



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Departamento de Obras Civiles

ANÁLISIS DEL FACTOR DE REDUCCIÓN R EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO CON AISLAMIENTO SÍSMICO (LRB)

Memoria de Título presentada por

Cristofer Enrique Lobos Muñoz

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

Ingeniería Civil

Profesor Guía
Claudio Sepúlveda C.

DICIEMBRE, 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Análisis del Factor de Reducción R en Estructuras de Hormigón Armado con Aislamiento Sísmico (LRB)

Nombre del candidato(a): Cristofer Enrique Lobos Muñoz

Carrera / Grado: Ingeniería Civil

Campus: San Joaquín

Departamento: Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Claudio Sepúlveda Contreras, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 27-12-2025

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 26-12-2025

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

TÍTULO DE LA TESIS:

ANÁLISIS DEL FACTOR DE REDUCCIÓN R EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO CON AISLAMIENTO SÍSMICO (LRB)

AUTOR:

CRISTOFER ENRIQUE LOBOS MUÑOZ

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de INGENIERÍA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Nombre

Firma

Claudio Sepúlveda

Cristian Cruz

Santiago, Chile, 19 de Diciembre del 2025

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a Dios por su apoyo e iluminación cuando creía que algunas cosas no se iban a solucionar, ha sido un año bien difícil pero siempre he sentido su presencia y es lo que me ha ayudado a seguir adelante.

Agradezco también a mi familia: a mi hermana Catalina Lobos, a mi abuela Edilia Araya, a mi abuelo Carlos Figueroa, a mi tía que en paz descansa Jeanette Cáceres, y por sobre todo, a mi padre Gabriel Lobos que sin él, nada de esto sería posible, su apoyo incondicional durante toda mi vida ha hecho que sea el hombre que soy hoy en día.

Otro agradecimiento a mis amigos, ya sea fuera de la universidad como dentro de esta, Carlos Fredes, Gonzalo Acevedo, Alan Núñez, Mariano Santis, Moisés Sánchez, Ignacio Espinosa, Maximiliano Lobovsky, Tomás Nuñez y Paolo Fuentes por los buenos ratos en carretes, conversaciones profundas y apañe en general que ha hecho que esta estadía en la universidad sea más amena, muchas gracias.

También quiero agradecer profundamente a mi profesor guía, Claudio Sepúlveda, por constantemente apoyarme durante la realización de esta investigación, por responder mis dudas incluso en horarios fuera de lo habitual y por siempre enseñarme hasta en las cosas mas mínimas.

Además, quiero agradecer a Colo-Colo, el equipo de mis amores, al equipo que representa al pueblo trabajador y esforzado. Gracias por las miles de alegrías que me has dado a lo largo de mi vida, quizás este año no ha sido el mejor, pero la pasión y el amor siguen intactos.

Y por último, pero no menos importante, agradecerte Emilia Miranda, por siempre estar para mí, por siempre ayudarme y entregarme la motivación por querer salir adelante, cuando he caído y tú me has levantado, esto es para tí también.

ANÁLISIS DEL FACTOR DE REDUCCIÓN R EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO CON AISLAMIENTO SÍSMICO (LRB)

Cristofer Lobos¹, PhD Claudio Sepúlveda¹

¹ Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

El presente trabajo de título consiste en estudiar la viabilidad técnica del uso de factores de reducción de la respuesta sísmica mayores a uno ($R > 1$) en estructuras de hormigón armado con aislamiento sísmico en la base. La motivación de este estudio radica en la práctica habitual de diseñar estas estructuras con valores cercanos a 1 con el fin de mantener la superestructura en un rango esencialmente elástico, lo que podría generar estructuras sobredimensionadas y, en consecuencia, mayores costos constructivos (Wang et al., 2024). Este trabajo busca evaluar si es posible utilizar factores de reducción mayores sin comprometer la seguridad ni el desempeño sísmico esperado.

Particularmente, se define una tipología representativa de un edificio regular de hormigón armado, la cual se diseña repetidamente variando el valor del factor de reducción R, manteniendo en todos los casos un sistema de aislación sísmica basado en aisladores de goma con núcleo de plomo en la base (LRB). Los modelos se desarrollan en el software SAP2000 considerando combinaciones de carga y exigencias normativas establecidas en los códigos ASCE 7-22 y ACI 318-19. Este proceso permite evaluar las diferencias en diseño derivadas de esta variación.

El trabajo se complementa con la construcción de modelos numéricos no lineales en el software OpenSees, los cuales permiten representar el comportamiento dinámico del sistema diseñado bajo solicitaciones sísmicas. Estos modelos se emplean para ejecutar análisis dinámicos no lineales con registros sísmicos, cuyos resultados se analizan y comparan con el objetivo de cuantificar la incursión no lineal de la superestructura para cada valor del factor de reducción utilizado, determinando así los rangos admisibles en los que es viable aplicar $R > 1$ en estructuras con aislamiento sísmico.

Palabras claves: Hormigón armado, Aislación sísmica, OpenSees

ANALYSIS OF RESPONSE MODIFICATION FACTORS R IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH SEISMIC BASE ISOLATION (LRB)

Cristofer Lobos¹, PhD Claudio Sepúlveda ¹

¹ Universidad Técnica Federico Santa María

Abstract

This thesis focuses on studying the technical feasibility of using seismic response modification factors greater than one ($R > 1$) in reinforced concrete structures with base isolation. The motivation for this study arises from the common practice of designing these structures with values close to 1 in order to keep the superstructure essentially elastic, which can lead to oversized designs and, consequently, increased construction costs (Wang et al., 2024). This work aims to evaluate whether it is possible to use higher reduction factors without compromising safety or the expected seismic performance.

In particular, a representative typology of a regular reinforced concrete building is defined and repeatedly designed while varying the value of the response modification factor R , keeping in all cases a base isolation system composed of lead-rubber bearings (LRB). The models are developed using SAP2000, considering load combinations and design requirements established in ASCE 7-22 and ACI 318-19. This process makes it possible to evaluate the design differences derived from these variations.

The study is complemented by the development of nonlinear numerical models in OpenSees, which allow the dynamic behavior of the designed system under seismic excitations to be represented. These models are then used to perform nonlinear dynamic analyses with selected earthquake records. The resulting responses are analyzed and compared to quantify the nonlinear demand of the superstructure for each response modification factor considered, thereby identifying the admissible ranges in which applying $R > 1$ remains feasible in base-isolated structures.

Key words: Reinforced concrete, Base isolated structures, OpenSees.

Índice

1. Introducción	11
2. Objetivos e hipótesis	11
2.1. Hipótesis	11
2.2. Objetivo General	11
2.3. Objetivos Específicos	11
3. Marco teórico	12
3.1. Sistemas de aislación sísmica	12
3.2. Factor de reducción sísmico R	12
3.3. Modelación numérica no lineal	12
3.4. OpenSees	12
3.5. Análisis tiempo-historia no lineal y escalamiento sísmico	13
3.6. Análisis pushover y niveles de desempeño	13
3.7. Curvas IDA y definición de no linealidad	13
4. Estructura prototipo	14
4.1. Espectro de diseño ASCE 7-22 y factores de reducción	15
4.2. Diseño de aisladores sísmicos	16
4.3. Diseño de la superestructura	17
4.3.1. Secciones diseñadas para $R = 1$	18
4.3.2. Secciones diseñadas para $R = 1.5$	18
4.3.3. Secciones diseñadas para $R = 2$	18
4.3.4. Secciones diseñadas para $R = 2.5$	19
4.3.5. Secciones diseñadas para $R = 3.0$	19
4.3.6. Secciones diseñadas para $R = 3.5$	19
4.4. Resumen de diseño de la superestructura	20
5. Criterios de modelación	20
5.1. Materiales aplicados en OpenSees	20
5.1.1. Hormigón	20
5.1.2. Acero de refuerzo	21
5.2. Elementos aplicados en OpenSees	23
5.2.1. Elementos viga-columna	23
5.2.2. Aisladores elastoméricos	24
5.3. Secciones utilizadas en OpenSees	24
5.3.1. Secciones tipo de columnas	25
5.3.2. Secciones tipo de vigas	25
6. Resultados	26
6.1. Selección y escalamiento de registros	26
6.2. Análisis Pushover	27
6.3. Estimación de desempeño del modelo con aislación sísmica	28
6.3.1. Comparativa respuesta aislada y base fija	31
6.4. Curvas IDA y niveles de intensidad	31
6.4.1. Respuesta global del modelo en base fija	31

6.4.2. Curvas IDA	34
6.5. Estimación del límite lineal y límite de colapso	38
7. Conclusiones	43
A. Apéndice	46
A.1. Diseño de vigas y columnas para $R = 1$	46
A.2. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 1$	49
A.3. Diseño de vigas y columnas para $R = 1.5$	49
A.4. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 1.5$	52
A.5. Diseño de vigas y columnas para $R = 2.0$	53
A.6. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 2.0$	56
A.7. Diseño de vigas y columnas para $R = 2.5$	56
A.8. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 2.5$	59
A.9. Diseño de vigas y columnas para $R = 3.0$	60
A.10. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 3.0$	63
A.11. Diseño de vigas y columnas para $R = 3.5$	64
A.12. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 3.5$	67
A.13. Registros sísmicos	68
A.14. Definición de linealidad del comportamiento de cada diseño según registro	71

Índice de figuras

1.	Geometría de la estructura prototipo modelada en SAP2000	14
2.	Espectro de diseño para zona de estudio	15
3.	Curva bilineal del diseño del aislador	17
4.	Modelo constitutivo uniaxial Concrete02, OpenSees	21
5.	Modelo constitutivo uniaxial SteelMPF, OpenSees	22
6.	Sección tipo de columnas modeladas en OpenSees	25
7.	Seccion tipo de vigas modeladas en OpenSees	25
8.	Espectros escalados y objetivo en escala logarítmica para MCE	27
9.	Curva Pushover para los distintos diseños realizados	27
10.	Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 1.0$	28
11.	Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 1.5$	29
12.	Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 2.0$	29
13.	Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 2.5$	29
14.	Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 3.0$	30
15.	Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 3.5$	30
16.	Comparación de respuesta estructural para modelo aislado y base fija	31
17.	Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 1.0$	32
18.	Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 1.5$	32
19.	Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 2.0$	32
20.	Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 2.5$	33
21.	Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 3.0$	33
22.	Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 3.5$	33
23.	Curvas IDA (1st floor drift) para registros 1 y 2	34
24.	Curvas IDA (1st floor drift) para registros 3 y 4	34
25.	Curvas IDA (1st floor drift) para registros 5 y 6	35
26.	Curvas IDA (1st floor drift) para registros 7 y 8	35
27.	Curvas IDA (1st floor drift) para registros 9 y 10	35
28.	Curva IDA (1st floor drift) para registro 11	36
29.	Curvas IDA (roof drift) para registros 1 y 2	36
30.	Curvas IDA (roof drift) para registros 3 y 4	37
31.	Curvas IDA (roof drift) para registros 5 y 6	37
32.	Curvas IDA (roof drift) para registros 7 y 8	37
33.	Curvas IDA (roof drift) para registros 9 y 10	38
34.	Curva IDA para registro 11	38
35.	Definición del parámetro r	39
36.	Definición de no linealidad para el registro N°1 y diseños $R = 1.0$ y $R = 1.5$	39
37.	Definición de no linealidad para el registro N°1 y diseños $R = 2.0$ y $R = 2.5$	40
38.	Definición de no linealidad para el registro N°1 y diseños $R = 3.0$ y $R = 3.5$	40
39.	Diagrama de caja y bigotes del ratio de no linealidad por R	41
40.	Diagrama de caja y bigotes del ratio de colapso por R	41
41.	Diseño de vigas del primer piso $R = 1.0$	46
42.	Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 1.0$	46
43.	Diseño de vigas del cuarto y quinto piso $R = 1.0$	47
44.	Diseño de columnas del primer piso $R = 1.0$	47
45.	Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 1.0$	48

46.	Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 1.0$	48
47.	Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 1.0$	49
48.	Diseño de vigas del primer piso $R = 1.5$	49
49.	Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 1.5$	50
50.	Diseño de vigas del quinto y sexto piso $R = 1.5$	50
51.	Diseño de columnas del primer piso $R = 1.5$	51
52.	Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 1.5$	51
53.	Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 1.5$	52
54.	Criterio columna fuerte y viga débil $R = 1.5$	52
55.	Diseño de vigas del primer piso $R = 2.0$	53
56.	Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 2.0$	53
57.	Diseño de vigas del quinto y sexto piso $R = 2.0$	54
58.	Diseño de columnas del primer piso $R = 2.0$	54
59.	Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 2.0$	55
60.	Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 2.0$	55
61.	Criterio columna fuerte y viga débil $R = 2.0$	56
62.	Diseño de vigas del primer piso $R = 2.5$	56
63.	Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 2.5$	57
64.	Diseño de vigas del quinto y sexto piso $R = 2.5$	57
65.	Diseño de columnas del primer piso $R = 2.5$	58
66.	Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 2.5$	58
67.	Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 2.5$	59
68.	Criterio columna fuerte y viga débil $R = 2.5$	59
69.	Diseño de vigas del primer piso $R = 3.0$	60
70.	Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 3.0$	60
71.	Diseño de vigas del quinto y sexto piso $R = 3.0$	61
72.	Diseño de columnas del primer piso $R = 3.0$	61
73.	Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 3.0$	62
74.	Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 3.0$	63
75.	Criterio columna fuerte y viga débil $R = 3.0$	63
76.	Diseño de vigas del primer piso $R = 3.5$	64
77.	Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 3.5$	64
78.	Diseño de vigas del quinto y sexto piso $R = 3.5$	65
79.	Diseño de columnas del primer piso $R = 3.5$	65
80.	Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 3.5$	66
81.	Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 3.5$	67
82.	Criterio columna fuerte y viga débil $R = 3.5$	67
83.	Registro N°1	68
84.	Registro N°2	68
85.	Registro N°3	68
86.	Registro N°4	69
87.	Registro N°5	69
88.	Registro N°6	69
89.	Registro N°7	70
90.	Registro N°8	70
91.	Registro N°9	70
92.	Registro N°10	71

93.	Registro N°11	71
94.	Definición de linealidad para el registro N°2, $R=1.0$	71
95.	Definición de linealidad para el registro N°3, $R=1.0$	72
96.	Definición de linealidad para el registro N°4, $R=1.0$	72
97.	Definición de linealidad para el registro N°5, $R=1.0$	72
98.	Definición de linealidad para el registro N°6, $R=1.0$	73
99.	Definición de linealidad para el registro N°7, $R=1.0$	73
100.	Definición de linealidad para el registro N°8, $R=1.0$	73
101.	Definición de linealidad para el registro N°9, $R=1.0$	74
102.	Definición de linealidad para el registro N°10, $R=1.0$	74
103.	Definición de linealidad para el registro N°11, $R=1.0$	74
104.	Definición de linealidad para el registro N°2, $R=1.5$	75
105.	Definición de linealidad para el registro N°3, $R=1.5$	75
106.	Definición de linealidad para el registro N°4, $R=1.5$	75
107.	Definición de linealidad para el registro N°5, $R=1.5$	76
108.	Definición de linealidad para el registro N°6, $R=1.5$	76
109.	Definición de linealidad para el registro N°7, $R=1.5$	76
110.	Definición de linealidad para el registro N°8, $R=1.5$	77
111.	Definición de linealidad para el registro N°9, $R=1.5$	77
112.	Definición de linealidad para el registro N°10, $R=1.5$	77
113.	Definición de linealidad para el registro N°11, $R=1.5$	78
114.	Definición de linealidad para el registro N°2, $R=2.0$	78
115.	Definición de linealidad para el registro N°3, $R=2.0$	78
116.	Definición de linealidad para el registro N°4, $R=2.0$	79
117.	Definición de linealidad para el registro N°5, $R=2.0$	79
118.	Definición de linealidad para el registro N°6, $R=2.0$	79
119.	Definición de linealidad para el registro N°7, $R=2.0$	80
120.	Definición de linealidad para el registro N°8, $R=2.0$	80
121.	Definición de linealidad para el registro N°9, $R=2.0$	80
122.	Definición de linealidad para el registro N°10, $R=2.0$	81
123.	Definición de linealidad para el registro N°11, $R=2.0$	81
124.	Definición de linealidad para el registro N°2, $R=2.5$	81
125.	Definición de linealidad para el registro N°3, $R=2.5$	82
126.	Definición de linealidad para el registro N°4, $R=2.5$	82
127.	Definición de linealidad para el registro N°5, $R=2.5$	82
128.	Definición de linealidad para el registro N°6, $R=2.5$	83
129.	Definición de linealidad para el registro N°7, $R=2.5$	83
130.	Definición de linealidad para el registro N°8, $R=2.5$	83
131.	Definición de linealidad para el registro N°9, $R=2.5$	84
132.	Definición de linealidad para el registro N°10, $R=2.5$	84
133.	Definición de linealidad para el registro N°11, $R=2.5$	84
134.	Definición de linealidad para el registro N°2, $R=3.0$	85
135.	Definición de linealidad para el registro N°3, $R=3.0$	85
136.	Definición de linealidad para el registro N°4, $R=3.0$	85
137.	Definición de linealidad para el registro N°5, $R=3.0$	86
138.	Definición de linealidad para el registro N°6, $R=3.0$	86
139.	Definición de linealidad para el registro N°7, $R=3.0$	86

140. Definición de linealidad para el registro N°8, R=3.0	87
141. Definición de linealidad para el registro N°9, R=3.0	87
142. Definición de linealidad para el registro N°10, R=3.0	87
143. Definición de linealidad para el registro N°11, R=3.0	88
144. Definición de linealidad para el registro N°2, R=3.5	88
145. Definición de linealidad para el registro N°3, R=3.5	88
146. Definición de linealidad para el registro N°4, R=3.5	89
147. Definición de linealidad para el registro N°5, R=3.5	89
148. Definición de linealidad para el registro N°6, R=3.5	89
149. Definición de linealidad para el registro N°7, R=3.5	90
150. Definición de linealidad para el registro N°8, R=3.5	90
151. Definición de linealidad para el registro N°9, R=3.5	90
152. Definición de linealidad para el registro N°10, R=3.5	91
153. Definición de linealidad para el registro N°11, R=3.5	91

Índice de tablas

1.	Propiedades geométricas del aislador	17
2.	Parámetros de diseño del aislador	17
3.	Cuantías de refuerzo longitudinal (%) para distintos factores de reducción R	20
4.	Resistencias esperadas de los materiales, (ACHISINA, 2017)	22
5.	Propiedades del hormigón no confinado a utilizar.	22
6.	Propiedades del hormigón confinado a utilizar.	23
7.	Propiedades del acero de refuerzo a utilizar.	23
8.	Propiedades de los aisladores sísmicos utilizados en el modelo (OpenSees).	24
9.	Registros seleccionados del sitio NGA Subduction, factores de escala, PGA y distancia Joyner–Boore	26
10.	Resultados de análisis pushover para distintos valores de R	28

1. Introducción

La protección sísmica de edificaciones ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, consolidándose la aislación sísmica como una de las estrategias más efectivas para reducir la demanda sísmica sobre la superestructura. Esta técnica desacopla dinámicamente el edificio del movimiento del suelo mediante dispositivos flexibles en la base, permitiendo que la superestructura experimente aceleraciones y desplazamientos reducidos (Kelly, 1997). Diversos estudios han documentado que los sistemas son capaces de mantener el desempeño estructural y funcional incluso bajo terremotos severos, lo que ha motivado su implementación en hospitales, centros de control y edificios estratégicos en zonas de alta amenaza sísmica (Naeim & Kelly, 1999).

En el diseño sísmico convencional, se emplea un factor de reducción de respuesta que permite disminuir las fuerzas sísmicas elásticas, considerando la capacidad no lineal de la estructura para disipar energía mediante deformaciones plásticas controladas. Sin embargo, en estructuras aisladas, la disipación de energía ocurre principalmente en el sistema de aislamiento, por lo que la superestructura se diseña para permanecer en el rango elástico. Estudios han demostrado que una sobre estimación del factor R en estas condiciones puede generar demandas de ductilidad excesivas, superando la capacidad resistente de la estructura, pudiendo llegar incluso al colapso (Vassiliou et al., 2013). Por esta razón, la práctica común ha sido restringir el uso de R a valores cercanos a 1 en sistemas aislados. No obstante, esta aproximación puede llevar a diseños sobre dimensionados, incrementando el uso de materiales y los costos de construcción (Wang et al., 2024).

Frente a esta problemática, el objetivo general de este trabajo es evaluar la viabilidad técnica de emplear factores de reducción $R > 1$ en estructuras de hormigón armado con aislamiento sísmico, determinando su impacto en la respuesta estructural mediante un modelo numérico no lineal desarrollado en OpenSees, y estableciendo un rango seguro de aplicación que oriente futuras recomendaciones de diseño.

2. Objetivos e hipótesis

2.1. Hipótesis

Existen valores del factor de reducción sísmica $R > 1$ que permiten mantener el comportamiento esencialmente elástico de la superestructura en estructuras con aislamiento sísmico.

2.2. Objetivo General

- Evaluar la viabilidad técnica del uso de factores de reducción de la respuesta $R > 1$ en estructuras de hormigón armado con aislamiento sísmico.

2.3. Objetivos Específicos

- Diseñar múltiples estructuras de hormigón armado con distintos valores del factor de reducción de la respuesta R , considerando criterios normativos establecidos en el código ASCE 7-22.
- Cuantificar la incursión no lineal de las estructuras diseñadas con el fin de establecer un rango admisible que garantice un comportamiento esencialmente elástico en la superestructura.

3. Marco teórico

3.1. Sistemas de aislación sísmica

El aislamiento sísmico es una estrategia de protección estructural que busca desacoplar la superestructura del movimiento del suelo mediante la incorporación de dispositivos flexibles en la interfaz entre ambos elementos, logrando reducir la demanda sísmica transmitida a la superestructura (Kelly, 1997). En este trabajo se considerarán exclusivamente los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (Lead Rubber Bearings, LRB).

Estos aisladores están compuestos por capas alternadas de caucho natural (o caucho sintético) y láminas de acero, y contienen en su centro un núcleo cilíndrico de plomo. Este núcleo permite una importante capacidad de disipación de energía mediante deformación plástica, mientras que el caucho proporciona flexibilidad lateral y rigidez vertical suficiente para soportar cargas gravitacionales (Naeim & Kelly, 1999).

3.2. Factor de reducción sísmico R

En el diseño sísmico convencional, el factor de reducción de la respuesta R permite reducir las fuerzas elásticas de diseño al considerar la capacidad de la estructura de disipar energía a través del comportamiento inelástico. En estructuras con aislamiento sísmico, sin embargo, esta lógica cambia: la superestructura debe mantenerse predominantemente elástica, ya que se asume que la disipación ocurre en el sistema de aislamiento. Por ello las normativas limitan el valor de R , por ejemplo ASCE 7 indica que R no debe superar 2.0 para sistemas aislados (ASCE, 2022).

No obstante, existen estudios que han demostrado que muchas estructuras aisladas incorporan sobrerresistencia en el diseño de la superestructura, siendo esta clave para la determinación de este factor (Abdi et al., 2019). Esto abre la posibilidad de utilizar valores de $R > 1$ sin que se comprometa el comportamiento elástico.

