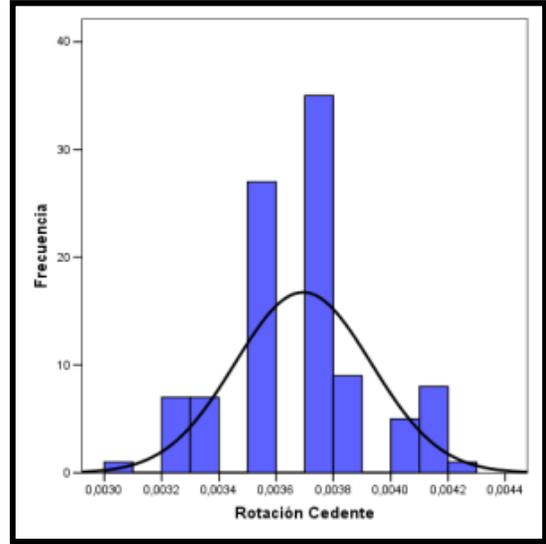
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.41. Ductilidad en función a la rotación - inferior izquierda en planta baja.**



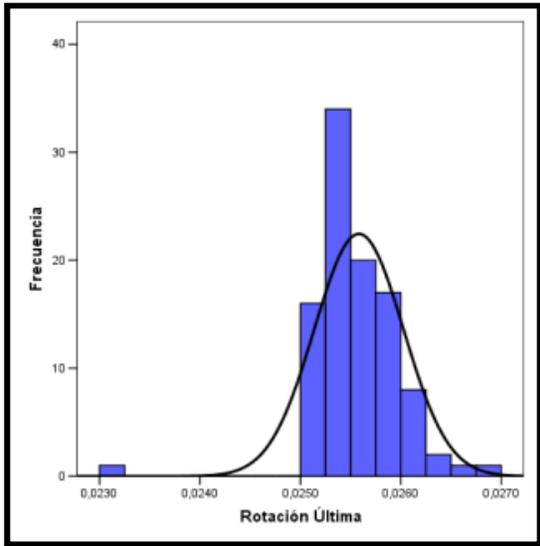
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.42. Rotación cedente - inferior derecha en planta baja.**



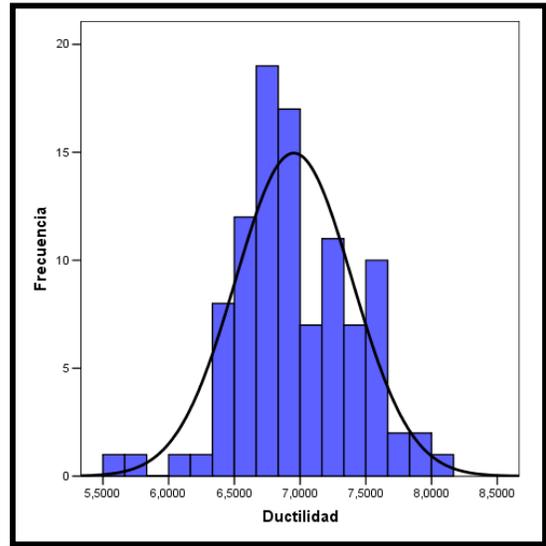
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.43. Rotación última - inferior derecha en planta baja.**



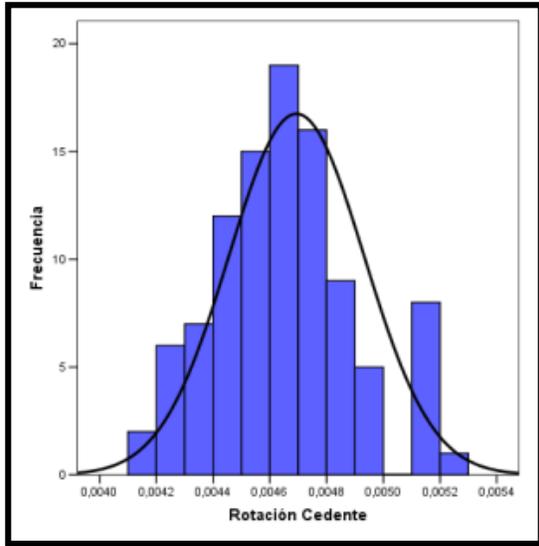
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.44. Ductilidad en función a la rotación - inferior derecha en planta baja.**