3.3. Modelación numérica no lineal

El comportamiento de una estructura base-aislada es el resultado de una interacción dinámica acoplada entre el sistema de aislamiento y la superestructura. Para evaluar correctamente el efecto de distintos valores de R , es necesario emplear modelos que representen las no linealidades de materiales y dispositivos. En este contexto, los modelos tipo fibra permiten representar el comportamiento inelástico distribuido en elementos como columnas y vigas, mientras que los aisladores se modelan con modelos de histéresis bilineal o modelos específicos.

3.4. OpenSees

OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation) es una plataforma de código abierto de simulación avanzada desarrollada para análisis no lineales de estructuras sometidas a cargas extremas, como eventos sísmicos. Además, permite definir con alta precisión los materiales constitutivos, las secciones compuestas por fibras y los dispositivos de aislamiento (Mazzoni et al., 2009).

Una de las principales ventajas de OpenSees es su flexibilidad para modelar materiales y elementos estructurales con propiedades no lineales. Por ejemplo, en el caso del hormigón armado, es posible representar secciones compuestas con modelos de fibras, donde cada fibra puede tener un comportamiento individualizado, permitiendo simular de forma precisa la formación de rótulas plásticas, fisuración progresiva del hormigón y la fluencia del acero. En cuanto a los aisladores sísmicos, OpenSees ofrece modelos especializados los cuales permiten capturar la rigidez efectiva del aislador, la disipación histerética y las deformaciones máximas esperadas durante un sismo.

3.5. Análisis tiempo-historia no lineal y escalamiento sísmico

El análisis tiempo-historia no lineal constituye una herramienta fundamental en el estudio del desempeño estructural, ya que permite evaluar la respuesta frente a registros de aceleración reales que incorporan la complejidad de la acción sísmica. No obstante, como dichos registros no siempre representan las condiciones del sitio ni el nivel de amenaza definido en la normativa, se aplica el escalamiento sísmico, ajustando su intensidad hasta lograr compatibilidad con el espectro MCER definido por ASCE 7-22 en un rango de períodos asociado al sistema estructural. En este marco, el proyecto NGA-Subduction del PEER ha generado una base de datos robusta y actualizada de movimientos sísmicos en contextos de subducción, constituyéndose en una fuente confiable para la selección y el escalamiento de acelerogramas representativos del peligro sísmico característico de estas zonas (Bozorgnia et al., 2018).

3.6. Análisis pushover y niveles de desempeño

El análisis pushover es un procedimiento estático no lineal en el que se aplica un patrón de fuerzas laterales creciente sobre la estructura hasta que ésta ingresa en el rango no lineal y alcanza su capacidad máxima. A partir de la relación entre cortante basal y la deformación a nivel de techo se obtiene la curva de capacidad (Hassan & Yasin, 2023).

Esta curva se interpreta mediante parámetros característicos como lo son la resistencia y desplazamiento de fluencia como la resistencia máxima y su deformación última. La determinación de los parámetros de fluencia se realiza de forma consistente a una idealización bilineal en la cual se traza una recta EPP con la rigidez lineal de la estructura y se intersecta con una recta horizontal correspondiente a la capacidad máxima.

Para identificar el colapso global de la estructura, se adopta un criterio de pérdida de resistencia del 20 % respecto a la resistencia máxima en la curva pushover. El punto de colapso se ubica en la parte no lineal cuando el cortante basal desciende a $0.8 V_{max}$ (GÜNEŞ, 2020).

3.7. Curvas IDA y definición de no linealidad

El Incremental Dynamic Analysis (IDA) se ha consolidado como una herramienta confiable dentro del diseño sísmico basado en desempeño. La metodología consiste en aplicar a un modelo estructural un conjunto de registros sísmicos seleccionados para el sitio de estudio, los cuales son escalados gradualmente en intensidad (Awchat et al., 2023). Con ello, es posible observar la evolución de la respuesta estructural desde el rango elástico inicial, pasando por el desarrollo de no linealidades y plastificaciones locales, hasta alcanzar la condición de colapso global. Este procedimiento entrega una visión integral de la capacidad de la estructura frente a diferentes niveles de demanda sísmica

y constituye la base para evaluar parámetros de seguridad, ductilidad y confiabilidad.

Debido a que los aisladores presentan un comportamiento altamente no lineal incluso para niveles moderados de demanda, la aplicación estricta de la metodología IDA sobre un modelo aislado no permite obtener una curva representativa en todo su rango de intensidades. Para superar esta limitación, se adopta un enfoque alternativo propuesto por los autores de esta investigación que consiste en desarrollar un segundo modelo estructural con base fija, al cual se le aplican como registros de entrada las aceleraciones absolutas registradas en el coronamiento de los aisladores en el modelo aislado original. De esta manera, se obtiene un sistema equivalente que reproduce adecuadamente la respuesta de la estructura aislada, pero que permite aplicar escalas crecientes de intensidad sin que la no linealidad temprana de los aisladores condicione la respuesta.

4. Estructura prototipo

La geometría definida para este trabajo corresponde a un edificio hospitalario de 5 pisos de categoría de riesgo IV, diseñado con 4 vanos de 8 [m] de largo y una altura de entrepiso de 4.5 [m]. Este se encuentra ubicado en Los Ángeles, California (Lat. = 34.042°, Lon. = -118.387), sitio caracterizado por un suelo tipo C. Además, las secciones utilizadas para esta estructura son columnas de 75 [cm] x 75 [cm] y vigas de 55 [cm] de ancho y 70 [cm] de alto que además consideran el aporte de una losa de 18 [cm] de espesor mediante la utilización del ancho efectivo que indica el código ACI 318-19. Por último, se considera un hormigón de $f'_c = 5000$ [psi] y un acero de refuerzo de grado 60 ($f_y = 60000$ [psi]).

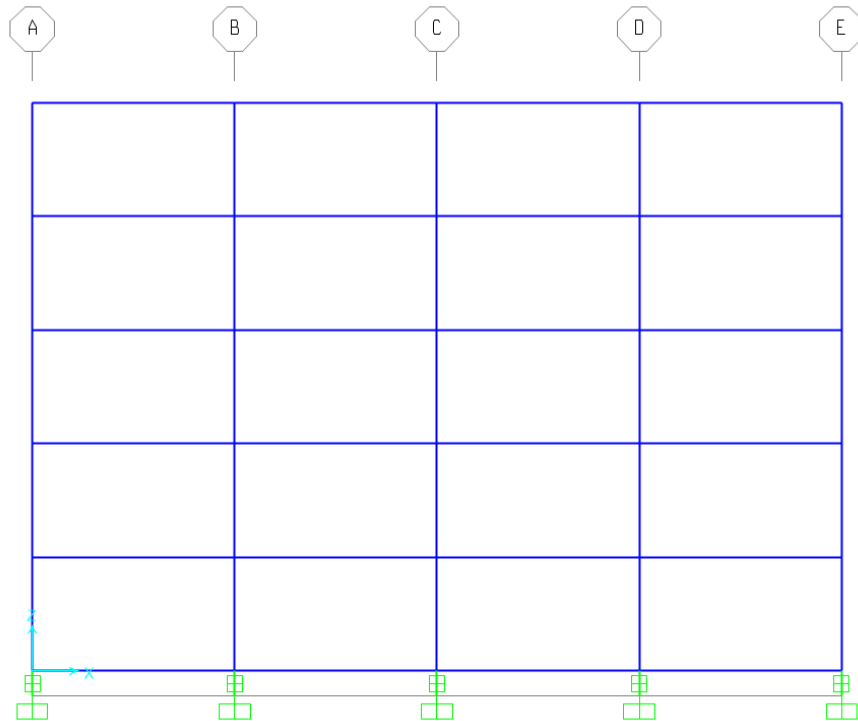


Figura 1: Geometría de la estructura prototipo modelada en SAP2000

4.1. Espectro de diseño ASCE 7-22 y factores de reducción

La figura 2 muestra el espectro de diseño considerado para la zona de estudio, considerando parámetros de aceleración espectral de periodo corto como $S_{ms} = 2.37$ [g], $S_{m1} = 1.16$ [g] y $T_L = 8.0$ [s].

Adicionalmente, en el caso de estructuras con aislación sísmica, la norma considera un factor de reducción por amortiguamiento, el cual corrige las ordenadas espectrales en función de la disipación por amortiguamiento que entregan los aisladores. De acuerdo a criterio por experiencia de los autores de esta memoria, para periodos mayores a 0.8 veces T_m (donde T_m corresponde al período fundamental aislado de la superestructura), se dividen las aceleraciones espectrales por el valor de reducción por amortiguamiento según la tabla 17.5-1 del ASCE 7-22.

Por último, los factores de reducción sísmica R considerados para este estudio son:

- $R_0 = 1.0$
- $R_1 = 1.5$
- $R_2 = 2.0$
- $R_3 = 2.5$
- $R_4 = 3.0$
- $R_5 = 3.5$

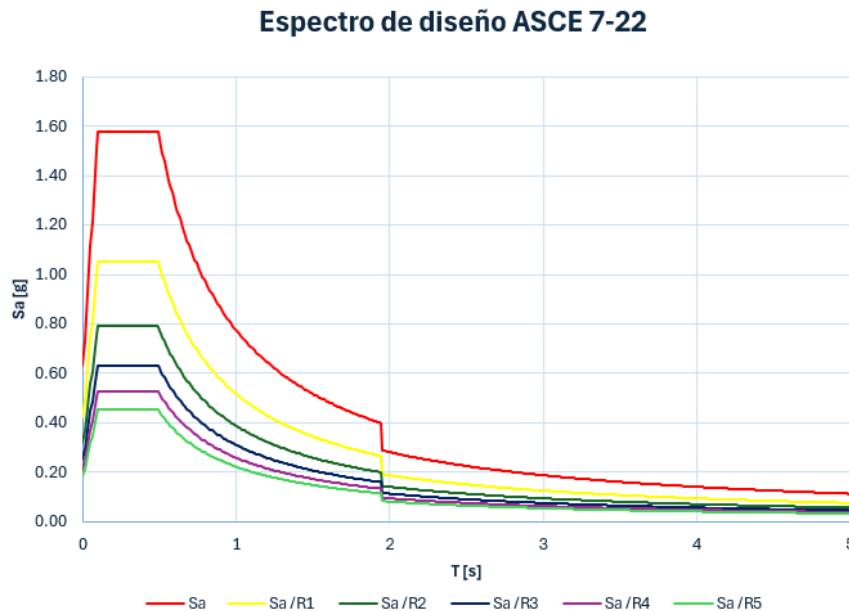


Figura 2: Espectro de diseño para zona de estudio

4.2. Diseño de aisladores sísmicos

El sistema de aislación sísmica se considera con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB por sus siglas en inglés *Lead Rubber Bearing*), los cuales se caracterizan por incluir un cilindro de plomo en el centro de un sistema laminado que intercala capas de caucho con placas de acero.

Para comenzar con el diseño de los aisladores, se desarrolla un proceso iterativo mediante una planilla de Excel donde se define según el peso de la estructura que recibe, las propiedades de periodo efectivo T_{eff} , rigidez efectiva K_{eff} , amortiguamiento efectivo ξ_{eff} , rigidez elástica K_1 y la rigidez post fluencia K_2 , mediante las siguientes ecuaciones:

$$K_{eff} = \frac{F_{max}}{u_{max}} \quad (1)$$

$$T_{eff} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}} \quad (2)$$

$$\xi_{eff} = \frac{2Q_d \cdot (u_{max} - u_y)}{\pi \cdot K_{eff} \cdot u_{max}} \quad (3)$$

$$K_1 = \frac{G_r \cdot A_c}{H_t} \quad (4)$$

Donde:

- G_r es el módulo de corte del caucho.
- A_c es el área en planta de caucho.
- H_t es la altura total de caucho.

$$D_M = \frac{gS_{M1}T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (5)$$

Donde:

- D_M es el desplazamiento mínimo que debe resistir el sistema de aislación.
- S_{M1} es un parámetro de aceleración espectral del MCE_R (terremoto máximo considerado con reducción por riesgo), amortiguado al 5% con un período de 1 [s].
- T_M es el periodo efectivo de la estructura aislada a un desplazamiento D_M .
- B_M es el factor de reducción por amortiguamiento para obtener el desplazamiento correspondiente al amortiguamiento considerado.

A continuación, se presenta un resumen del proceso iterativo de diseño del sistema de aislación a considerar para todas las estructuras a analizar.

Tabla 1: Propiedades geométricas del aislador

Diámetro Interior	150 mm
Diámetro Exterior	1000 mm
Área Interior	17671.5 mm ²
Área Exterior	785398.2 mm ²
Área Caucho	767726.7 mm ²
Espesor del Caucho	6.70 mm
Número de capas	37
Altura Total del Caucho	247.9 mm

Tabla 2: Parámetros de diseño del aislador

Peso por Aislador	233.11 tonf
Desplazamiento de Diseño	508.86 mm
Fuerza Máxima	791.21 kN
Rigidez Efectiva	1.55 kN/mm
Amortiguamiento Efectivo	15.9 %
B _m	1.38
C _m (ASCE 7-22)	701.26 mm
D _m (ASCE 7-22)	508.86 mm
Periodo Efectivo	2.43 s
Error	0.00 %

De acuerdo a la demanda sísmica impuesta, se elige el modelo LT100G4-F del catálogo *Seismic Isolation Product Line-up* de Bridgestone, que se caracteriza por tener un diámetro del cilindro de plomo de 150 [mm], un diámetro exterior de 1000 [mm], con una altura total de caucho de 247.9 [mm] compuesto por 37 láminas de 6.7 [mm] de espesor. A continuación se da a conocer la curva bilineal del aislador propuesto, incorporando tanto sus rigideces características, como la rigidez efectiva.

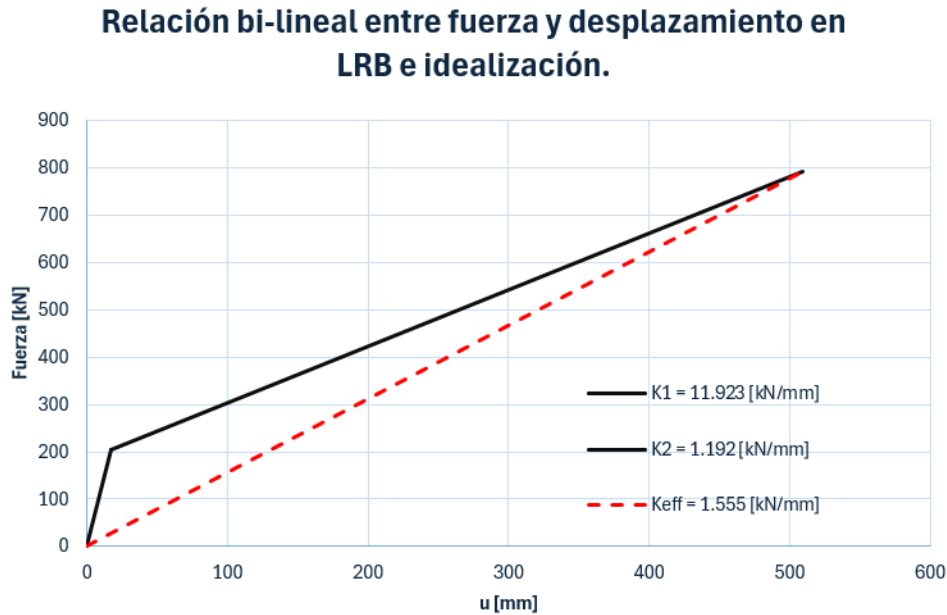


Figura 3: Curva bilineal del diseño del aislador

4.3. Diseño de la superestructura

La superestructura se diseña considerando las combinaciones de cargas muertas, muertas adicionales, carga viva y solicitaciones sísmicas según las combinaciones LRFD del código ASCE 7-22. En las vigas, el diseño se centra en las solicitaciones por gravedad y sísmicas, asegurando que el diseño cumpla con los requisitos de resistencia y detallamiento adecuados. En las columnas, el diseño se verifica para resistir todas las solicitaciones que reciben, adoptando el criterio de "columna fuerte

- viga débil" y priorizando que las rotulas plásticas se formen en las vigas, lo que garantiza un adecuado comportamiento estructural asociado al mecanismo de colapso. Todo el diseño se realiza de acuerdo con el código ACI 318-19, asegurando una respuesta adecuada ante las solicitaciones sísmicas y gravitacionales sin comprometer la seguridad estructural.

A continuación, se presentan los distintos diseños a considerar para esta investigación, donde F corresponde al acero ubicado en la parte inferior de las vigas y F' el acero considerado en la parte superior.

4.3.1. Secciones diseñadas para $R = 1$

El diseño para este factor de reducción queda compuesto por:

- Columnas del primer piso: $20 \phi 36$
- Columnas del segundo a tercer piso: $20 \phi 32$
- Columnas del cuarto a quinto: $16 \phi 25 + 4 \phi 28$
- Vigas de la base: $F' = 4 \phi 28 + 4 \phi 25 + 2 \phi 12$ y $F = 4+4 \phi 22$
- Vigas del primer a tercer piso: $F' = 4 \phi 32 + 4 \phi 28 + 2 \phi 25$ y $F = 4+4 \phi 25$
- Vigas del cuarto a quinto piso: $F' = 4 \phi 28 + 2 \phi 18$ y $F = 4 \phi 25$

4.3.2. Secciones diseñadas para $R = 1.5$

El diseño para este factor de reducción queda compuesto por:

- Columnas del primer piso: $16 \phi 32 + 4 \phi 36$
- Columnas del segundo a tercer piso: $16 \phi 28 + 4 \phi 32$
- Columnas del cuarto a quinto: $16 \phi 22 + 4 \phi 25$
- Vigas de la base: $F' = 4+4 \phi 25$ y $F = 4+4 \phi 18$
- Vigas del primer a tercer piso: $F' = 4+4 \phi 28$ y $F = 4+4 \phi 22$
- Vigas del cuarto a quinto piso: $F' = 4 \phi 28 + 2 \phi 12$ y $F = 4 \phi 22$

4.3.3. Secciones diseñadas para $R = 2$

El diseño para este factor de reducción queda compuesto por:

- Columnas del primer piso: $16 \phi 28 + 4 \phi 32$
- Columnas del segundo a tercer piso: $20 \phi 25$
- Columnas del cuarto a quinto: $16 \phi 18 + 4 \phi 25$
- Vigas de la base: $F' = 4+4 \phi 22 + 2 \phi 12$ y $F = 4+4 \phi 16$
- Vigas del primer a tercer piso: $F' = 4+4 \phi 25$ y $F = 4+4 \phi 18$
- Vigas del cuarto a quinto piso: $F' = 4 \phi 28$ y $F = 4 \phi 22$

4.3.4. Secciones diseñadas para $R = 2.5$

El diseño para este factor de reducción queda compuesto por:

- Columnas del primer piso: $20 \phi 28$
- Columnas del segundo a tercer piso: $16 \phi 22 + 4 \phi 25$
- Columnas del cuarto a quinto: $16 \phi 18 + 4 \phi 25$
- Vigas de la base: $F' = 4 \phi 22 + 4 \phi 18 + 2 \phi 16$ y $F = 4 \phi 16 + 4 \phi 12 + 2 \phi 12$
- Vigas del primer a tercer piso: $F' = 4 \phi 25 + 4 \phi 22$ y $F = 4 \phi 18 + 4 \phi 16$
- Vigas del cuarto a quinto piso: $F' = 4 \phi 25 + 2 \phi 12$ y $F = 4 \phi 22$

4.3.5. Secciones diseñadas para $R = 3.0$

El diseño para este factor de reducción queda compuesto por:

- Columnas del primer piso: $20 \phi 28$
- Columnas del segundo a tercer piso: $20 \phi 22$
- Columnas del cuarto a quinto: $16 \phi 18 + 4 \phi 25$
- Vigas de la base: $F' = 4 \phi 22 + 4 \phi 18 + 2 \phi 12$ y $F = 4 \phi 16 + 4 \phi 12 + 2 \phi 12$
- Vigas del primer a tercer piso: $F' = 4+4 \phi 22$ y $F = 4+4 \phi 16$
- Vigas del cuarto a quinto piso: $F' = 4 \phi 25 + 2 \phi 12$ y $F = 4 \phi 22$

4.3.6. Secciones diseñadas para $R = 3.5$

El diseño para este factor de reducción queda compuesto por:

- Columnas del primer piso: $16 \phi 25 + 4 \phi 28$
- Columnas del segundo a tercer piso: $16 \phi 18 + 4 \phi 25$
- Columnas del cuarto a quinto: $16 \phi 18 + 4 \phi 25$
- Vigas de la base: $F' = 4 \phi 22 + 4 \phi 18$ y $F = 4 \phi 16 + 4 \phi 12$
- Vigas del primer a tercer piso: $F' = 4 \phi 22 + 4 \phi 18 + 2 \phi 12$ y $F = 4+4 \phi 16$
- Vigas del cuarto a quinto piso: $F' = 4 \phi 25 + 2 \phi 12$ y $F = 4 \phi 22$

Además, el área de la losa corresponde al área mínima y se materializa con 4 barras inferiores y superiores de diámetro 10 [mm].

4.4. Resumen de diseño de la superestructura

A continuación se presentan las cuantías de diseño resultantes del análisis considerando distintos valores del factor de reducción R .

Tabla 3: Cuantías de refuerzo longitudinal (%) para distintos factores de reducción R

Caso	C1	C2	C3	B1	B2	B3
R=1	3.62	2.86	1.83	2.21	3.04	1.42
R=1.5	3.01	2.32	1.43	1.71	2.29	1.21
R=2	2.32	1.75	1.07	1.40	1.71	1.14
R=2.5	2.19	1.43	1.07	1.27	1.52	1.07
R=3	2.19	1.35	1.07	1.22	1.34	1.07
R=3.5	1.83	1.07	1.07	1.09	1.26	1.07

Donde:

- C1, C2 y C3 corresponden a las columnas del primer piso, segundo a tercer piso y cuarto a quinto piso respectivamente.
- B1, B2 Y B3 corresponden a las vigas de la base, primer a tercer piso y cuarto a quinto piso respectivamente.

5. Criterios de modelación

5.1. Materiales aplicados en OpenSees

Los materiales empleados para representar el hormigón y el acero corresponden a modelos constitutivos uniaxiales, los cuales describen la relación esfuerzo–deformación incorporando efectos no lineales, fluencia y disipación de energía bajo cargas cíclicas. Estos modelos, implementados en OpenSees, permiten reproducir de manera eficiente el comportamiento real de los elementos estructurales frente a la acción sísmica

5.1.1. Hormigón

El comportamiento del hormigón, tanto confinado como no confinado, se describe mediante el modelo constitutivo uniaxial Concrete02 de OpenSees de la siguiente forma:

uniaxialMaterial Concrete02 \$ matTag \$fpc \$epsc0 \$fpcu \$epsU \$lambda \$ft \$Ets

Donde:

- matTag: Identificador del material.
- fpc: Resistencia máxima a compresión del hormigón a los 28 días
- epsc0: Deformación unitaria del hormigón sujeto a la resistencia máxima a compresión
- fpcu: Resistencia al aplastamiento del hormigón
- epsU: Deformación unitaria del hormigón en el aplastamiento

- λ : Relación entre la pendiente de descarga en la deformación asociada al aplastamiento y la pendiente inicial
- f_t : Resistencia a tracción del concreto
- E_{ts} : Pendiente entre resistencia a tracción del hormigón y deformación última

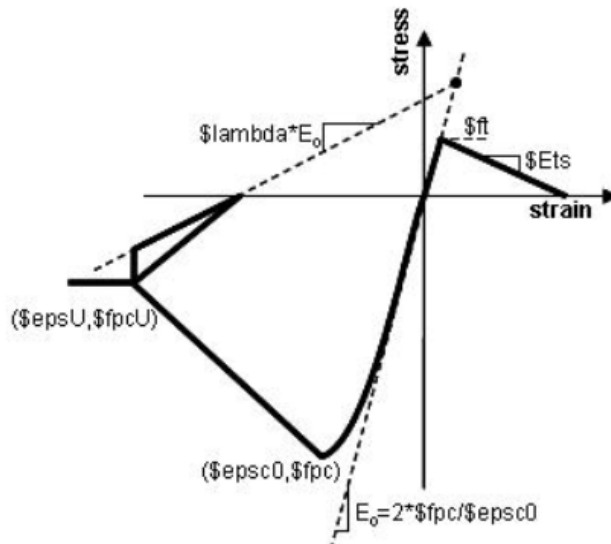


Figura 4: Modelo constitutivo uniaxial Concrete02, OpenSees

5.1.2. Acero de refuerzo

El comportamiento del acero, se describe mediante el modelo constitutivo SteelMPF de OpenSees de la siguiente forma:

uniaxialMaterial SteelMPF \$matTag \$fyp \$fyn \$E0 \$bp \$bn \$R0 \$cR1 \$cR2

Donde:

- matTag: Identificador del material.
- f_{yp} : Resistencia de fluencia en tracción del acero
- f_{yn} : Resistencia de fluencia en compresión del acero
- E_0 : Pendiente entre resistencia de fluencia y deformación unitaria
- b_p : Factor de endurecimiento por deformación en tracción
- b_n : Factor de endurecimiento por deformación en compresión
- R_0 : Parámetro inicial de curvatura
- cR_1 : Parámetro de degradación de la curvatura

- cR2: Parámetro de degradación de la curvatura

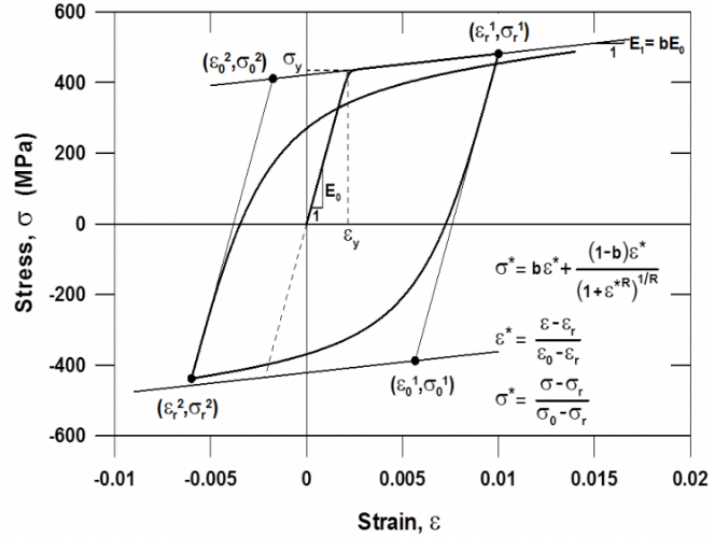


Figura 5: Modelo constitutivo uniaxial SteelMPF, OpenSees

El modelo a desarrollar busca obtener el desempeño real de la estructura, por lo que las propiedades de los materiales a utilizar, siguen las recomendaciones propuestas por (ACHISINA, 2017) las cuales son mostradas en la tabla 4.

Tabla 4: Resistencias esperadas de los materiales, (ACHISINA, 2017)

Material	Resistencia esperada
Resistencia a la fluencia para el acero de refuerzo	$1.17 \cdot f_y$ especificado
Resistencia máxima del hormigón	$1.30 \cdot f'_c$ especificado

A continuación se presenta una tabla resumen con los materiales a utilizar en el modelo de OpenSees.

Tabla 5: Propiedades del hormigón no confinado a utilizar.

Símbolo	Valor	Unidad
f'_c	-45.5×10^6	Pa
ε_0	-0.002	-
f'_{cu}	-9.1×10^6	Pa
ε_u	-0.005	-
f_t	4.55×10^6	Pa
λ	0.1	-
E_{ts}	2.275×10^9	Pa
E_c	45.5×10^9	Pa

Tabla 6: Propiedades del hormigón confinado a utilizar.

Símbolo	Valor	Unidad
$f'_{c,c}$	-76.4×10^6	Pa
ε_{0c}	-0.006	-
$f'_{cu,c}$	-38.2×10^6	Pa
ε_{uc}	-0.015	-

Tabla 7: Propiedades del acero de refuerzo a utilizar.

Símbolo	Valor	Unidad
E_s	200×10^9	Pa
F_y	491.4×10^6	Pa
ε_y	0.002	-
b	0.01	-
R_0	18	-
c_{R1}	0.925	-
c_{R2}	0.15	-

5.2. Elementos aplicados en OpenSees

Para la construcción del modelo no lineal en OpenSees, se utilizan dos tipos de elementos. El primero es el elemento que modela las vigas y columnas de la estructura llamado "forceBeamColumn", basado en la formulación de fuerza que permite modelar no linealidades distribuidas a lo largo del elemento mediante integración numérica. El segundo corresponde al elemento que modela los aisladores llamado "elastomericBearing", que se define entre dos nodos y es capaz de modelar deformaciones en corte con plasticidad y comportarse mediante materiales uniaxiales en las demás direcciones.

5.2.1. Elementos viga-columna

El comportamiento de los elementos viga-columna, se describe de la siguiente forma:

element forceBeamColumn \$eleTag \$iNode \$jNode \$numIntgrPts \$secTag \$transfTag
Donde:

- eleTag: Identificador del elemento
- iNode: Nodo inicial
- jNode: Nodo final
- numIntgrPts: Número de puntos de integración del elemento
- secTag: Identificador de la sección
- transfTag: Método para cambiar desde las coordenadas locales a globales

5.2.2. Aisladores elastoméricos

El comportamiento de los aisladores se describe de la siguiente forma:

```
element elastomericBearingPlasticity $eleTag $iNode $jNode $kInit $qd $alpha1 $alpha2 $mu
-P $matTag -Mz $matTag
```

Donde:

- eleTag: identificador del elemento
- iNode: Nodo inicial
- jNode: Nodo final
- kInit: rigidez elástica inicial en la dirección local de corte
- qd: resistencia característica
- alpha1: relación de rigidez post-fluencia del componente lineal endurecido
- alpha2: relación de rigidez post-fluencia del componente no lineal endurecido
- mu: exponente del componente no lineal endurecido
- -P \$matTag: Identificador del material en la dirección axial
- -Mz \$matTag: Identificador del material para momento alrededor del eje local z

A continuación se presenta el tipo de aislador a modelar en OpenSees.

Tabla 8: Propiedades de los aisladores sísmicos utilizados en el modelo (OpenSees).

Símbolo	Valor	Unidad
k_{init}	16×10^6	N/m
q_d	141×10^3	N
α_1	0.076875	-
α_2	0.0	-
μ	1.0	-
$-P$	3740×10^6	N/m
$-Mz$	0.01	N $\times$ m/rad

5.3. Secciones utilizadas en OpenSees

Las secciones de hormigón armado son modeladas mediante el comando sectionFiber, que permite representar la no linealidad a través de fibras de hormigón y acero distribuidas en el área transversal. Para el hormigón se utilizaron parches rectangulares, con los cuales se discretiza tanto la losa, la viga y las columnas para reproducir de manera adecuada la contribución del hormigón. El refuerzo longitudinal se incorpora con líneas, donde se especifica el material del acero, el número de barras y el área de cada una de estas, permitiendo así modelar las distintas líneas de barras superiores, inferiores y laterales según el diseño propuesto.

5.3.1. Secciones tipo de columnas

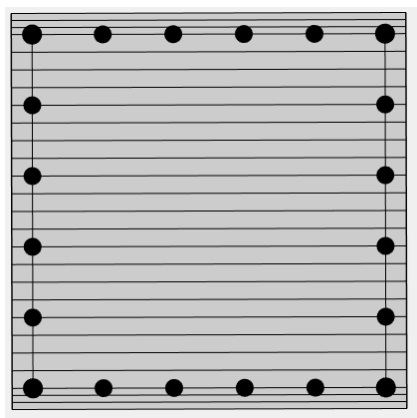


Figura 6: Sección tipo de columnas modeladas en OpenSees

5.3.2. Secciones tipo de vigas

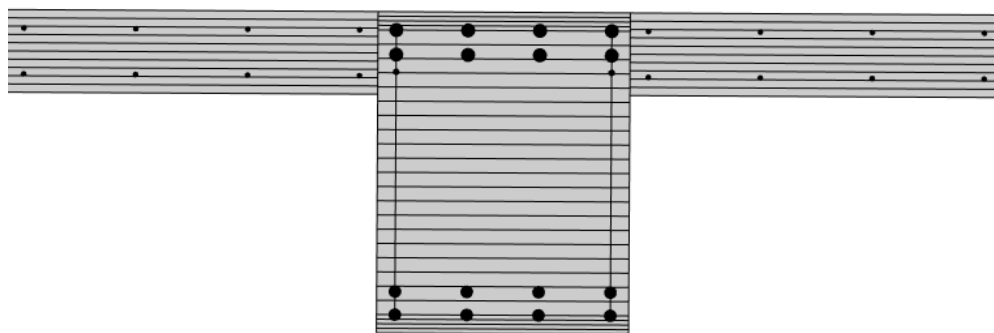


Figura 7: Seccion tipo de vigas modeladas en OpenSees

6. Resultados

El propósito de este apartado es presentar el desempeño de la superestructura ante las solicitudes sísmicas. Para ello, se realizan análisis de tiempo historia no lineales utilizando los registros escalados, lo que permite evaluar la respuesta dinámica de la estructura bajo distintos niveles de intensidad sísmica. Además, para caracterizar el comportamiento estructural de manera aproximada, se lleva a cabo un análisis pushover en base fija, con el fin de obtener las derivas correspondientes a los estados de fluencia y colapso, proporcionando así una visión estimada del rendimiento de la superestructura frente a cargas sísmicas asociadas al primer modo de vibración.

Posteriormente, mediante las curvas IDA se evalúa la transición del comportamiento lineal al no lineal a medida que aumenta la demanda sísmica. Este procedimiento permite identificar el rango de intensidades en el que la estructura mantiene un desempeño esencialmente elástico y el punto a partir del cual se produce incursión no lineal significativa. Con ello, se establece un criterio general para definir la linealidad estructural, asociado al comportamiento del primer piso y su drift máximo alcanzado.

6.1. Selección y escalamiento de registros

La selección de registros se realiza a través de la plataforma NGA-Subduction (PEER), considerando registros con magnitudes entre 7.5 y 9.2 M_w , ocurridos entre 1970-2025 y condiciones de sitio representadas por velocidades de propagación de onda de corte V_{s30} entre 440 y 640 [m/s], equivalentes a un suelo de clasificación C conforme lo establecido en ASCE 7-22. Además se utiliza un rango de interés de periodos entre 0.6 a 3.0 [s] empleando el método de Minimize Mean Squared Error (MSE).

A continuación, se presenta un resumen de los registros a utilizar para el análisis.

Tabla 9: Registros seleccionados del sitio NGA Subduction, factores de escala, PGA y distancia Joyner–Boore

Registro	NGA subRSN	Vs30 (m/s)	Estación	Magnitud	Factor de Escala	PGA (g)	R _{jb} (km)
R01	4000520	593.1	TAJIRI	9.1	2.43	0.44	62.44
R02	4000793	449.8	HIRONO	9.1	2.65	1.59	18.36
R03	4001055	479.1	TSUKIDATE	9.1	2.37	2.04	71.56
R04	4001060	579.2	TAIWA	9.1	2.52	0.94	72.24
R05	4022837	459.1	SAMANI	8.3	3.10	0.42	3.96
R06	6001025	560.0	POCON	8.4	3.51	0.58	219.57
R07	6001737	560.0	POCON	8.4	3.57	0.59	219.57
R08	6001800	574.0	LACH	8.8	2.48	0.51	120.72
R09	6001804	622.0	ANTU	8.8	3.88	0.59	105.62
R10	6001805	619.0	CLCH	8.8	3.15	0.43	123.88
R11	6001823	524.0	HSOT	8.8	3.68	0.65	109.30

A continuación, se presenta en la figura 8 los espectros de respuesta asociados a cada uno de los registros sísmicos utilizados en el análisis. Estos espectros se comparan con el espectro objetivo, el cual corresponde al espectro del terremoto máximo considerado para la superestructura. Esta comparación permite evaluar cómo se ajustan los registros escalados a las características del evento sísmico asociado a un nivel MCE, lo que es clave para entender el comportamiento de la estructura ante diferentes niveles de intensidad sísmica.

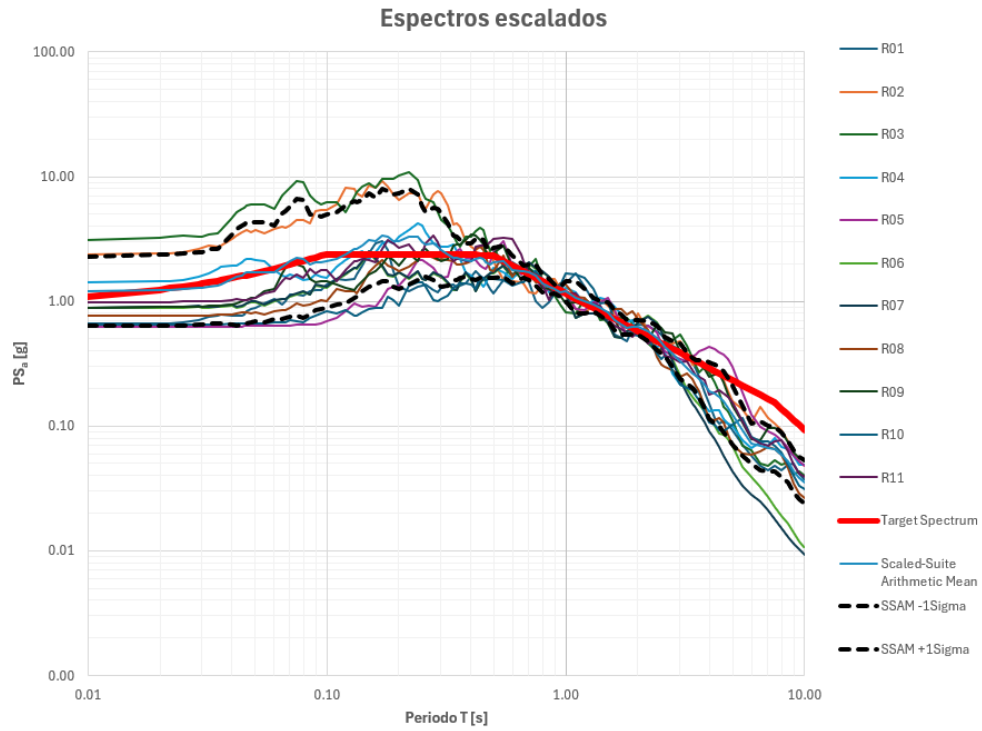


Figura 8: Espectros escalados y objetivo en escala logarítmica para MCE

6.2. Análisis Pushover

La figura 9 resume la curva Pushover para los distintos diseños realizados.

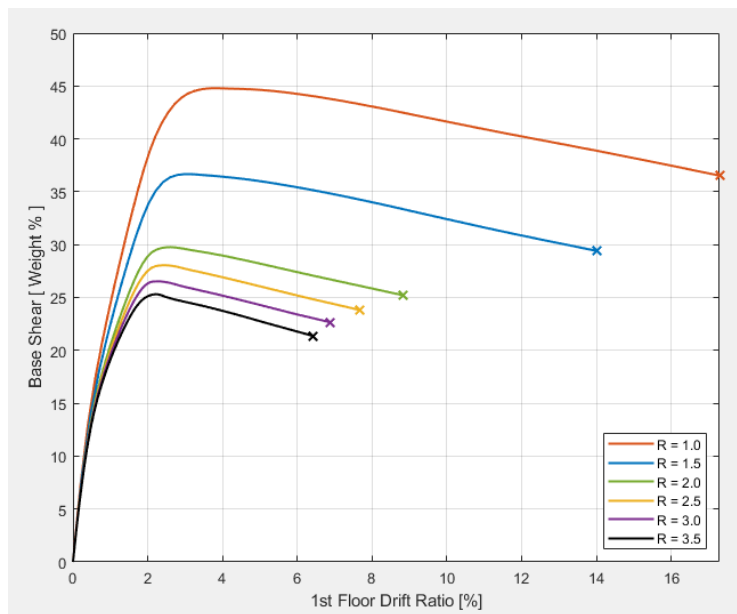


Figura 9: Curva Pushover para los distintos diseños realizados

El límite de fluencia de la superestructura se define a partir de la curva pushover que se obtiene del análisis no lineal. Se considera como referencia el punto en que el corte basal alcanza el 95 % de su valor máximo $V_{\max}$. Desde el origen (0,0) se traza una recta hasta ese punto, la cual representa el punto de fluencia asociado al primer piso de la estructura. A partir de allí, el comportamiento se describe mediante una rama descendente de la curva, y el límite de colapso se establece cuando el corte basal desciende hasta un valor equivalente al 80 % de $V_{\max}$, indicando la pérdida significativa de capacidad lateral resistente de la superestructura.

En la Tabla 10 se presentan los resultados del análisis pushover para distintos valores del factor de reducción R . Se incluyen los valores del cortante basal máximo normalizado respecto al peso de la estructura ($V_{\max}/W$), junto con los desplazamientos relativos de entrepiso correspondientes al inicio de la fluencia (Δ_y) y a la condición de colapso (Δ_u).

Tabla 10: Resultados de análisis pushover para distintos valores de R

R	$V_{\max}$ [W %]	Δ_y [%]	Δ_u [%]
1.0	44.79	2.05	17.20
1.5	36.66	1.67	15.10
2.0	29.76	1.52	9.80
2.5	28.05	1.46	8.60
3.0	26.52	1.33	7.85
3.5	25.31	1.29	6.00

6.3. Estimación de desempeño del modelo con aislación sísmica

En esta sección se presentan los resultados correspondientes a la estimación de los niveles de desempeño estructural a partir de los análisis no lineales efectuados en OpenSees. La evaluación se centra en la respuesta global de la estructura, utilizando como parámetro principal la deriva máxima de entrepiso y se evalúa respecto al límite de fluencia asociada al primer piso.

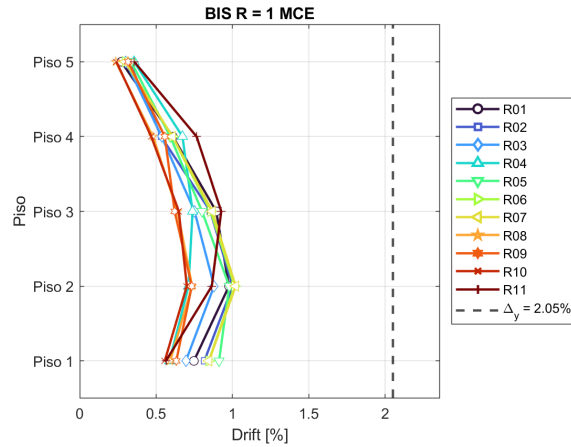


Figura 10: Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 1.0$

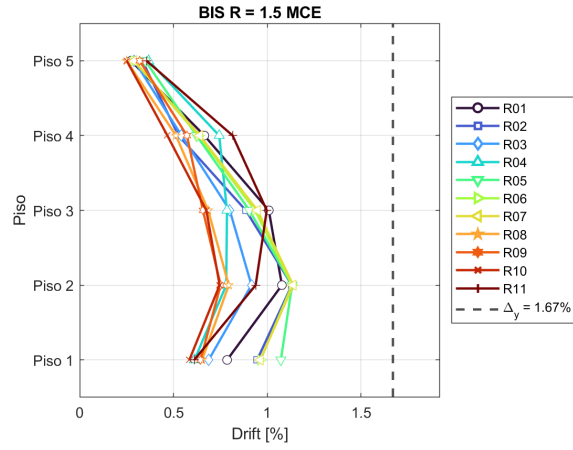


Figura 11: Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 1.5$

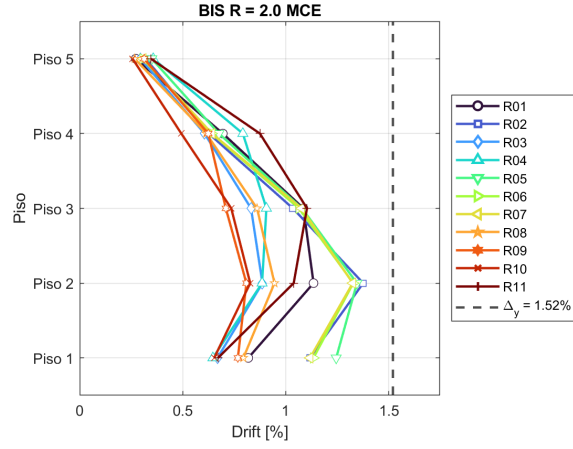


Figura 12: Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 2.0$

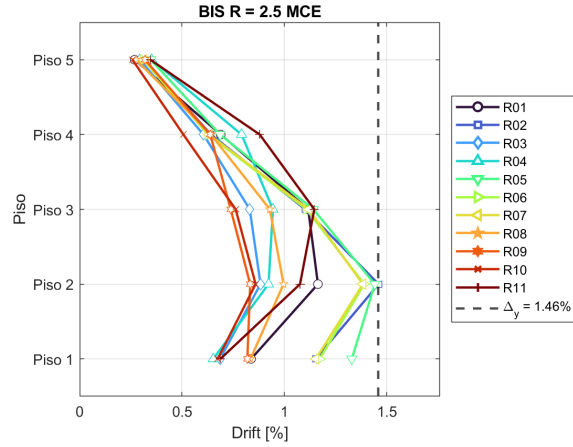


Figura 13: Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 2.5$

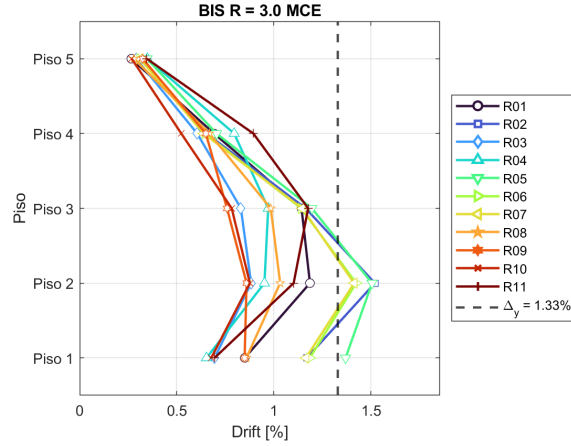


Figura 14: Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 3.0$

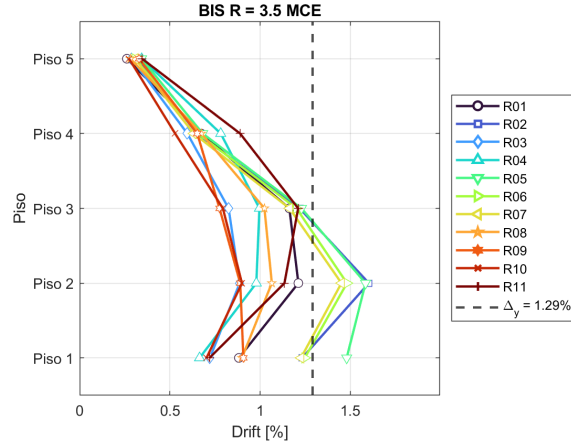


Figura 15: Respuesta estructural del modelo aislado para $R = 3.5$

Los resultados de los análisis no lineales en OpenSees muestran que, bajo el criterio de fluencia adoptado en la sección previa, algunos registros ingresan al rango inelástico. No obstante, dicho criterio proviene de un pushover estático y queda ligado al primer modo de vibrar, pues asume que el límite de deriva de entrepiso del primer nivel puede extrapolarse al resto. Esta simplificación puede omitir la contribución de modos superiores, cuya importancia aumenta al incrementar la rigidez suelo-estructura (no considerada en este estudio) (Du et al., 2018). En consecuencia, aunque el uso del límite de deriva del primer piso es una aproximación razonable para ese nivel, su validez para niveles superiores es incierta. Por ello, se explora un método adicional que cuantifica la no linealidad de manera global, evitando extrapolar la respuesta de un piso al conjunto de la superestructura.