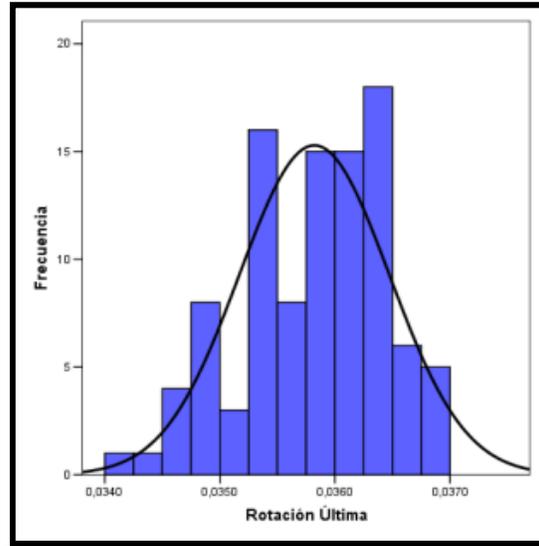
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.45. Rotación cedente a la derecha de la viga de entropiso.**



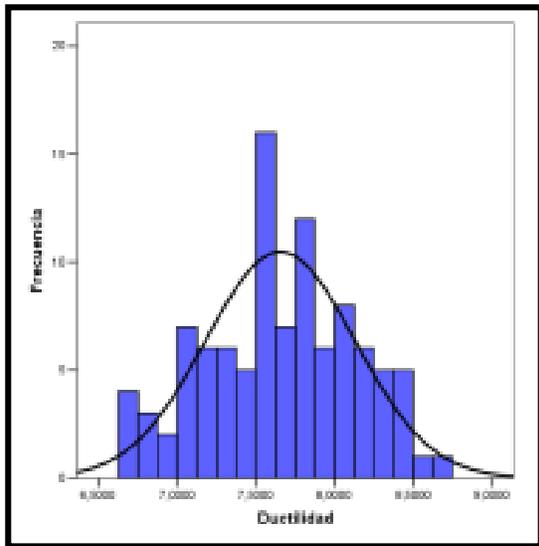
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.46. Rotación última a la derecha de la viga de entropiso.**



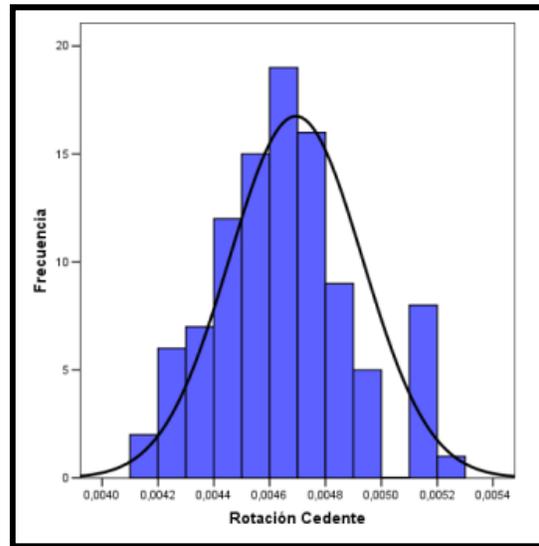
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.47. Ductilidad a la derecha de la viga de entropiso en función al desplazamiento.**



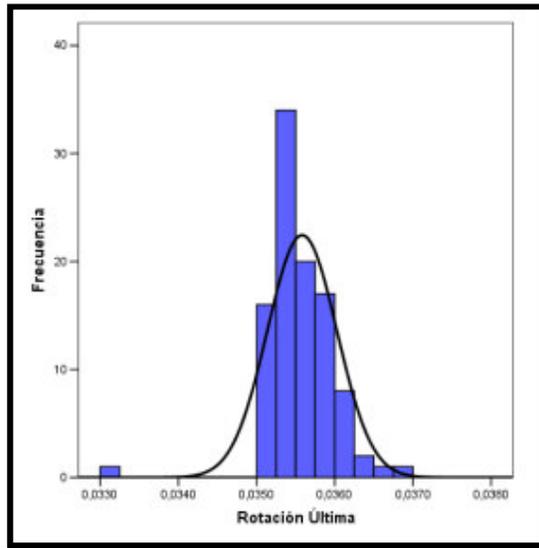
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.48. Rotación cedente a la izquierda de la viga de entropiso.**