6.3.1. Comparativa respuesta aislada y base fija

En este apartado, se presenta la comparación entre la respuesta estructural para el registro N°2 de el modelo aislado y en base fija para el diseño realizado con $R = 2.5$.

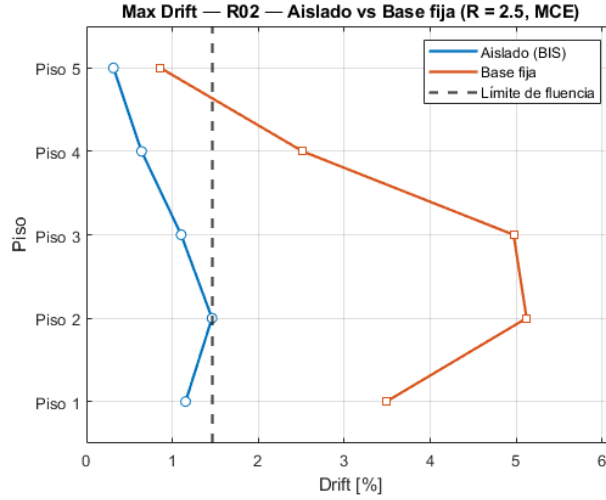


Figura 16: Comparación de respuesta estructural para modelo aislado y base fija

El gráfico muestra el efecto del aislamiento sísmico en la reducción de la demanda de drift, donde todos los pisos permanecen bajo el límite de fluencia. Esto significa que la energía sísmica se disipa principalmente en el sistema de aislamiento, evitando la formación de no linealidades en el modelo aislado según el criterio establecido por el pushover.

6.4. Curvas IDA y niveles de intensidad

Con el fin de caracterizar la respuesta de la superestructura, se implementa un modelo en base fija que reproduce la cinemática impuesta por el aislamiento del modelo original y se contrasta con este. Se utilizan registros MCE previamente escalados y se reescalan mediante factores $SF_{NL} = \{0.2, 0.5, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 3.0\}$ para simular distintos niveles de intensidad. Para cada SF_{NL} se trazan curvas tipo IDA de la superestructura en base fija, tomando como IM $Sa(T^*) \cdot SF_{NL}$ y como EDP principal la deriva de entrepiso del primer nivel Δ_1 . La consistencia del procedimiento se verifica en $SF_{NL} = 1.0$ comparando ambas respuestas y verificando que éstas sean similares, esto permite extrapolar a intensidades mayores sin que la no linealidad temprana de los aisladores afecte la respuesta global.

6.4.1. Respuesta global del modelo en base fija

A continuación, se presenta la respuesta global de la superestructura correspondiente al modelo en base fija, junto con los distintos diseños estructurales considerados, permitiendo evaluar de forma integral el comportamiento dinámico de cada configuración frente a las solicitaciones sísmicas.

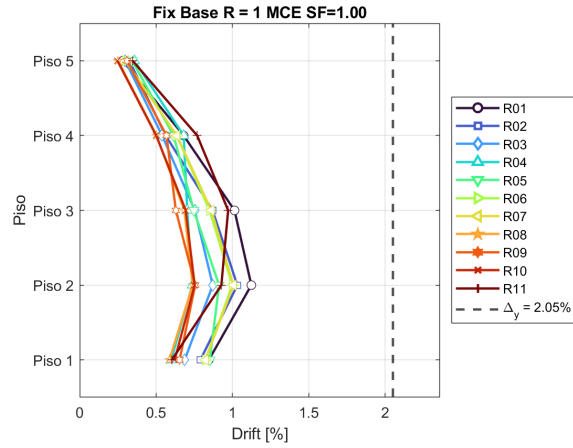


Figura 17: Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 1.0$

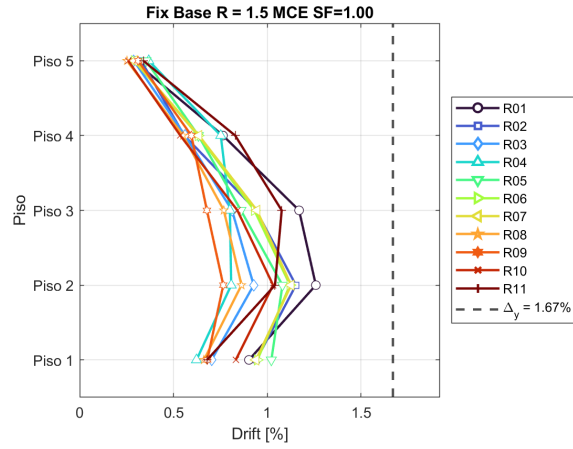


Figura 18: Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 1.5$

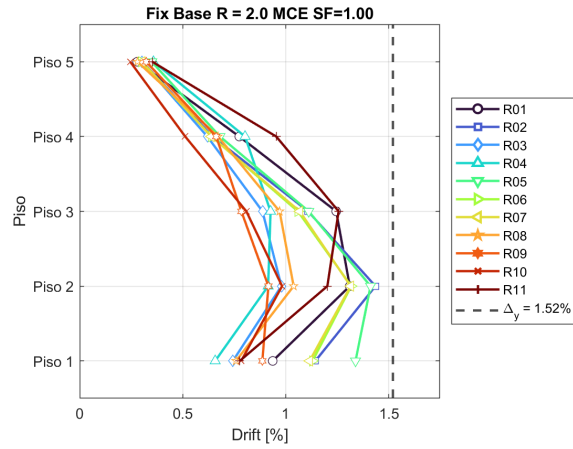


Figura 19: Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 2.0$

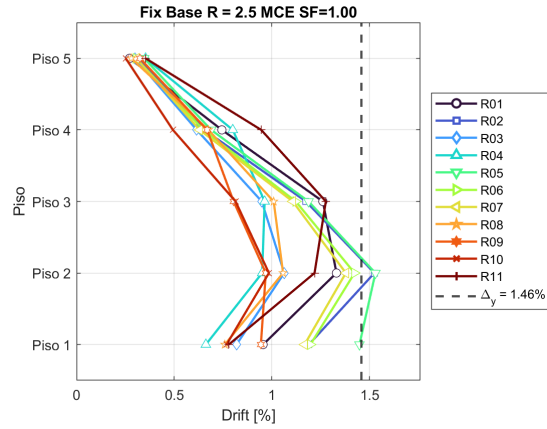


Figura 20: Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 2.5$

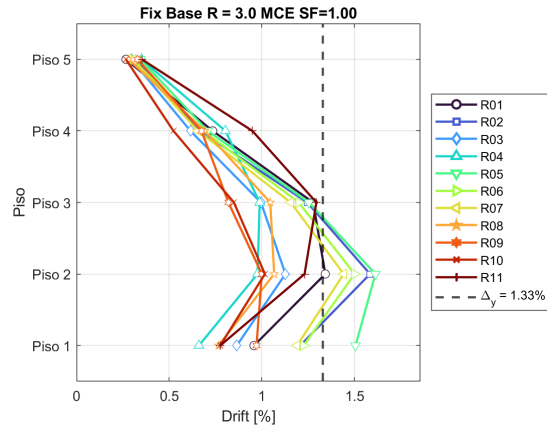


Figura 21: Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 3.0$

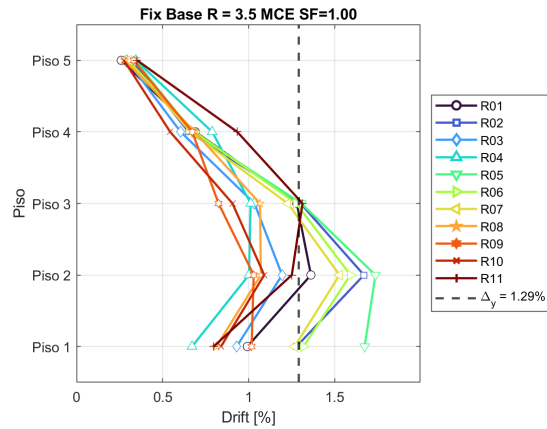
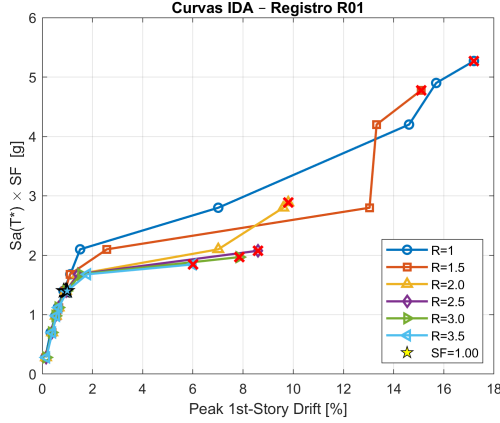


Figura 22: Respuesta estructural del modelo en base fija para $R = 3.5$

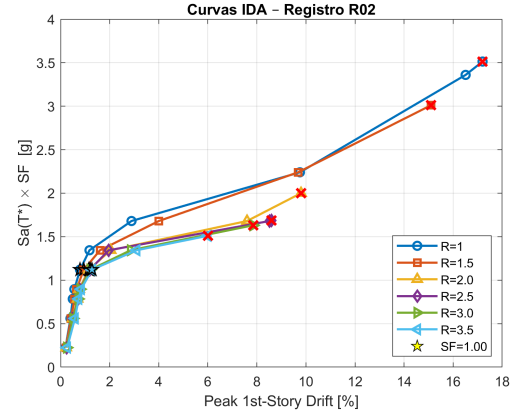
La respuesta global de la superestructura con base fija reproduce adecuadamente la del modelo aislado; en consecuencia, se valida su uso como representación equivalente del sistema aislado.

6.4.2. Curvas IDA

En esta sección se presentan las curvas IDA para los once registros MCE y los seis diseños considerados, con $R = \{1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5\}$. Las respuestas se obtienen con el modelo equivalente en base fija, usando como medida de intensidad $Sa(T^*) \cdot SF_{NL}$ y como demanda principal la deriva máxima de entrepiso del primer nivel. Cada registro se evalúa con $SF_{NL} = \{0.2, 0.5, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 3.0\}$. Las figuras se organizan por registro para comparar tendencias, sensibilidad a SF_{NL} y la influencia del parámetro R en la respuesta global.

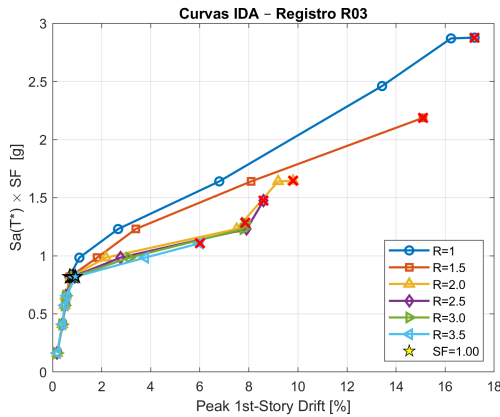


(a) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 1

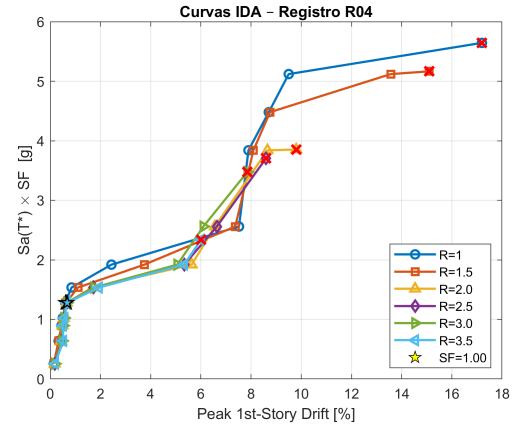


(b) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 2

Figura 23: Curvas IDA (1st floor drift) para registros 1 y 2

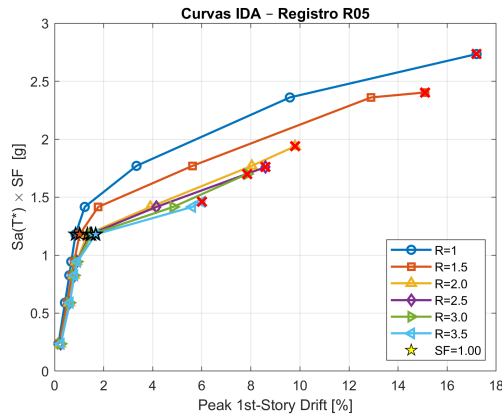


(a) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 3

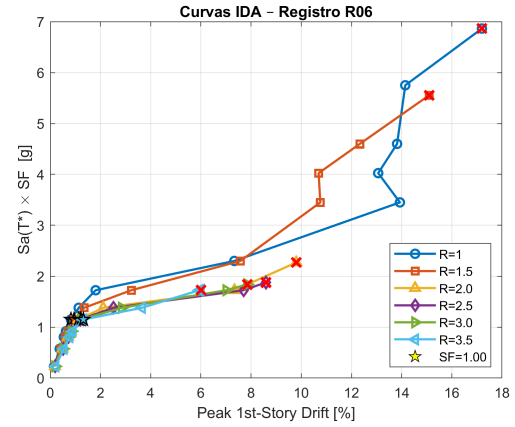


(b) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 4

Figura 24: Curvas IDA (1st floor drift) para registros 3 y 4

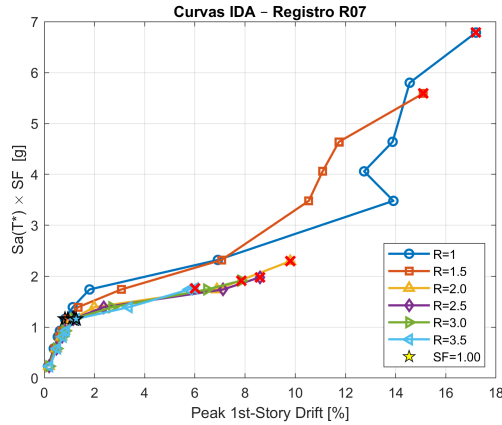


(a) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 5

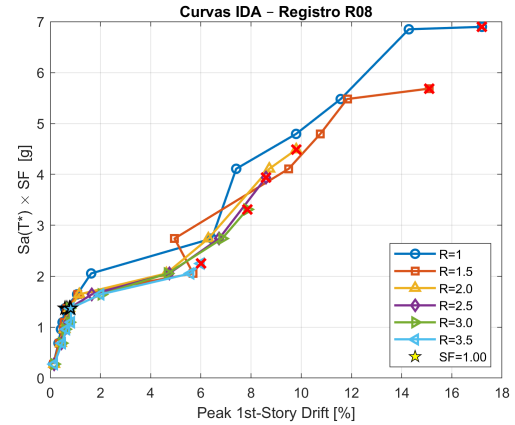


(b) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 6

Figura 25: Curvas IDA (1st floor drift) para registros 5 y 6

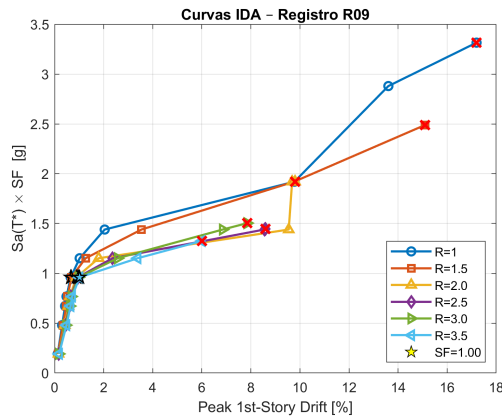


(a) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 7

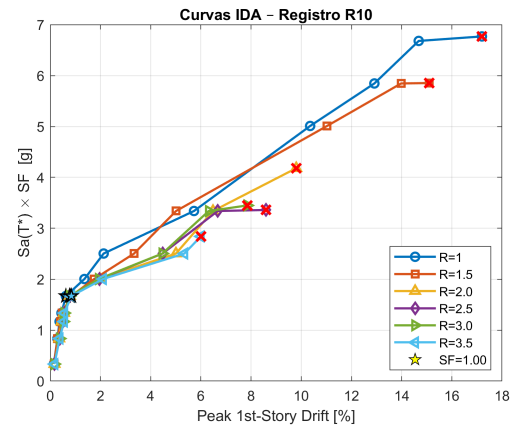


(b) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 8

Figura 26: Curvas IDA (1st floor drift) para registros 7 y 8



(a) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 9



(b) Curva IDA (1st floor drift) registro N° 10

Figura 27: Curvas IDA (1st floor drift) para registros 9 y 10

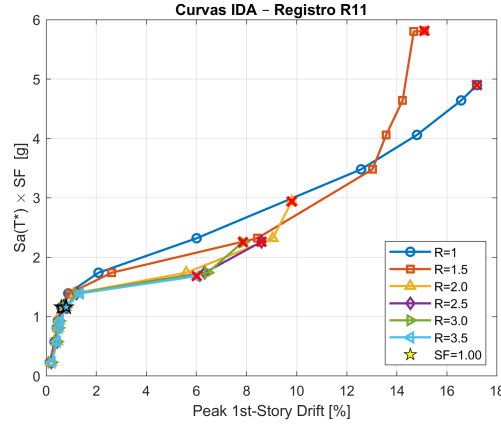
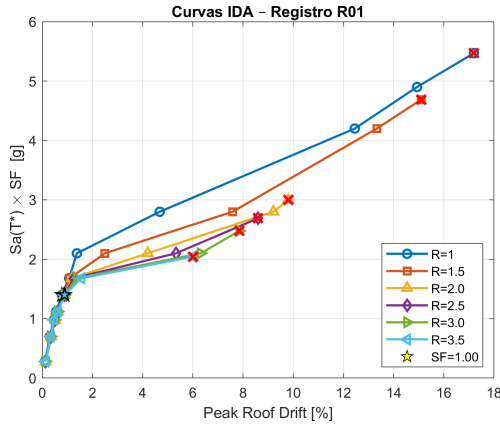
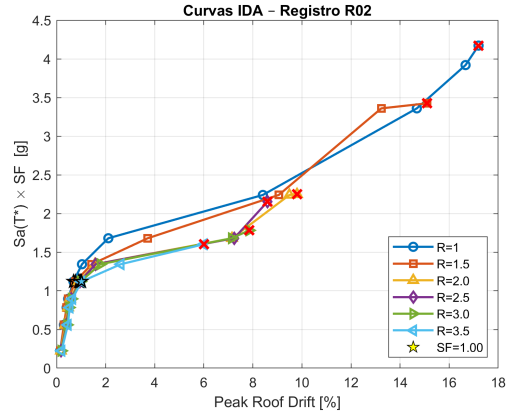


Figura 28: Curva IDA (1st floor drift) para registro 11

Todos estos resultados están asociados a la respuesta local del primer piso, debido a que la identificación del punto de fluencia proviene del análisis pushover y, por tanto, se encuentra condicionada por el comportamiento inicial de la superestructura. Sin embargo, una de las principales ventajas del IDA es su capacidad para describir la respuesta estructural de manera global. Por esta razón, se complementarán estos resultados incorporando el drift de techo como parámetro adicional, permitiendo evaluar la coherencia del comportamiento global con respecto a las estimaciones locales de fluencia y ampliar la interpretación del desempeño estructural.

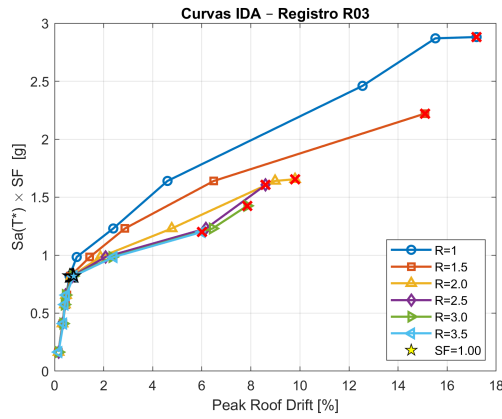


(a) Curva IDA (roof drift) registro N° 1

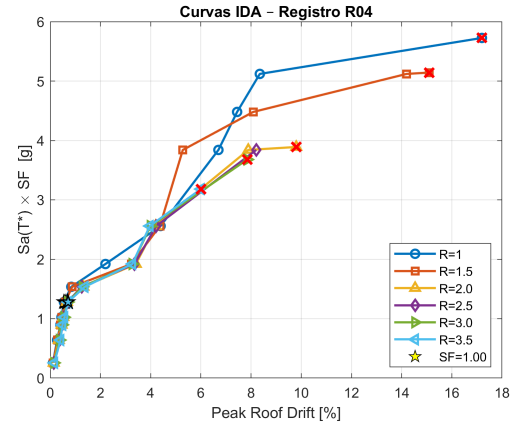


(b) Curva IDA (roof drift) registro N° 2

Figura 29: Curvas IDA (roof drift) para registros 1 y 2

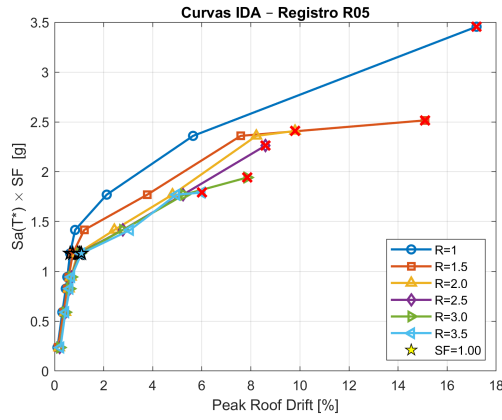


(a) Curva IDA (roof drift) registro N° 3

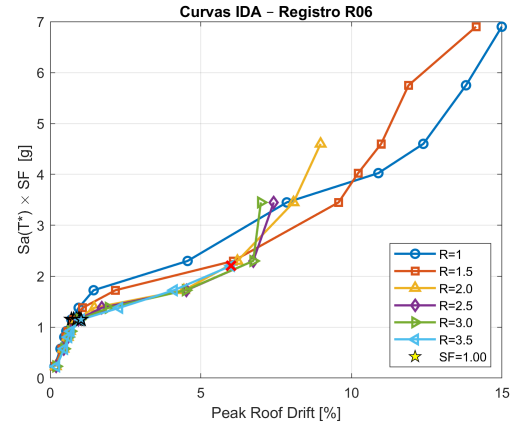


(b) Curva IDA (roof drift) registro N° 4

Figura 30: Curvas IDA (roof drift) para registros 3 y 4

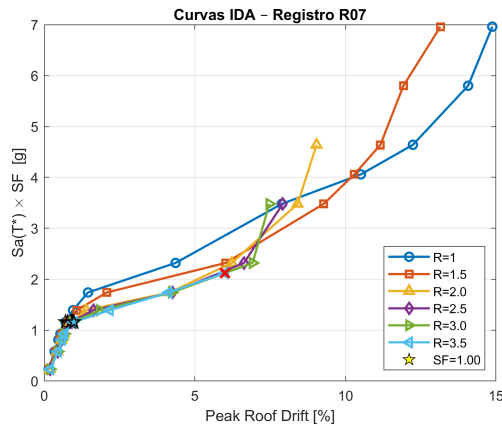


(a) Curva IDA (roof drift) registro N° 5

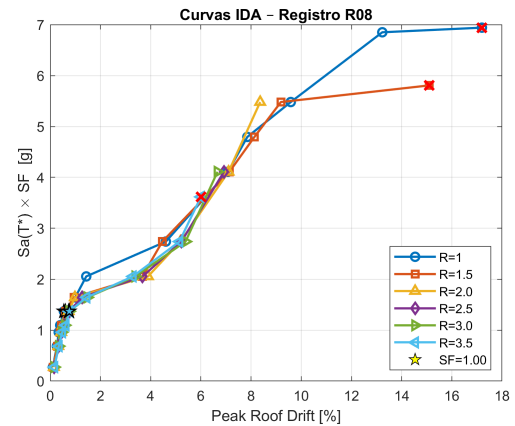


(b) Curva IDA (roof drift) registro N° 6

Figura 31: Curvas IDA (roof drift) para registros 5 y 6

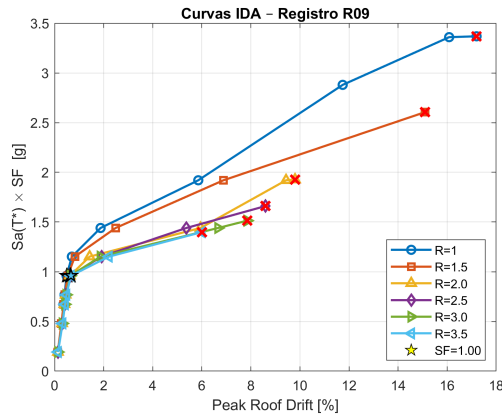


(a) Curva IDA (roof drift) registro N° 7

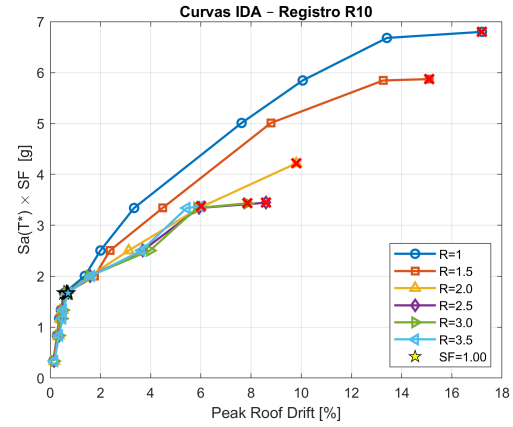


(b) Curva IDA (roof drift) registro N° 8

Figura 32: Curvas IDA (roof drift) para registros 7 y 8



(a) Curva IDA (roof drift) registro N^o 9



(b) Curva IDA (roof drift) registro N^o 10

Figura 33: Curvas IDA (roof drift) para registros 9 y 10

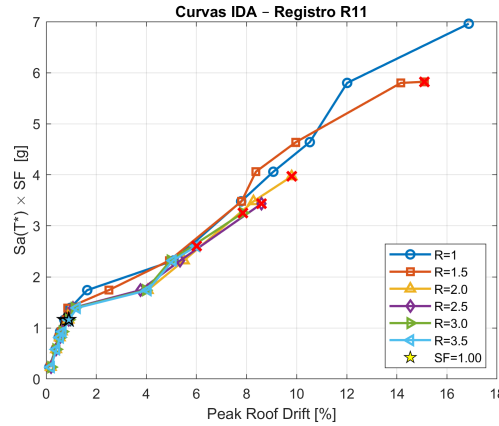


Figura 34: Curva IDA para registro 11

En términos generales, las curvas IDA muestran un tramo inicial lineal para los primeros factores de escala, tras el cual la pendiente disminuye y se inicia la respuesta no lineal. El punto de referencia con $SF_{NL} = 1$ se ubica dentro de ese régimen cuasi elástico. No obstante, es necesario establecer un criterio razonable para verificar la linealidad de la superestructura.

6.5. Estimación del límite lineal y límite de colapso

Este criterio es de base ingenieril y pragmática, no un método de identificación detallado, y busca verificar la linealidad combinando pushover e IDA. Primero, se define K_{ini} como la tangente al 22 % del cortante basal máximo y K_{cr} en torno al 75 %, con $r = K_{cr}/K_{ini}$ como el factor de cambio en la rigidez debido a fisuraciones tempranas.

Se presenta la figura 35 en el cuál se muestra gráficamente la definición de este parámetro.

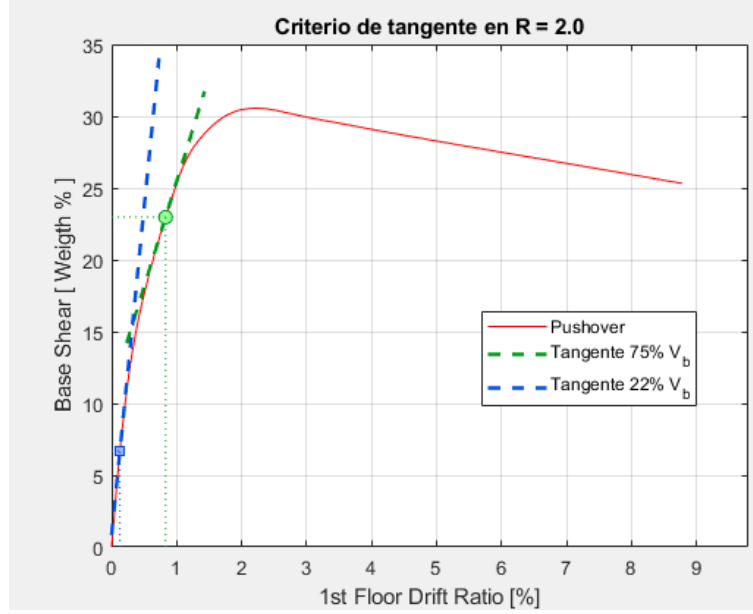


Figura 35: Definición del parámetro r

En el rango tipo DBE ($SF_{NL} \leq 0.7$) se ajusta una recta por el origen con los tres primeros puntos de la curva IDA, $y_{ref}(EDP) = m_{ref} EDP$, y para recoger la dispersión compatible con fisuración inicial se trazan bandas con igual origen y pendientes $\alpha^- m_{ref}$ y $\alpha^+ m_{ref}$, donde $\alpha^- = \frac{1}{2}(1 - r)$ y $\alpha^+ = \frac{1}{2}(1 + r)$, de modo que la respuesta se considera lineal si el punto de la curva IDA con $SF_{NL} = 1.0$ queda dentro de dichas bandas y se interpreta inicio de no linealidad en caso contrario.

A continuación, se presenta un ejemplo de la definición de linealidad para el primer registro y todos los diseños considerados (para ver más ejemplos revisar Apéndice).

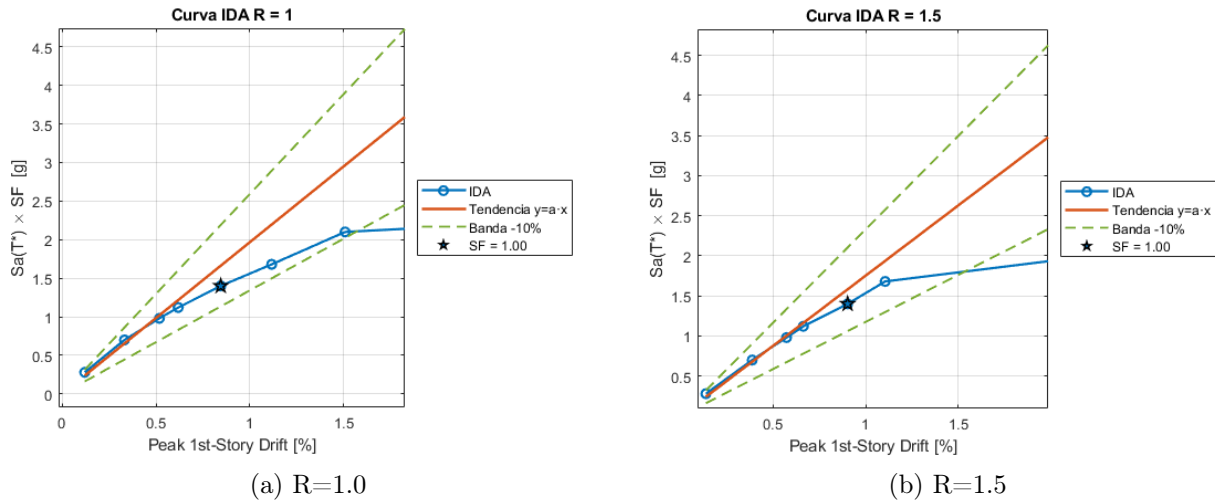


Figura 36: Definición de no linealidad para el registro N°1 y diseños $R = 1.0$ y $R = 1.5$

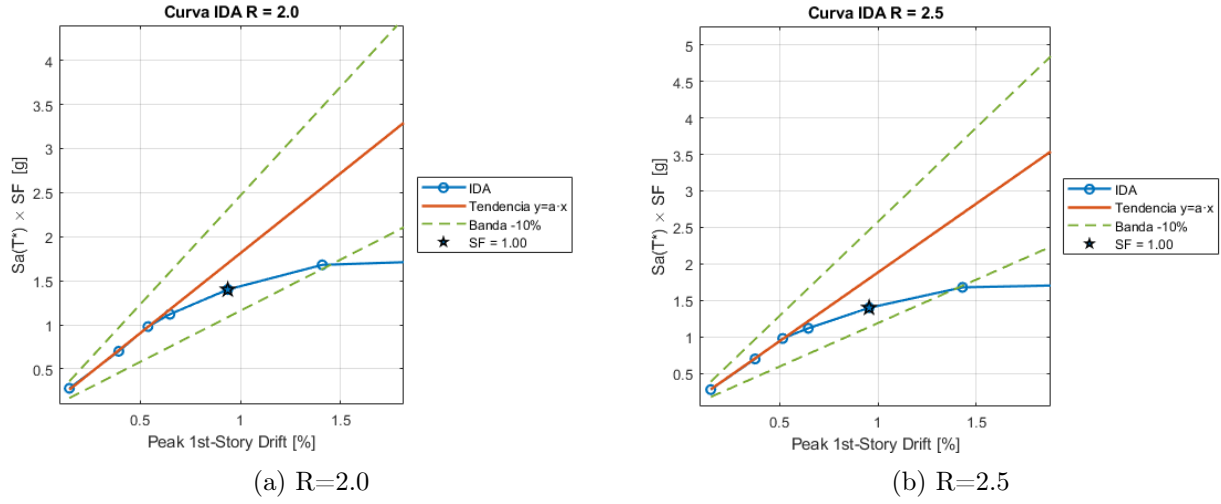


Figura 37: Definición de no linealidad para el registro N°1 y diseños R = 2.0 y R = 2.5

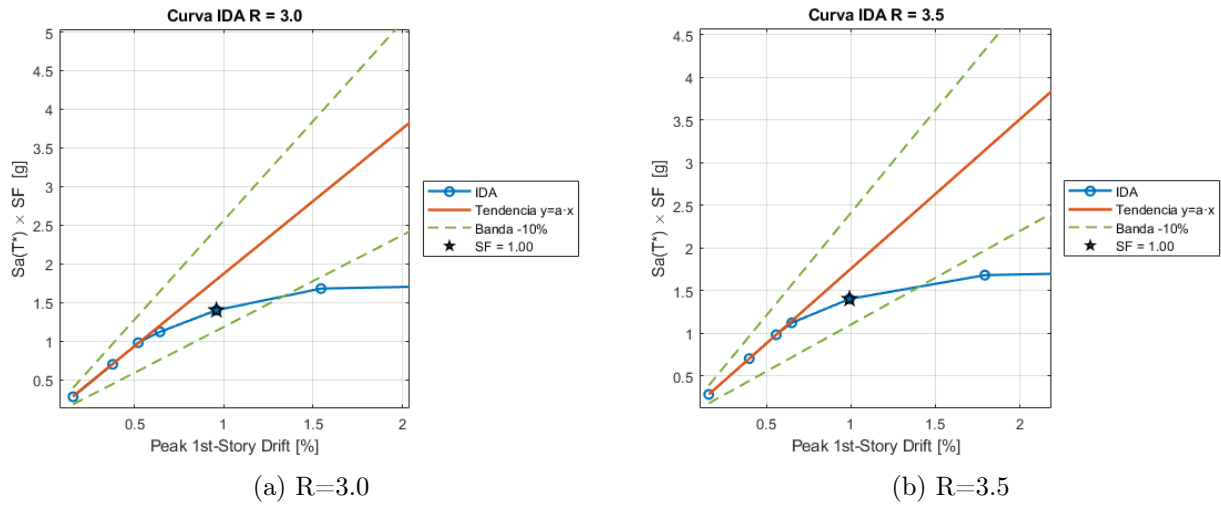


Figura 38: Definición de no linealidad para el registro N°1 y diseños R = 3.0 y R = 3.5

Teniendo en cuenta el nivel de intensidad que hace que el comportamiento estructural salga del rango lineal definido, se propone el factor de linealidad como $\frac{SA_{NL}}{SA_{SF=1.00}}$, donde SA_{NL} es la intensidad espectral que marca la no linealidad y $SA_{SF=1.00}$ es la intensidad espectral asociada a un nivel MCE. Este índice cuantifica el margen disponible y equivale al factor por el que habría que escalar el registro para obtener respuestas no lineales. Para caracterizar su variabilidad entre registros y compararlo entre diseños, se construirá un diagrama de caja y bigotes por diseño, donde la línea central representa la mediana, la caja los cuartiles Q_1-Q_3 y los bigotes el rango típico, identificando valores atípicos; esta representación es robusta a extremos y permite evaluar de forma sintética la tendencia central y la dispersión del factor de linealidad.

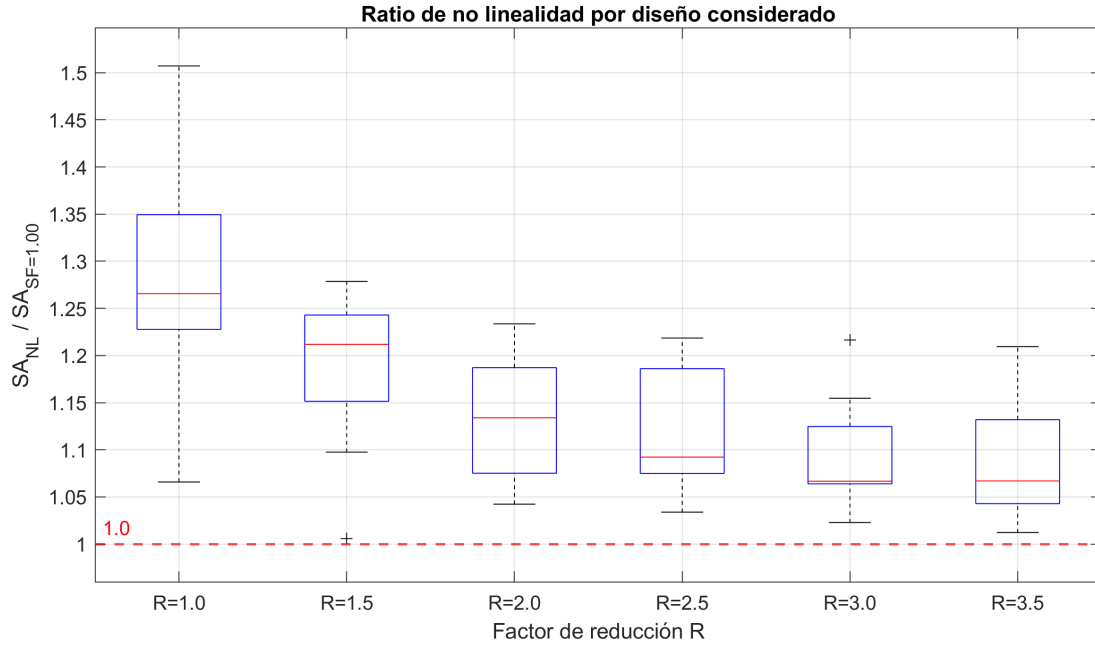


Figura 39: Diagrama de caja y bigotes del ratio de no linealidad por R

Para colapso, se emplea $SA_{col}/SA_{SF=1.00}$, que indica el factor de intensidad necesario para alcanzar colapso respecto del caso MCE. El límite de colapso se adopta desde el pushover, usando el umbral Δ_u definido para la superestructura. La variabilidad entre registros y la comparación entre diseños R se muestran con diagramas de caja y bigotes por diseño (mediana y cuartiles Q_1-Q_3). Dado que el foco del estudio es la no linealidad, el umbral de pushover se utiliza solo como referencia operativa de colapso y no como una caracterización integral del mismo.

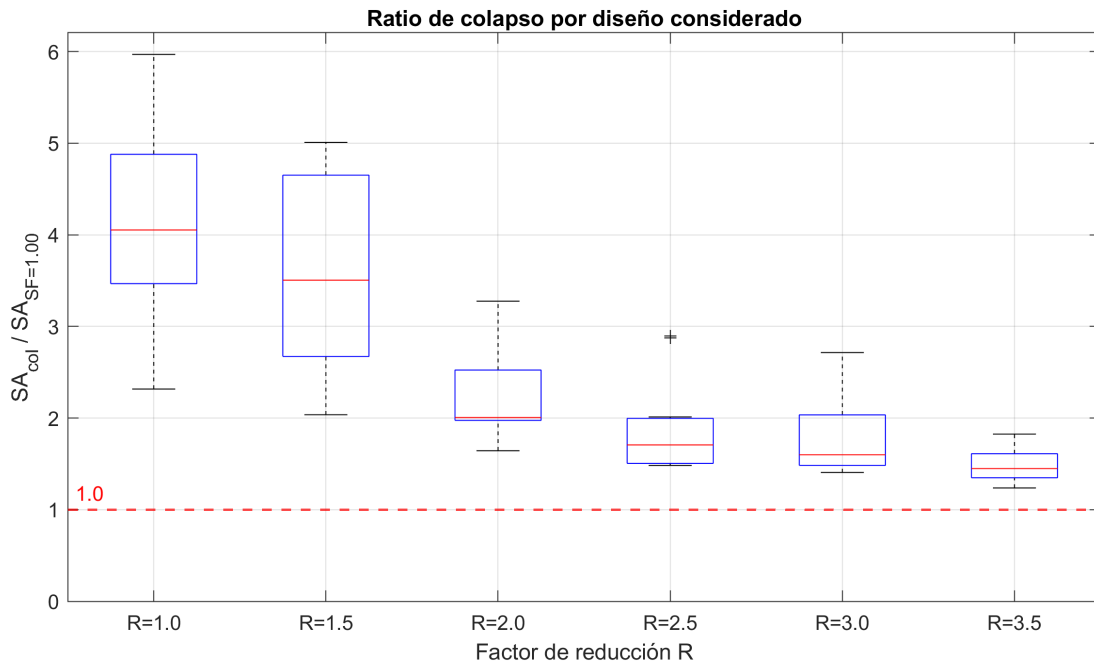


Figura 40: Diagrama de caja y bigotes del ratio de colapso por R

En los gráficos de caja y bigote se aprecia que, respecto al valor crítico igual a 1, la respuesta estructural presenta un margen suficiente entre la condición lineal y el estado de colapso. Este margen representa la “reserva” de comportamiento elástico disponible. La distribución de los resultados sobre este umbral demuestra que, incluso ante demandas sísmicas elevadas, la superestructura conserva un comportamiento predominantemente lineal y alejado del colapso.

7. Conclusiones

En esta investigación se estudió el desempeño sísmico de edificios de hormigón armado aislados mediante dispositivos LRB, enfocándose en determinar cómo varía la incursión no lineal de la superestructura al modificar el factor de reducción R . Para ello, se desarrollaron y diseñaron diferentes estructuras con valores R entre 1.0 y 3.5, cumpliendo las exigencias de las normativas vigentes. Posteriormente, se construyeron modelos no lineales en base fija y con aislamiento en su configuración real, evaluando su respuesta mediante análisis pushover y mediante un análisis IDA con once registros sísmicos escalados. Este conjunto de análisis permitió comprobar, de forma consistente, que todas las estructuras permanecieron dentro del rango lineal para los niveles de demanda considerados. Las principales conclusiones de este estudio son:

1. Tal como se esperaba, los análisis mostraron que el aislamiento concentra los desplazamientos en el plano aislado y reduce de forma significativa las demandas en la superestructura. Esta respuesta coherente con el comportamiento típico de sistemas LRB confirma que el diseño prescriptivo y la modelación no lineal fueron desarrollados e implementados correctamente.
2. Para verificar la correcta simulación no lineal de la superestructura, se realizaron análisis en base fija utilizando las aceleraciones absolutas registradas en los aisladores, logrando derivas del orden del 5 % para una intensidad tipo MCE. Estos resultados son consistentes con estudios previos y entregan evidencia de que la modelación no lineal reproduce adecuadamente la respuesta esperada.
3. La evaluación inicial basada en los drifts máximos mostró que para valores de R hasta 2.5 todos los registros quedaron bajo el umbral, mientras que para $R = 3.0$ y 3.5 cuatro de los once lo superaron. Este enfoque resulta limitado porque el umbral proviene del drift de fluencia del primer piso —aunque los excedimientos ocurrieron en niveles superiores— y se definió mediante un análisis pushover estático. Por estas razones, se adoptó la metodología IDA para establecer límites de linealidad desde una perspectiva dinámica y más representativa de la respuesta global.
4. En el modelo aislado, el punto de referencia con $SF = 1.0$ se ubica en régimen cuasi elástico según las curvas IDA, por tanto, a un nivel de intensidad MCE no se observa una entrada a la no linealidad de la superestructura.
5. El índice de margen de linealidad utilizado, $\frac{S_{ANL}}{S_{A_{SF=1.00}}}$, evidencia que para los valores de R estudiados la superestructura conserva capacidad remanente antes de alcanzar la no linealidad. Esta observación permite interpretar de manera cuantitativa hasta qué punto es posible aumentar R respecto de 1 manteniendo un comportamiento estructural seguro.
6. Un aspecto relevante es que, a pesar de utilizar diferentes valores de R , todos los modelos alcanzan la no linealidad a intensidades similares. Esto resulta coherente con que R modifica principalmente el comportamiento postfluencia, por lo que antes de fluir las estructuras deberían presentar respuestas parecidas, lo que efectivamente se observa en los resultados.
7. El ingreso a la no linealidad en la superestructura no implica un colapso inminente ni una pérdida abrupta de capacidad lateral resistente. Aun cuando las curvas IDA presentan un cambio de pendiente, se mantiene una rigidez residual y una capacidad remanente suficientes para sostener incrementos adicionales de demanda. Además, aunque R no modifica los márgenes de linealidad, sí afecta de manera significativa el margen de colapso: este varía desde valores

cercanos a 1.5 para $R = 3.5$ hasta aproximadamente 4 para $R = 1.0$. Esta diferencia sugiere que la selección de R debería relacionarse con la probabilidad de colapso que se busca aceptar, aunque dicho análisis excede los alcances de este trabajo.