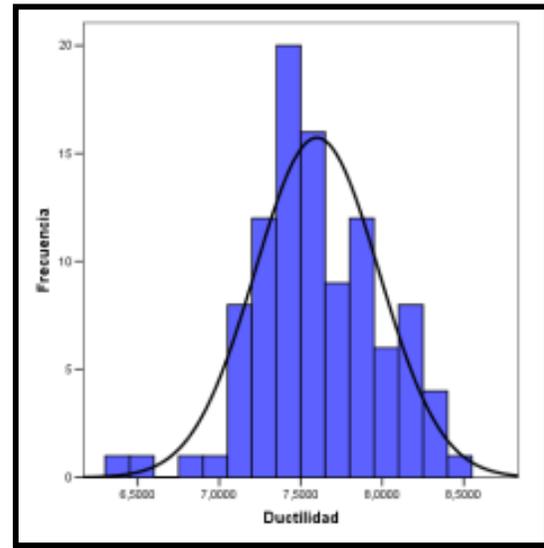
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.49. Rotación última a la izquierda de la viga de entrepiso.**



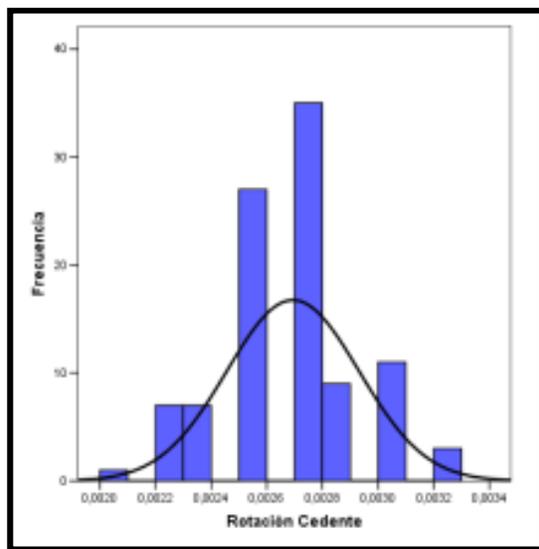
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.50. Ductilidad a la izquierda de la viga de entrepiso en función al desplazamiento.**



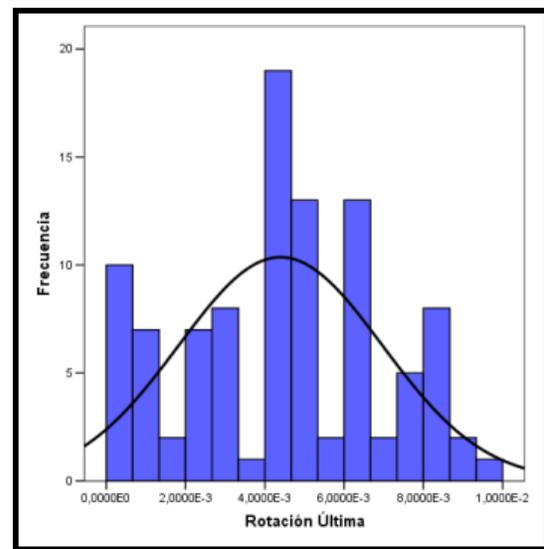
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.51. Rotación cedente a la izquierda de la viga de techo.**



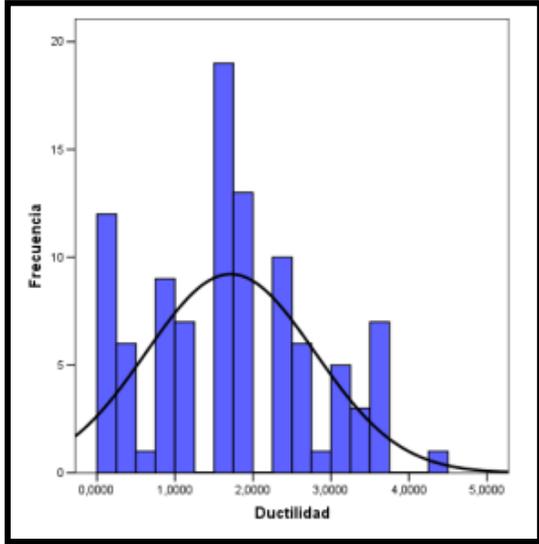
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.52. Rotación última a la izquierda de la viga de techo.**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico B.53. Ductilidad a la izquierda de la viga de techo en función al desplazamiento.**



**Fuente: Elaboración Propia**