8. El descenso de cuantías longitudinales al aumentar R es claro en columnas y vigas sin que se observe una penalización en desempeño de la superestructura. Esto sugiere margen para optimizar material y disminuir costos.

Este estudio utiliza una estructura 2D y una tipología regular, por lo que resulta pertinente considerar en investigaciones posteriores otras alturas, configuraciones irregulares y distintos tipos de suelos. Asimismo, sería valioso incorporar una perspectiva probabilística que permita vincular de manera explícita la elección del factor R con la probabilidad de colapso aceptable. Finalmente, se requiere avanzar hacia una definición más rigurosa del límite de colapso: en este trabajo se adoptó el drift asociado a una reducción de resistencia obtenida mediante un pushover, pero lo adecuado sería derivar dicho límite desde la respuesta dinámica o establecer un criterio basado en el crecimiento no acotado de la curva IDA.

Referencias

- Abdi, H., Hejazi, F., & Jaafar, M. S. (2019). Response modification factor - Review paper. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 357. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012003>
- ACHISINA. (2017). Diseño sísmico basado en desempeño: Un procedimiento alternativo para el análisis y diseño sísmico de edificios. *ACHISINA*, 1-23.
- ASCE. (2022). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
- Awchat, G., Patil, A., More, A., & Dhanjode, G. (2023). Incremental Dynamic Analysis and Seismic Fragility Analysis of Reinforced Concrete Frame. *Civil and Environmental Engineering*, 19. <https://doi.org/10.2478/cee-2023-0039>
- Bozorgnia, Y., Kishida, T., Abrahamson, N. A., Ahdi, S. K., Ancheta, T. D., Archuleta, R. J., Atkinson, G., Boore, D. M., Campbell, K. W., Chiou, B., Contreras, V., Darragh, R., Gregor, N., Gulerce, Z., Idriss, I. M., Ji, C., Kamai, R., Kuehn, N., Kwak, D. Y., ... Youngs, R. R. (2018). Nga-subduction research program. *11th National Conference on Earthquake Engineering 2018, NCEE 2018: Integrating Science, Engineering, and Policy*, 1.
- Du, D. S., Wang, S. G., Liu, W. Q., Shi, S., Lee, C. P., & Xu, J. (2018). Modal property of base-isolated high-rise structure considering soil-structure interaction effect. *Advances in Mechanical Engineering*, 10. <https://doi.org/10.1177/1687814018803808>
- GÜNEŞ, N. (2020). Comparison of monotonic and cyclic pushover analyses for the near-collapse point on a mid-rise reinforced concrete framed building. *Earthquake and Structures*, 19. <https://doi.org/10.12989/eas.2020.19.3.189>
- Hassan, A. A., & Yasin, A. A. (2023). Pushover Analysis of Multi-Story Reinforced Concrete Frame Structure. *Journal of Economics & Management Research*. [https://doi.org/10.47363/jesmr/2023\(4\)175](https://doi.org/10.47363/jesmr/2023(4)175)
- Kelly, J. M. (1997). *Earthquake-Resistant Design with Rubber*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0971-6>
- Mazzoni, F., M., M.H., S., & G.L., F. (2009). OpenSEES: Open System for earthquake engineering simulation.
- Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). Design of seismic isolated Structures: from theory to practice. *Earthquake Spectra*, 16.
- Vassiliou, M. F., Tsiavos, A., & Stojadinović, B. (2013). Dynamics of inelastic base-isolated structures subjected to analytical pulse ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 42, 2043-2060. <https://doi.org/10.1002/eqe.2311>
- Wang, H., Guo, X., Luo, C., Zhao, J., & Feng, H. (2024). Life-Cycle Cost Assessment of the Base-Isolated Reinforced Concrete Structure. *Journal of Earthquake and Tsunami*. <https://doi.org/10.1142/s179343112450026x>

A. Apéndice

A.1. Diseño de vigas y columnas para $R = 1$

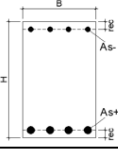
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)									
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 1		PISO	1	FICHA N°	B1		
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN		Todas las vigas del piso		Fecha	10/09/2025
FIGURA				GEOMETRÍA		MATERIALES			
				B = 55 cm		Hormigón			
				H = 70 cm		f _c = 350 kgf/cm ²			
				rec = 6.7 cm		E _c = 282495 kgf/cm ²			
				d _{ef} = 63.3 cm		Acero			
				L _n = 800 cm		f _y = 4200 kgf/cm ²			
						E _s = 2100000 kgf/cm ²			
VERIFICACIÓN				CANTIDAD					
Datos de armadura longitudinal		A _{s-}		46.5		4φ28+4φ25+2φ12 cm ²			
		A _{s+}		30.4		4φ22+4φ22 cm ²			
Armadura longitudinal requerida por análisis		A _{s-req}		46.5		cm ²			
		A _{s+req}		27.3		cm ²			
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		A _{s-} ⁺ _{min}		11.6		OK cm ²			
		A _{s-} _{min}		11.6		OK cm ²			
		A _{s-} ⁺ _{max}		87.1		OK cm ²			
Deformación del acero en tracción		ε _{s-}		0.010		OK			
		ε _{s+}		0.016		OK			
		ε _{s min}		0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		M _{u- crit}		100.8		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ M _{n-}		100.9		OK tonf · m			
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		M _{u+ crit}		61.8		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ M _{n+}		68.3		OK tonf · m			
		φ M _n / 2		50.4		OK tonf · m			

Figura 41: Diseño de vigas del primer piso $R = 1.0$

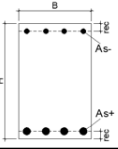
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)									
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 1		PISO	2, 3 y 4	FICHA N°	B2		
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN		Todas las vigas del piso		Fecha	10/09/2025
FIGURA				GEOMETRÍA		MATERIALES			
				B = 55 cm		Hormigón			
				H = 70 cm		f'c = 350 kgf/cm²			
				rec = 6.7 cm		Ec = 282495 kgf/cm²			
				dEf = 63.3 cm		Acero			
Ln = 800 cm		fy = 4200 kgf/cm²							
						Es = 2100000 kgf/cm²			
VERIFICACIÓN				CANTIDAD					
Datos de armadura longitudinal		As-		66.6		4φ32+4φ28+2φ25 cm²			
		As+		39.3		4φ25+4φ25 cm²			
Armadura longitudinal requerida por análisis		As- req		64.7		cm²			
		As+ req		39.0		cm²			
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		As- min		11.6		OK cm²			
		As- max		11.6		OK cm²			
		As+ min		87.1		OK cm²			
		As+ max		87.1		OK cm²			
Deformación del acero en tracción		εs-		0.006		OK			
		εs+		0.012		OK			
		εs min		0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		Mu- crit		134.6		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ Mu-		137.9		OK tonf · m			
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		Mu+ crit		86.0		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ Mu+		86.5		OK tonf · m			
		φ Mn / 2		69.0		OK tonf · m			

Figura 42: Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 1.0$

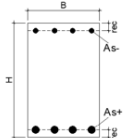
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)					
PROYECTO	HOSPITAL AISLADO R = 1	PISO	5 y 6	FICHA Nº	B3
ELEMENTO	V55/70	UBICACIÓN	Todas las vigas del piso	Fecha	10/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA	MATERIALES		
		B = 55 cm	Hormigón	$f'_c =$	350 kgf/cm ²
		H = 70 cm		$E_c =$	282495 kgf/cm ²
		rec = 6.7 cm	Acero	$f_y =$	4200 kgf/cm ²
		$d_{ef} =$ 63.3 cm		$E_s =$	2100000 kgf/cm ²
		$L_v =$ 800 cm			
VERIFICACIÓN		CANTIDAD			
Datos de armadura longitudinal	A_{s-}	29.7	4 ϕ 28+2 ϕ 18		
	A_{s+}	19.6	4 ϕ 25		
Armadura longitudinal requerida por análisis	A_{s-req}	29.4			
	A_{s+req}	10.9			
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)	A_{s-}^{min}	11.6	OK		
	A_{s-}^{min}	11.6	OK		
	A_{s-}^{max}	87.1	OK		
Deformación del acero en tracción	ϵ_{s-}	0.017	OK		
	ϵ_{s+}	0.027	OK		
	ϵ_{smin}	0.005			
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión	M_{u-}^{crit}	66.1	tonf · m		
	ϕ	0.9			
	ϕM_n	66.9	OK tonf · m		
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión	M_{u+}^{crit}	25.5	tonf · m		
	ϕ	0.9			
	ϕM_n	45.1	OK tonf · m		
	$\phi Mn/2$	33.4	OK tonf · m		

Figura 43: Diseño de vigas del cuarto y quinto piso R = 1.0

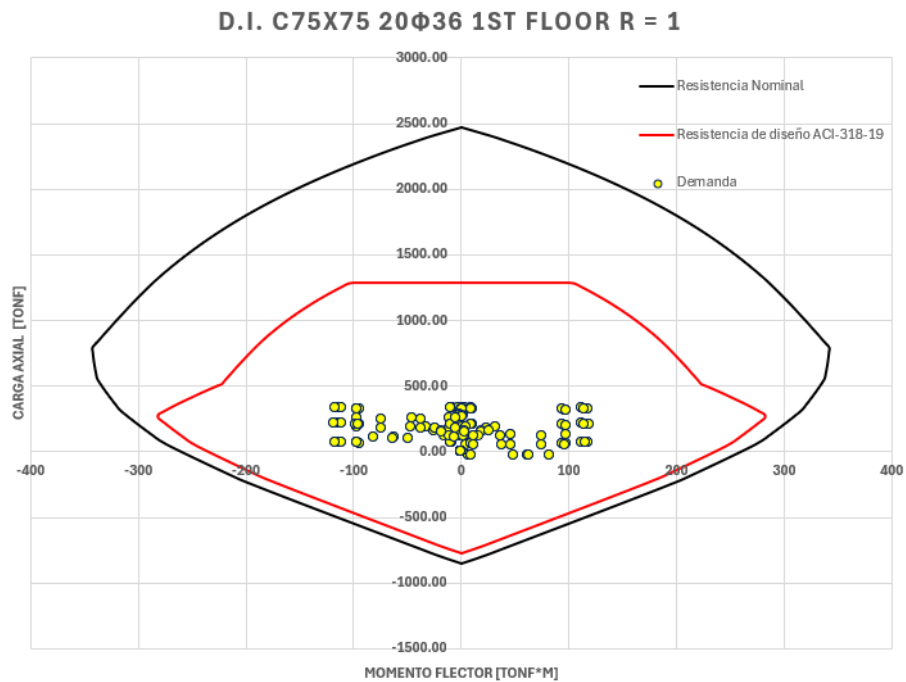


Figura 44: Diseño de columnas del primer piso R = 1.0

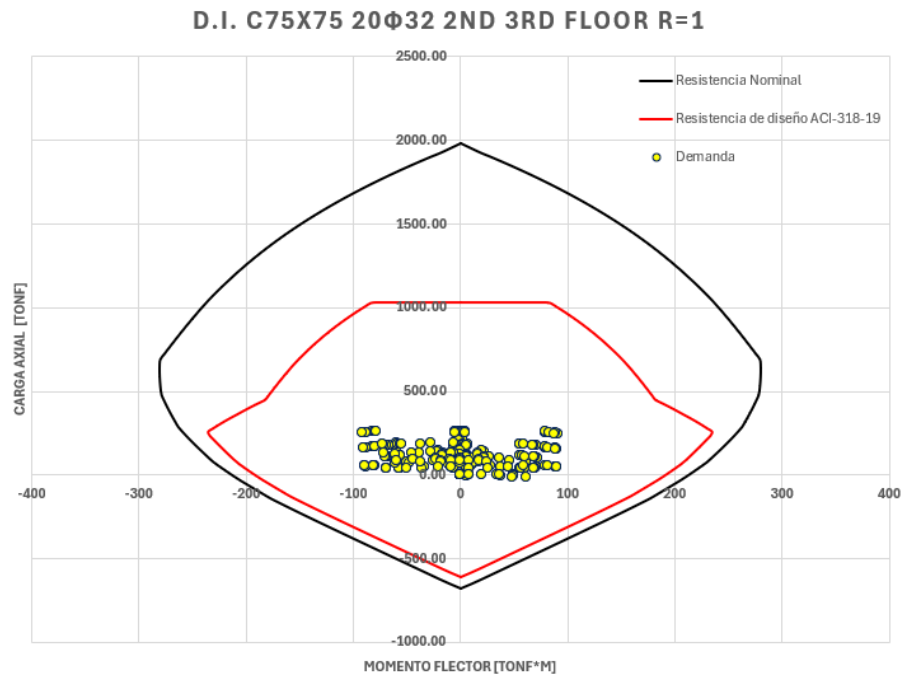


Figura 45: Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 1.0$

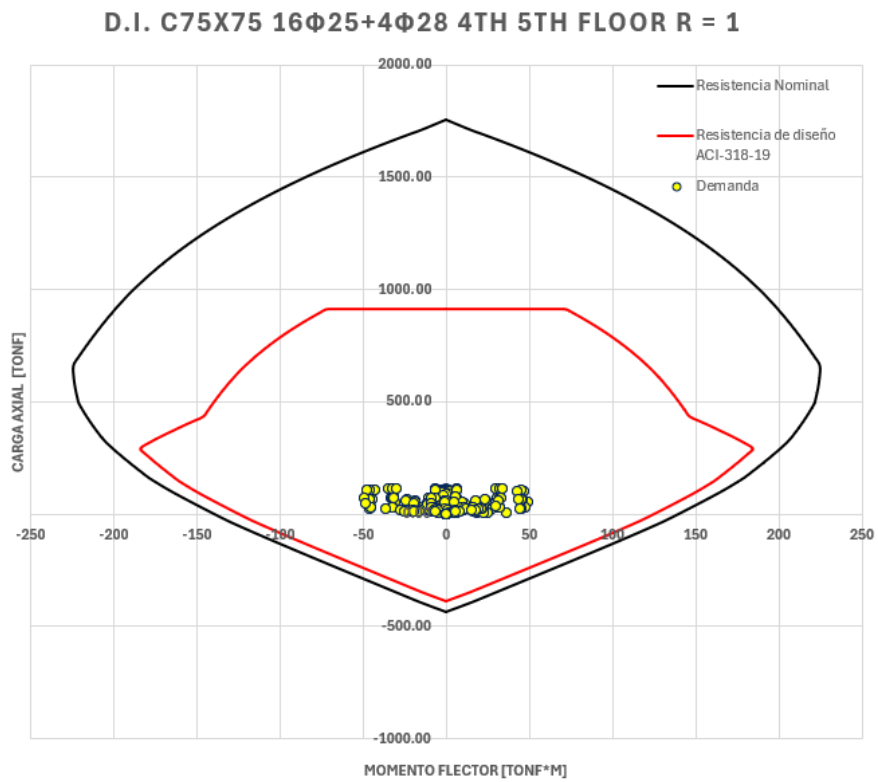


Figura 46: Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 1.0$

A.2. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 1$

<table><tr><td>Nodo 1</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 254.155717 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 166.500031 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 1	ΣM_{lc} 254.155717 [tonf*m]	ΣM_{nv} 166.500031 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>Nodo 2</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 275.661 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 2	ΣM_{lc} 275.661 [tonf*m]	ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>Nodo 3</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 276.3829 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 3	ΣM_{lc} 276.3829 [tonf*m]	ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>Nodo 4</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 275.661 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 4	ΣM_{lc} 275.661 [tonf*m]	ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>Nodo 5</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 254.1557 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 166.5 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 5	ΣM_{lc} 254.1557 [tonf*m]	ΣM_{nv} 166.5 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.
Nodo 1																								
ΣM_{lc} 254.155717 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 166.500031 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
Nodo 2																								
ΣM_{lc} 275.661 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
Nodo 3																								
ΣM_{lc} 276.3829 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
Nodo 4																								
ΣM_{lc} 275.661 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 259.6067 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
Nodo 5																								
ΣM_{lc} 254.1557 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 166.5 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
<table><tr><td>Nodo 6</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 442.935796 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 166.500031 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 6	ΣM_{lc} 442.935796 [tonf*m]	ΣM_{nv} 166.500031 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>Nodo 7</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 477.0931 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 7	ΣM_{lc} 477.0931 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>Nodo 8</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 478.054 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 8	ΣM_{lc} 478.054 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>Nodo 9</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 477.0931 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 9	ΣM_{lc} 477.0931 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>Nodo 10</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 442.9358 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 199.8 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 10	ΣM_{lc} 442.9358 [tonf*m]	ΣM_{nv} 199.8 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.
Nodo 6																								
ΣM_{lc} 442.935796 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 166.500031 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
Nodo 7																								
ΣM_{lc} 477.0931 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
Nodo 8																								
ΣM_{lc} 478.054 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
Nodo 9																								
ΣM_{lc} 477.0931 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.758 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
Nodo 10																								
ΣM_{lc} 442.9358 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 199.8 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
<table><tr><td>11</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 379.799224 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 213.600581 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	11	ΣM_{lc} 379.799224 [tonf*m]	ΣM_{nv} 213.600581 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>12</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 400.31 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	12	ΣM_{lc} 400.31 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>13</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 400.58 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	13	ΣM_{lc} 400.58 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>14</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 400.31 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	14	ΣM_{lc} 400.31 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>15</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 379.80 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 213.60 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	15	ΣM_{lc} 379.80 [tonf*m]	ΣM_{nv} 213.60 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.
11																								
ΣM_{lc} 379.799224 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 213.600581 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
12																								
ΣM_{lc} 400.31 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
13																								
ΣM_{lc} 400.58 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
14																								
ΣM_{lc} 400.31 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
15																								
ΣM_{lc} 379.80 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 213.60 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
<table><tr><td>16</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 331.125104 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 213.600581 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	16	ΣM_{lc} 331.125104 [tonf*m]	ΣM_{nv} 213.600581 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>17</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 344.11 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	17	ΣM_{lc} 344.11 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>18</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 344.30 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	18	ΣM_{lc} 344.30 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>19</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 344.11 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	19	ΣM_{lc} 344.11 [tonf*m]	ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>20</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 331.1251 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 213.6006 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	20	ΣM_{lc} 331.1251 [tonf*m]	ΣM_{nv} 213.6006 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.
16																								
ΣM_{lc} 331.125104 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 213.600581 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
17																								
ΣM_{lc} 344.11 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
18																								
ΣM_{lc} 344.30 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
19																								
ΣM_{lc} 344.11 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 333.76 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
20																								
ΣM_{lc} 331.1251 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 213.6006 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
<table><tr><td>21</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 279.716326 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 124.181816 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	21	ΣM_{lc} 279.716326 [tonf*m]	ΣM_{nv} 124.181816 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>22</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 286.92 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	22	ΣM_{lc} 286.92 [tonf*m]	ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>23</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 287.11 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	23	ΣM_{lc} 287.11 [tonf*m]	ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>24</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 286.92 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	24	ΣM_{lc} 286.92 [tonf*m]	ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	<table><tr><td>25</td></tr><tr><td>ΣM_{lc} 279.7163 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv} 124.1818 [tonf*m]</td></tr><tr><td>Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	25	ΣM_{lc} 279.7163 [tonf*m]	ΣM_{nv} 124.1818 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.
21																								
ΣM_{lc} 279.716326 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 124.181816 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
22																								
ΣM_{lc} 286.92 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
23																								
ΣM_{lc} 287.11 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
24																								
ΣM_{lc} 286.92 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 186.75 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								
25																								
ΣM_{lc} 279.7163 [tonf*m]																								
ΣM_{nv} 124.1818 [tonf*m]																								
Cumple C.F.V.D.																								

Figura 47: Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 1.0$

A.3. Diseño de vigas y columnas para $R = 1.5$

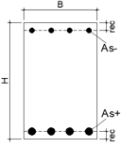
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)						
PROYECTO	HOSPITAL AISLADO R= 1.5	PISO	1	FICHA N°	B1	
ELEMENTO	V55/70	UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha	10/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA B = 55 cm H = 70 cm rec = 6.7 cm d _{ef} = 63.3 cm L _n = 800 cm		MATERIALES Hormigón f _c = 350 kgf/cm ² E _c = 282495 kgf/cm ² Acero f _y = 4200 kgf/cm ² E _s = 2100000 kgf/cm ²		
VERIFICACIÓN		CANTIDAD				
Datos de armadura longitudinal	A _{s-}	39.3		4φ25+4φ25 cm ²		
	A _{s+}	20.4		4φ18+4φ18 cm ²		
Armadura longitudinal requerida por análisis	A _{s-, req}	36.1		cm ²		
	A _{s+, req}	16.3		cm ²		
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)	A _{s-, min}	11.6		OK cm ²		
	A _{s-, max}	11.6		OK cm ²		
	A _{s+, max}	87.1		OK cm ²		
Deformación del acero en tracción	ε _{s-}	0.012		OK		
	ε _{s+}	0.026		OK		
	ε _{s min}	0.005				
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión	M _{u, crit}	80.2		tonf · m		
	φ	0.9				
	φ M _u	86.5		OK tonf · m		
	M _{u, crit}	37.8		tonf · m		
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión	φ	0.9				
	φ M _u ⁺	46.7		OK tonf · m		
	φ Mn ⁺ / 2	43.3		OK tonf · m		

Figura 48: Diseño de vigas del primer piso $R = 1.5$

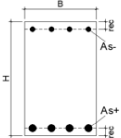
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)							
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 1.5		PISO	2, 3 y 4	FICHA N°	B2
ELEMENTO		V55/70	UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha	10/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA		MATERIALES			
		B =	55 cm	Hormigón			
		H =	70 cm				$f'_c =$
		rec =	6.7 cm	$E_c =$	282495 kgf/cm²		
		$d_{ef} =$	63.3 cm	Acero			
		$L_n =$	800 cm	$f_y =$	4200 kgf/cm²		
				$E_s =$	2100000 kgf/cm²		
VERIFICACIÓN			CANTIDAD				
Datos de armadura longitudinal			A_{s-}	49.3	4φ28+4φ28		cm²
			A_{s+}	30.4	4φ22+4φ22		cm²
Armadura longitudinal requerida por análisis			A_{s-req}	46.7			cm²
			A_{s+req}	23.1			cm²
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)			A_{s-}^{min}	11.6	OK		cm²
			A_{s-}^{min}	11.6	OK		cm²
			A_{s+}^{max}	87.1	OK		cm²
Deformación del acero en tracción			ϵ_{s-}	0.009	OK		
			ϵ_{s+}	0.016	OK		
			ϵ_{smin}	0.005			
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión			M_{u-}^{crit}	101.2			tonf · m
			ϕ	0.9			
			ϕM_n	106.2	OK		tonf · m
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión			M_{u+}^{crit}	52.6			tonf · m
			ϕ	0.9			
			ϕM_n	68.3	OK		tonf · m
			$\phi Mn / 2$	53.1	OK		tonf · m

Figura 49: Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso R = 1.5

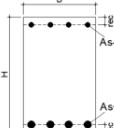
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)							
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 1.5		PISO	5 y 6	FICHA Nº	B3
ELEMENTO	V55/70	UBICACIÓN	Todas las vigas del piso			Fecha	10/09/2025
FIGURA			GEOMETRÍA		MATERIALES		
			B = 55 cm		Hormigón		
			H = 70 cm		f'_c = 350 kgf/cm²		
			rec = 6.7 cm		E_c = 282495 kgf/cm²		
			d_ef = 63.3 cm		Acero		
			L_n = 800 cm		f_y = 4200 kgf/cm²		
					E_s = 2100000 kgf/cm²		
VERIFICACIÓN		CANTIDAD					
Datos de armadura longitudinal	A_s-	26.9			4φ28+2φ12	cm²	
	A_s+	15.2			4φ22	cm²	
Armadura longitudinal requerida por análisis	A_s-req	24.7				cm²	
	A_s+req	10.9				cm²	
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)	A_s- min	11.6			OK	cm²	
	A_s- min	11.6			OK	cm²	
	A_s+ max	87.1			OK	cm²	
Deformación del acero en tracción	ε_s-	0.019			OK		
	ε_s+	0.036			OK		
	ε_s min	0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión	M_u- CRÉ	56.1				tonf · m	
	φ	0.9					
	φ M_n	60.9			OK	tonf · m	
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión	M_u+ CRÉ	25.5				tonf · m	
	φ	0.9					
	φ M_n +	35.3			OK	tonf · m	
	φ Mn /2	30.4			OK	tonf · m	

Figura 50: Diseño de vigas del quinto y sexto piso R = 1.5

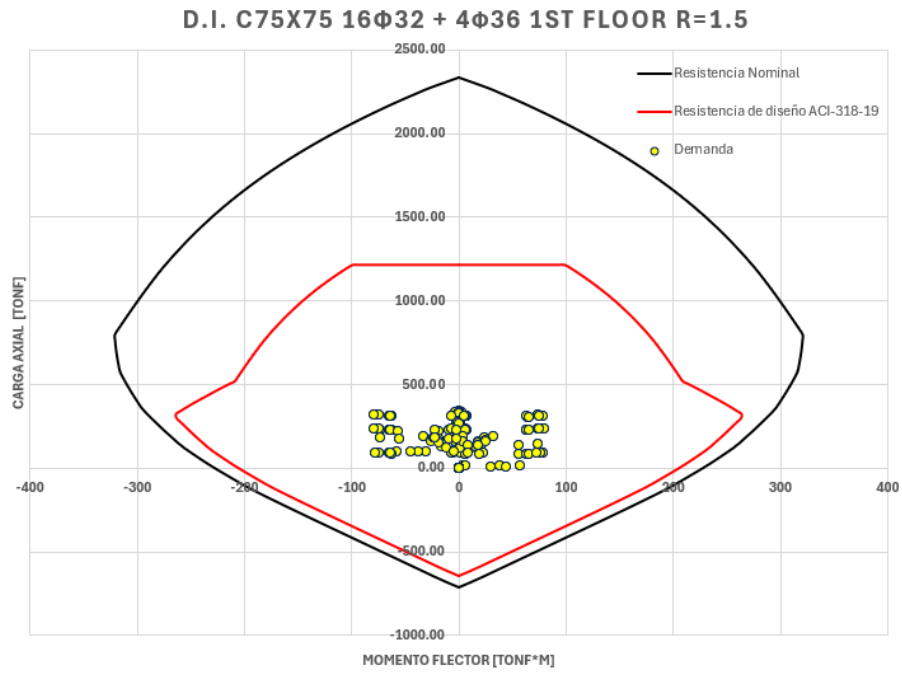


Figura 51: Diseño de columnas del primer piso $R = 1.5$

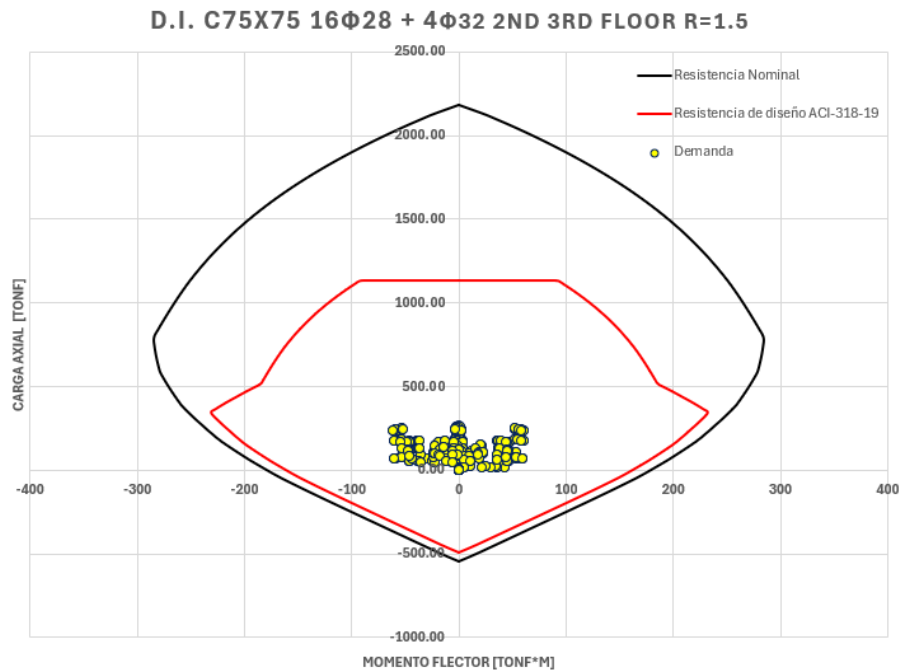


Figura 52: Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 1.5$

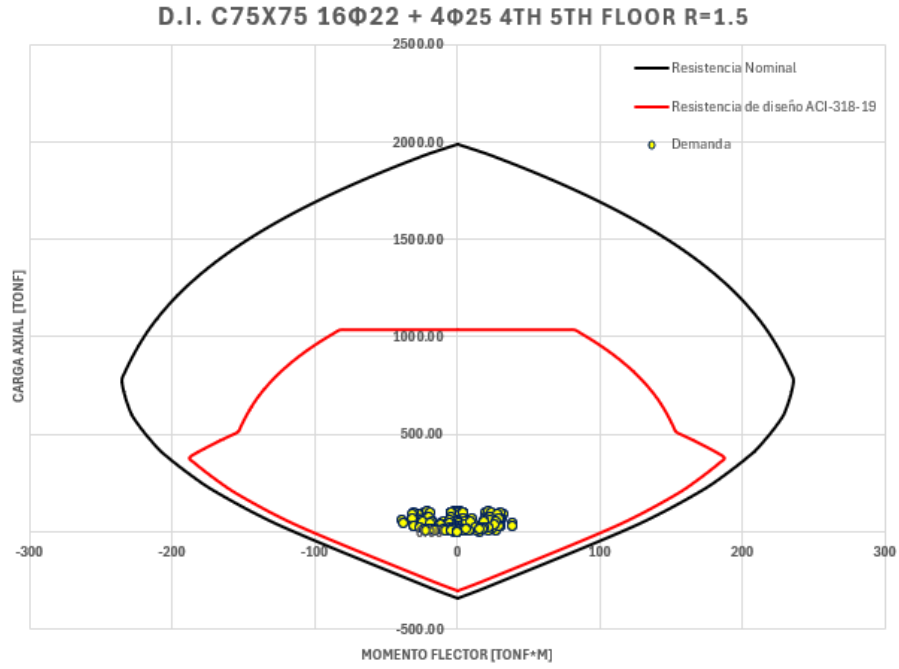


Figura 53: Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 1.5$

A.4. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 1.5$

<table><tr><th colspan="2">Nodo 1</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>206.598257 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>149.496591 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 1		ΣM_{nc}	206.598257 [tonf*m]	ΣM_{nv}	149.496591 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 2</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>222.9097 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>213.3532 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 2		ΣM_{nc}	222.9097 [tonf*m]	ΣM_{nv}	213.3532 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 3</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>223.4495 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>213.3532 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 3		ΣM_{nc}	223.4495 [tonf*m]	ΣM_{nv}	213.3532 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 4</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>222.9097 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>213.3532 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 4		ΣM_{nc}	222.9097 [tonf*m]	ΣM_{nv}	213.3532 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 5</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>206.5983 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>149.4966 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 5		ΣM_{nc}	206.5983 [tonf*m]	ΣM_{nv}	149.4966 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
Nodo 1																																												
ΣM_{nc}	206.598257 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	149.496591 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 2																																												
ΣM_{nc}	222.9097 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	213.3532 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 3																																												
ΣM_{nc}	223.4495 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	213.3532 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 4																																												
ΣM_{nc}	222.9097 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	213.3532 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 5																																												
ΣM_{nc}	206.5983 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	149.4966 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">Nodo 6</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>371.135853 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>149.496591 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 6		ΣM_{nc}	371.135853 [tonf*m]	ΣM_{nv}	149.496591 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 7</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>400.2434 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.9541 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 7		ΣM_{nc}	400.2434 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.9541 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 8</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>401.0712 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.9541 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 8		ΣM_{nc}	401.0712 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.9541 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 9</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>400.2434 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.9541 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 9		ΣM_{nc}	400.2434 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.9541 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 10</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>371.1359 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>179.3959 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 10		ΣM_{nc}	371.1359 [tonf*m]	ΣM_{nv}	179.3959 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
Nodo 6																																												
ΣM_{nc}	371.135853 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	149.496591 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 7																																												
ΣM_{nc}	400.2434 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.9541 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 8																																												
ΣM_{nc}	401.0712 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.9541 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 9																																												
ΣM_{nc}	400.2434 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.9541 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 10																																												
ΣM_{nc}	371.1359 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	179.3959 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">11</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>329.462543 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>174.931517 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	11		ΣM_{nc}	329.462543 [tonf*m]	ΣM_{nv}	174.931517 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">12</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>350.68 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.95 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	12		ΣM_{nc}	350.68 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">13</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>351.08 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.95 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	13		ΣM_{nc}	351.08 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">14</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>350.68 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.95 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	14		ΣM_{nc}	350.68 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">15</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>329.46 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>174.93 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	15		ΣM_{nc}	329.46 [tonf*m]	ΣM_{nv}	174.93 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
11																																												
ΣM_{nc}	329.462543 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	174.931517 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
12																																												
ΣM_{nc}	350.68 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
13																																												
ΣM_{nc}	351.08 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
14																																												
ΣM_{nc}	350.68 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
15																																												
ΣM_{nc}	329.46 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	174.93 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">16</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>270.509089 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>174.931517 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	16		ΣM_{nc}	270.509089 [tonf*m]	ΣM_{nv}	174.931517 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">17</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>284.27 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.95 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	17		ΣM_{nc}	284.27 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">18</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>284.54 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.95 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	18		ΣM_{nc}	284.54 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">19</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>284.27 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>269.95 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	19		ΣM_{nc}	284.27 [tonf*m]	ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">20</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>270.5091 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>174.9315 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	20		ΣM_{nc}	270.5091 [tonf*m]	ΣM_{nv}	174.9315 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
16																																												
ΣM_{nc}	270.509089 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	174.931517 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
17																																												
ΣM_{nc}	284.27 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
18																																												
ΣM_{nc}	284.54 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
19																																												
ΣM_{nc}	284.27 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	269.95 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
20																																												
ΣM_{nc}	270.5091 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	174.9315 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">21</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>209.225182 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>116.56337 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	21		ΣM_{nc}	209.225182 [tonf*m]	ΣM_{nv}	116.56337 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">22</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>216.81 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>165.57 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	22		ΣM_{nc}	216.81 [tonf*m]	ΣM_{nv}	165.57 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">23</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>217.02 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>165.57 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	23		ΣM_{nc}	217.02 [tonf*m]	ΣM_{nv}	165.57 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">24</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>216.81 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>165.57 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	24		ΣM_{nc}	216.81 [tonf*m]	ΣM_{nv}	165.57 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">25</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>209.2252 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>116.5634 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	25		ΣM_{nc}	209.2252 [tonf*m]	ΣM_{nv}	116.5634 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
21																																												
ΣM_{nc}	209.225182 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	116.56337 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
22																																												
ΣM_{nc}	216.81 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	165.57 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
23																																												
ΣM_{nc}	217.02 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	165.57 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
24																																												
ΣM_{nc}	216.81 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	165.57 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
25																																												
ΣM_{nc}	209.2252 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	116.5634 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												

Figura 54: Criterio columna fuerte y viga débil $R = 1.5$

A.5. Diseño de vigas y columnas para $R = 2.0$

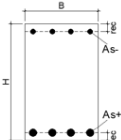
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)									
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 2.0		PISO	1	FICHA N°	B1		
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN		Todas las vigas del piso		Fecha	13/09/2025
FIGURA				GEOMETRÍA B = 55 cm H = 70 cm rec = 6.7 cm d _{ef} = 63.3 cm L _n = 800 cm		MATERIALES Hormigón f' _c = 350 kgf/cm ² E _c = 282495 kgf/cm ² Acero f _y = 4200 kgf/cm ² E _s = 2100000 kgf/cm ²			
VERIFICACIÓN				CANTIDAD					
Datos de armadura longitudinal		A _{s-}		32.7		4φ22+4φ22+2φ12 cm ²			
		A _{s+}		16.1		4φ16+4φ16 cm ²			
Armadura longitudinal requerida por análisis		A _{s- req}		31.1		cm ²			
		A _{s+ req}		13.7		cm ²			
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		A _{s- min}		11.6		OK cm ²			
		A _{s- min}		11.6		OK cm ²			
		A _{s- max}		87.1		OK cm ²			
Deformación del acero en tracción		ε _{s-}		0.015		OK			
		ε _{s+}		0.034		OK			
		ε _{s min}		0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		M _{u- crit}		69.9		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ M _{n-}		73.0		OK		tonf · m	
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		M _{u+ crit}		31.8		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ M _{n+}		37.3		OK		tonf · m	
		φ M _{n+ / 2}		36.5		OK		tonf · m	

Figura 55: Diseño de vigas del primer piso $R = 2.0$

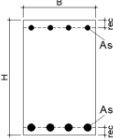
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)						
PROYECTO	HOSPITAL AISLADO R = 2.0	PISO	2, 3 y 4	FICHA N°	B2	
ELEMENTO	V55/70	UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha	13/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA B = 55 cm H = 70 cm rec = 6.7 cm d _{ef} = 63.3 cm L _n = 800 cm		MATERIALES Hormigón F _c = 350 kgf/cm ² E _c = 282495 kgf/cm ² Acero f _y = 4200 kgf/cm ² E _s = 2100000 kgf/cm ²		
VERIFICACIÓN		CANTIDAD				
Datos de armadura longitudinal	A _{s-}	39.3		4φ25+4φ25	cm ²	
	A _{s+}	20.4		4φ18+4φ18	cm ²	
Armadura longitudinal requerida por análisis	A _{s-req}	38.3			cm ²	
	A _{s+req}	15.5			cm ²	
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)	A _{s- min}	11.6		OK	cm ²	
	A _{s- min}	11.6		OK	cm ²	
	A _{s- max}	87.1		OK	cm ²	
Deformación del acero en tracción	ε _{s-}	0.012		OK		
	ε _{s+}	0.026		OK		
	ε _{s min}	0.005				
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión	M _{u- crit}	84.6			tonf · m	
	φ	0.9				
	φ M _{n-}	86.5		OK	tonf · m	
	φ M _{n- / 2}	43.3		OK	tonf · m	
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión	M _{u+ crit}	36.0			tonf · m	
	φ	0.9				
	φ M _{n+}	46.7		OK	tonf · m	
	φ M _{n+ / 2}	23.4		OK	tonf · m	

Figura 56: Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 2.0$

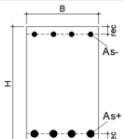
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)								
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 2.0		PISO	5 y 6	FICHA N°	B3	
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha	13/09/2025
FIGURA				GEOMETRÍA		MATERIALES		
				B = 55 cm		Hormigón		
				H = 70 cm		f'c = 350 kgf/cm²		
				rec = 6.7 cm		Ec = 282495 kgf/cm²		
				d _{ef} = 63.3 cm		Acero		
				Ln = 800 cm		fy = 4200 kgf/cm²		
						Es = 2100000 kgf/cm²		
VERIFICACIÓN				CANTIDAD				
Datos de armadura longitudinal		As-		24.6		4φ28		cm²
		As+		15.2		4φ22		cm²
Armadura longitudinal requerida por análisis		As-req		22.4				cm²
		As+req		10.9				cm²
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		As- min		11.6		OK		cm²
		As- min		11.6		OK		cm²
		As- max		87.1		OK		cm²
Deformación del acero en tracción		εs-		0.021		OK		
		εs+		0.036		OK		
		εs min		0.005				
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		Mu crit		51.1				tonf · m
		φ		0.9				
		φ Mu		56.0		OK		tonf · m
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		Mu crit		25.5				tonf · m
		φ		0.9				
		φ Mu+		35.3		OK		tonf · m
		φ Mn / 2		28.0		OK		tonf · m

Figura 57: Diseño de vigas del quinto y sexto piso R = 2.0

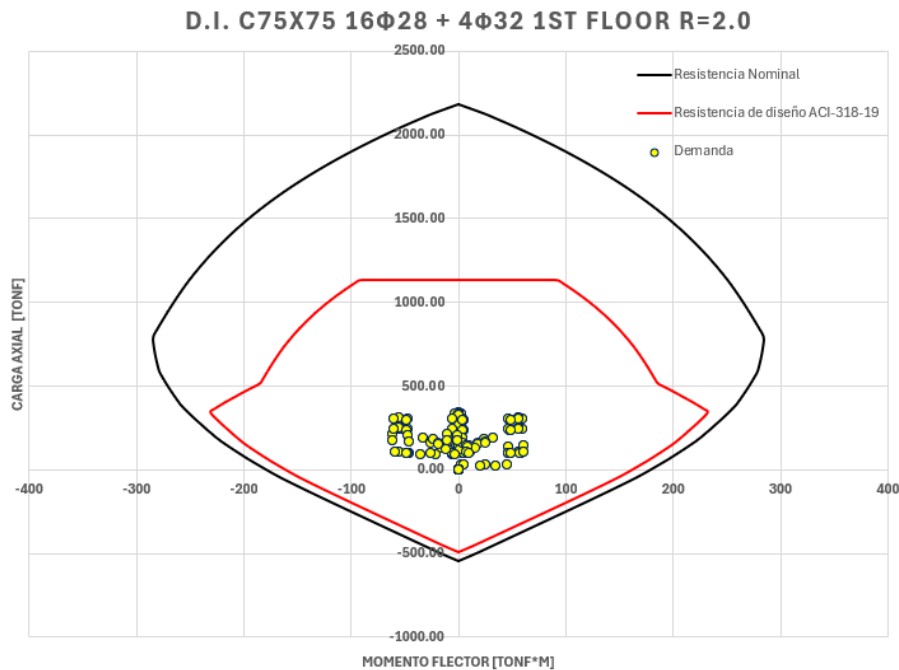


Figura 58: Diseño de columnas del primer piso R = 2.0

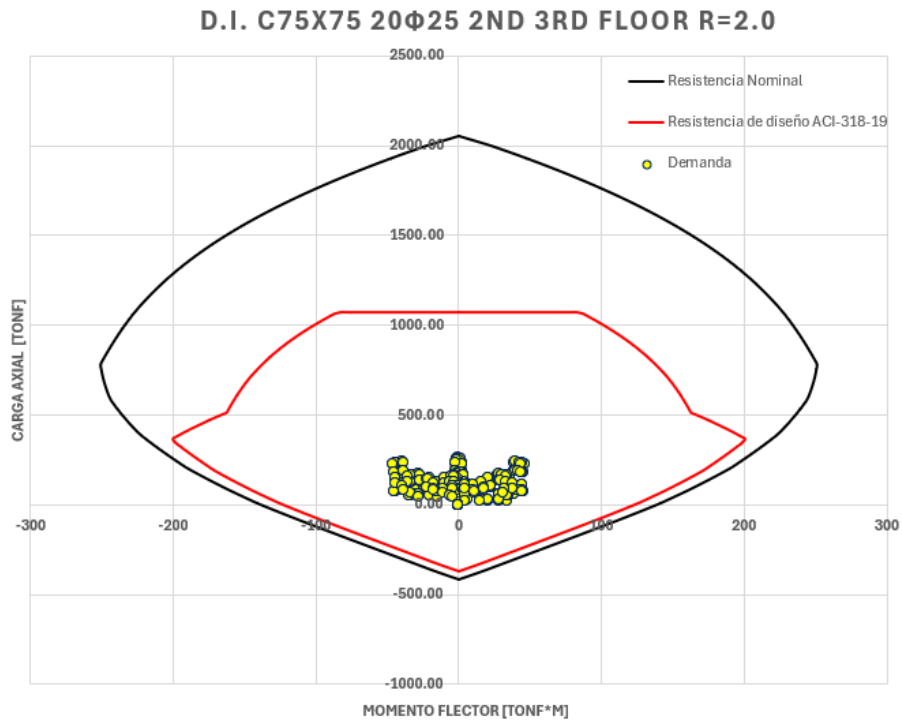


Figura 59: Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 2.0$

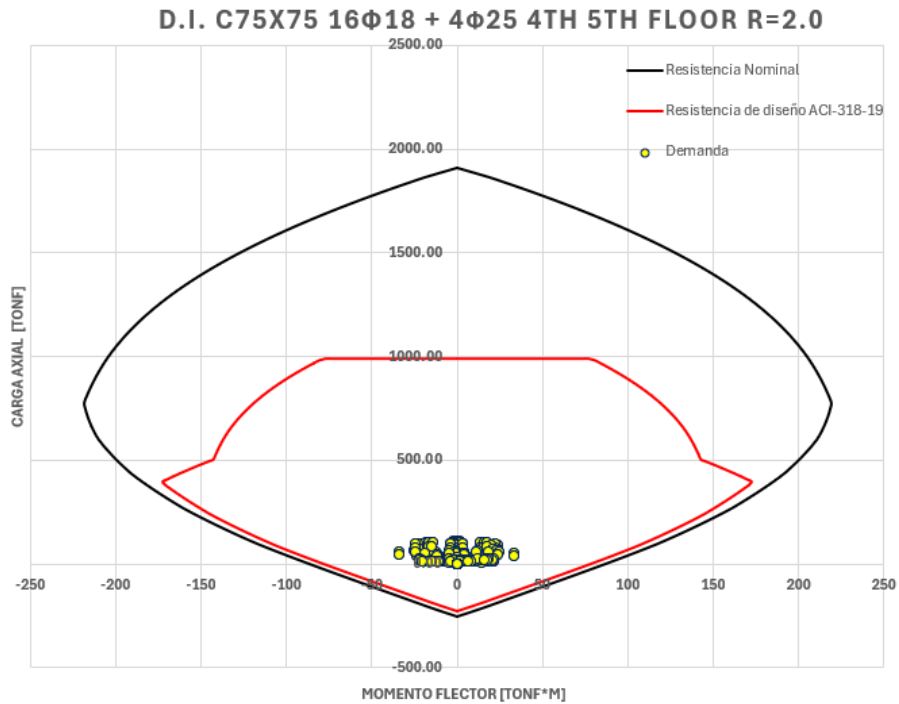


Figura 60: Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 2.0$

A.6. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 2.0$

Nodo 1 ΣM_{nc} 167.543734 [tonf*m] ΣM_{nv} 132.354545 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	Nodo 2 ΣM_{nc} 183.3763 [tonf*m] ΣM_{nv} 183.3348 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	Nodo 3 ΣM_{nc} 183.889 [tonf*m] ΣM_{nv} 183.3348 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	Nodo 4 ΣM_{nc} 183.3763 [tonf*m] ΣM_{nv} 183.3348 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	Nodo 5 ΣM_{nc} 167.5437 [tonf*m] ΣM_{nv} 132.3545 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.
Nodo 6 ΣM_{nc} 297.279426 [tonf*m] ΣM_{nv} 132.354545 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	Nodo 7 ΣM_{nc} 325.2602 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.1779 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	Nodo 8 ΣM_{nc} 326.1669 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.1779 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	Nodo 9 ΣM_{nc} 325.2602 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.1779 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	Nodo 10 ΣM_{nc} 297.2794 [tonf*m] ΣM_{nv} 158.8255 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.
11 ΣM_{nc} 258.744935 [tonf*m] ΣM_{nv} 150.038704 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	12 ΣM_{nc} 279.05 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.18 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	13 ΣM_{nc} 279.59 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.18 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	14 ΣM_{nc} 279.05 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.18 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	15 ΣM_{nc} 258.74 [tonf*m] ΣM_{nv} 150.04 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.
16 ΣM_{nc} 211.194941 [tonf*m] ΣM_{nv} 150.038704 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	17 ΣM_{nc} 224.83 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.18 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	18 ΣM_{nc} 225.15 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.18 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	19 ΣM_{nc} 224.83 [tonf*m] ΣM_{nv} 215.18 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	20 ΣM_{nc} 211.1949 [tonf*m] ΣM_{nv} 150.0387 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.
21 ΣM_{nc} 161.62673 [tonf*m] ΣM_{nv} 110.425625 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	22 ΣM_{nc} 169.45 [tonf*m] ΣM_{nv} 159.43 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	23 ΣM_{nc} 169.68 [tonf*m] ΣM_{nv} 159.43 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	24 ΣM_{nc} 169.45 [tonf*m] ΣM_{nv} 159.43 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.	25 ΣM_{nc} 161.6267 [tonf*m] ΣM_{nv} 110.4256 [tonf*m] Cumple C.F.V.D.

Figura 61: Criterio columna fuerte y viga débil $R = 2.0$

A.7. Diseño de vigas y columnas para $R = 2.5$

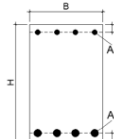
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)					
PROYECTO	HOSPITAL AISLADO R= 2.5	PISO	1	FICHA N°	B1
ELEMENTO	V55/70	UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha
					13/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA	MATERIALES		
		B = 55 cm	Hormigón		
		H = 70 cm	f _c = 350 kgf/cm ²		
		rec = 6.7 cm	E _c = 282495 kgf/cm ²		
		d _{ef} = 63.3 cm	Acero		
		L _n = 800 cm	f _y = 4200 kgf/cm ²		
			E _s = 2100000 kgf/cm ²		
VERIFICACIÓN		CANTIDAD			
Datos de armadura longitudinal	A _{s-}	29.4	4φ22+4φ18+2φ12 cm ²		
	A _{s+}	14.8	4φ16+4φ12+2φ12 cm ²		
Armadura longitudinal requerida por análisis	A _{s-req}	28.2	cm ²		
	A _{s+req}	12.3	cm ²		
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)	A _{s- min}	11.6	OK cm ²		
	A _{s- min}	11.6	OK cm ²		
	A _{s+ max}	87.1	OK cm ²		
Deformación del acero en tracción	ε _{s-}	0.017	OK		
	ε _{s+}	0.037	OK		
	ε _{s min}	0.005			
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión	M _{u- crit}	63.7	tonf · m		
	φ	0.9			
	φ M _{n-}	66.2	OK	tonf · m	
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión	M _{u+ crit}	28.8	tonf · m		
	φ	0.9			
	φ M _{n+}	34.4	OK	tonf · m	
	φ Mn' /2	33.1	OK	tonf · m	

Figura 62: Diseño de vigas del primer piso $R = 2.5$

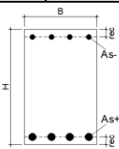
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)								
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 2.5		PISO	2, 3 y 4	FICHA N°	B2	
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha	13/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA		MATERIALES				
		B = 55 cm H = 70 cm rec = 6.7 cm dse = 63.3 cm Ln = 800 cm		Hormigón fc = 350 kgf/cm² Ec = 282495 kgf/cm² Acero fy = 4200 kgf/cm² Es = 2100000 kgf/cm²				
VERIFICACIÓN				CANTIDAD				
Datos de armadura longitudinal		As-	34.8	4φ25+4φ22		cm²		
		As+	18.2	4φ18+4φ16		cm²		
Armadura longitudinal requerida por análisis		As-req	33.4			cm²		
		As+req	11.9			cm²		
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		As- min	11.6	OK		cm²		
		As- min	11.6	OK		cm²		
		As+ max	87.1	OK		cm²		
Deformación del acero en tracción		εs-	0.014	OK				
		εs+	0.029	OK				
		εs min	0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		Mu- crit	74.6			tonf · m		
		φ	0.9					
		φ Mn-	77.5	OK		tonf · m		
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		Mu+ crit	27.8			tonf · m		
		φ	0.9					
		φ Mn+	42.0	OK		tonf · m		
		φ Mn- /2	38.8	OK		tonf · m		

Figura 63: Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso R = 2.5

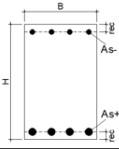
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)								
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 2.5		PISO	5 y 6	FICHA N°	B3	
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha	13/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA			MATERIALES			
		B =	55 cm		Hormigón			
		H =	70 cm		f'c = 350 kgf/cm²			
		rec =	6.7 cm		Ec = 282495 kgf/cm²			
		dse =	63.3 cm		Acero			
		Ln =	800 cm		fy = 4200 kgf/cm²			
							Es = 2100000 kgf/cm²	
VERIFICACIÓN				CANTIDAD				
Datos de armadura longitudinal		As-	21.9		4φ25+2φ12		cm²	
		As+	15.2		4φ22		cm²	
Armadura longitudinal requerida por análisis		As- req	21.0				cm²	
		As+ req	10.9				cm²	
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		As- min	11.6		OK		cm²	
		As- min	11.6		OK		cm²	
		As- max	87.1		OK		cm²	
Deformación del acero en tracción		εs-	0.024		OK			
		εs+	0.036		OK			
		εs min	0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		Mu- crit	48.1				tonf · m	
		φ	0.9					
		φ Mn-	50.1		OK		tonf · m	
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		Mu+ crit	25.5				tonf · m	
		φ	0.9					
		φ Mn+	35.3		OK		tonf · m	
		φ Mn / 2	25.0		OK		tonf · m	

Figura 64: Diseño de vigas del quinto y sexto piso R = 2.5

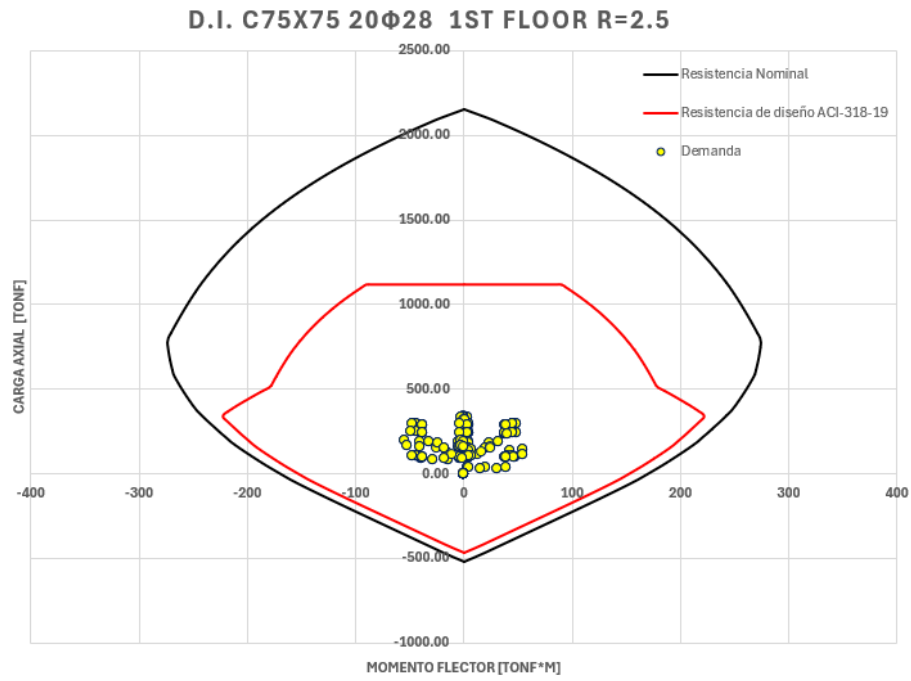


Figura 65: Diseño de columnas del primer piso $R = 2.5$

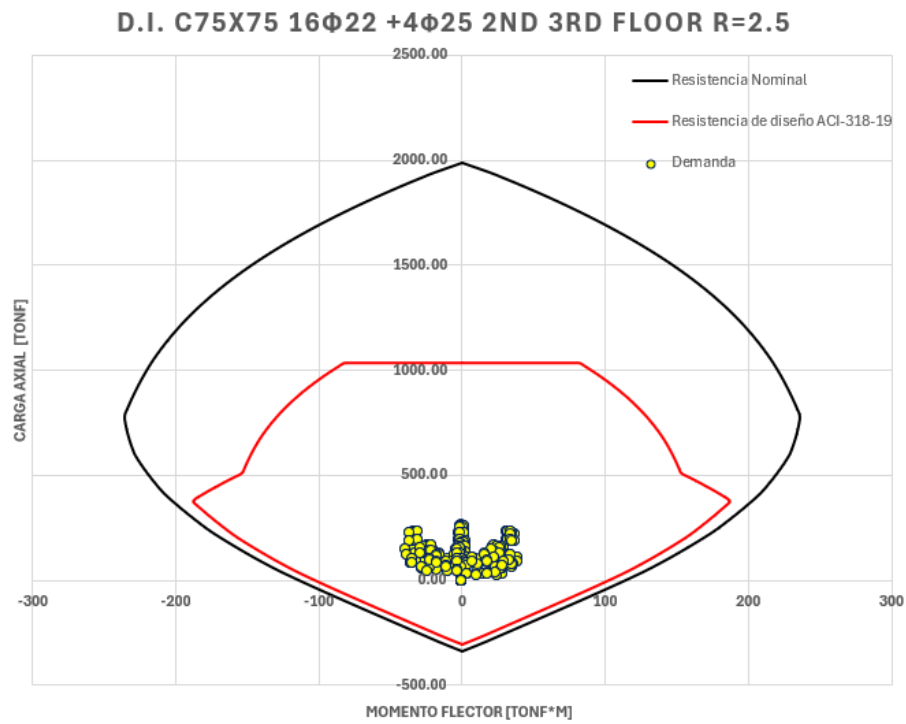


Figura 66: Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 2.5$

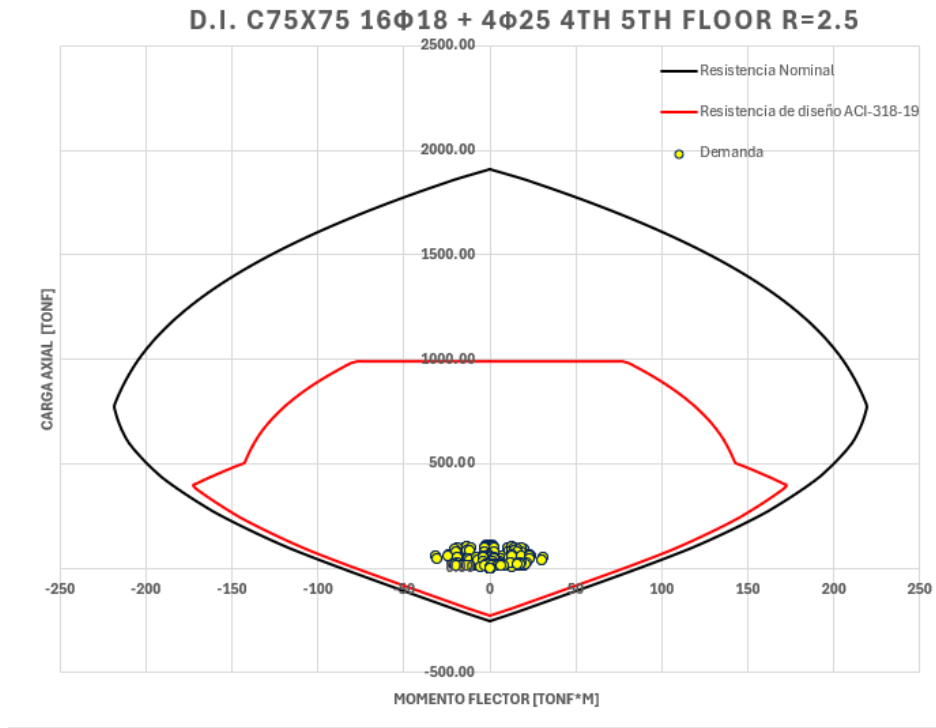


Figura 67: Diseño de columnas del cuarto y quinto piso R = 2.5

A.8. Criterio de columna fuerte y viga débil R = 2.5

<table><tr><th colspan="3">Nodo 1</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>160.584831</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>118.919059</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 1			ΣM_{nc}	160.584831	[tonf*m]	ΣM_{nv}	118.919059	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">Nodo 2</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>175.3118</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>164.8039</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 2			ΣM_{nc}	175.3118	[tonf*m]	ΣM_{nv}	164.8039	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">Nodo 3</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>175.7812</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>164.8039</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 3			ΣM_{nc}	175.7812	[tonf*m]	ΣM_{nv}	164.8039	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">Nodo 4</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>175.3118</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>164.8039</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 4			ΣM_{nc}	175.3118	[tonf*m]	ΣM_{nv}	164.8039	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">Nodo 5</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>160.5848</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>118.9191</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 5			ΣM_{nc}	160.5848	[tonf*m]	ΣM_{nv}	118.9191	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		
Nodo 1																																																																
ΣM_{nc}	160.584831	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	118.919059	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
Nodo 2																																																																
ΣM_{nc}	175.3118	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	164.8039	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
Nodo 3																																																																
ΣM_{nc}	175.7812	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	164.8039	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
Nodo 4																																																																
ΣM_{nc}	175.3118	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	164.8039	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
Nodo 5																																																																
ΣM_{nc}	160.5848	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	118.9191	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
<table><tr><th colspan="3">Nodo 6</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>271.665625</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>118.919059</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 6			ΣM_{nc}	271.665625	[tonf*m]	ΣM_{nv}	118.919059	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">Nodo 7</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>298.8436</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 7			ΣM_{nc}	298.8436	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">Nodo 8</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>299.631</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 8			ΣM_{nc}	299.631	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">Nodo 9</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>298.8436</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 9			ΣM_{nc}	298.8436	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">Nodo 10</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>271.6656</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>142.7029</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 10			ΣM_{nc}	271.6656	[tonf*m]	ΣM_{nv}	142.7029	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		
Nodo 6																																																																
ΣM_{nc}	271.665625	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	118.919059	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
Nodo 7																																																																
ΣM_{nc}	298.8436	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
Nodo 8																																																																
ΣM_{nc}	299.631	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
Nodo 9																																																																
ΣM_{nc}	298.8436	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
Nodo 10																																																																
ΣM_{nc}	271.6656	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	142.7029	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
<table><tr><th colspan="3">11</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>220.57809</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>137.444643</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	11			ΣM_{nc}	220.57809	[tonf*m]	ΣM_{nv}	137.444643	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">12</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>241.77</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196.00</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	12			ΣM_{nc}	241.77	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">13</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>242.26</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196.00</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	13			ΣM_{nc}	242.26	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">14</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>241.77</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196.00</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	14			ΣM_{nc}	241.77	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">15</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>220.58</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>137.44</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	15			ΣM_{nc}	220.58	[tonf*m]	ΣM_{nv}	137.44	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		
11																																																																
ΣM_{nc}	220.57809	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	137.444643	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
12																																																																
ΣM_{nc}	241.77	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
13																																																																
ΣM_{nc}	242.26	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
14																																																																
ΣM_{nc}	241.77	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
15																																																																
ΣM_{nc}	220.58	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	137.44	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
<table><tr><th colspan="3">16</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>192.310284</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>137.444643</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	16			ΣM_{nc}	192.310284	[tonf*m]	ΣM_{nv}	137.444643	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">17</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>206.49</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196.00</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	17			ΣM_{nc}	206.49	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">18</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>206.82</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196.00</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	18			ΣM_{nc}	206.82	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">19</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>206.49</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>196.00</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	19			ΣM_{nc}	206.49	[tonf*m]	ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">20</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>192.3103</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>137.4446</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	20			ΣM_{nc}	192.3103	[tonf*m]	ΣM_{nv}	137.4446	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		
16																																																																
ΣM_{nc}	192.310284	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	137.444643	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
17																																																																
ΣM_{nc}	206.49	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
18																																																																
ΣM_{nc}	206.82	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
19																																																																
ΣM_{nc}	206.49	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	196.00	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
20																																																																
ΣM_{nc}	192.3103	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	137.4446	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
<table><tr><th colspan="3">21</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>162.444975</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>102.854196</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	21			ΣM_{nc}	162.444975	[tonf*m]	ΣM_{nv}	102.854196	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">22</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>170.24</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	22			ΣM_{nc}	170.24	[tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">23</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>170.45</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	23			ΣM_{nc}	170.45	[tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">24</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>170.24</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	24			ΣM_{nc}	170.24	[tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.			<table><tr><th colspan="3">25</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>162.445</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>102.8542</td><td>[tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="3">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	25			ΣM_{nc}	162.445	[tonf*m]	ΣM_{nv}	102.8542	[tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		
21																																																																
ΣM_{nc}	162.444975	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	102.854196	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
22																																																																
ΣM_{nc}	170.24	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	151.86	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
23																																																																
ΣM_{nc}	170.45	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	151.86	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
24																																																																
ΣM_{nc}	170.24	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	151.86	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																
25																																																																
ΣM_{nc}	162.445	[tonf*m]																																																														
ΣM_{nv}	102.8542	[tonf*m]																																																														
Cumple C.F.V.D.																																																																

Figura 68: Criterio columna fuerte y viga débil R = 2.5

A.9. Diseño de vigas y columnas para $R = 3.0$

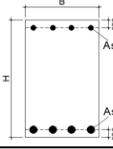
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)									
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 3.0		PISO	1	FICHA N°	B1		
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN		Todas las vigas del piso		Fecha	15/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA		MATERIALES					
		B = 55 cm H = 70 cm rec = 6.7 cm d _{ef} = 63.3 cm L _n = 800 cm		Hormigón f' _c = 350 kgf/cm ² E _c = 282495 kgf/cm ² Acero f _y = 4200 kgf/cm ² E _s = 2100000 kgf/cm ²					
VERIFICACIÓN				CANTIDAD					
Datos de armadura longitudinal		A _{s-}		27.6		4φ22+4φ18+2φ12 cm ²			
		A _{s+}		14.8		4φ16+4φ12+2φ12 cm ²			
Armadura longitudinal requerida por análisis		A _{s- req}		26.3		cm ²			
		A _{s+ req}		11.9		cm ²			
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		A _s ⁺ _{min}		11.6		OK cm ²			
		A _s ⁻ _{min}		11.6		OK cm ²			
		A _s ⁺ _{max}		87.1		OK cm ²			
Deformación del acero en tracción		ε _{s-}		0.018		OK			
		ε _{s+}		0.037		OK			
		ε _{s min}		0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		M _{u- crit}		59.6		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ M _{u-}		62.5		OK		tonf · m	
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		M _{u+ crit}		27.8		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ M _{u+}		34.4		OK		tonf · m	
		φ Mn / 2		31.2		OK		tonf · m	

Figura 69: Diseño de vigas del primer piso $R = 3.0$

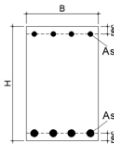
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)									
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R= 3.0		PISO	2, 3 y 4	FICHA N°	B2		
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN		Todas las vigas del piso		Fecha	15/09/2025
FIGURA		GEOMETRÍA			MATERIALES				
		B = 55 cm			Hormigón				
		H = 70 cm			f'c = 350 kgf/cm²				
		rec = 6.7 cm			Ec = 282495 kgf/cm²				
		d _{ef} = 63.3 cm			Acero				
		Ln = 800 cm			fy = 4200 kgf/cm²				
					Es = 2100000 kgf/cm²				
VERIFICACIÓN				CANTIDAD					
Datos de armadura longitudinal		As-		30.4		4φ22+4φ22 cm²			
		As+		16.1		4φ16+4φ16 cm²			
Armadura longitudinal requerida por análisis		As- req		30.2		cm²			
		As+ req		10.8		cm²			
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		As+ min		11.6		OK cm²			
		As- min		11.6		OK cm²			
		As+ max		87.1		OK cm²			
Deformación del acero en tracción		εs-		0.016		OK			
		εs+		0.034		OK			
		εs min		0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		Mu- crit		67.9		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ Mu-		68.3		OK		tonf · m	
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		Mu+ crit		25.3		tonf · m			
		φ		0.9					
		φ Mu+		37.3		OK		tonf · m	
		φ Mn / 2		34.2		OK		tonf · m	

Figura 70: Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 3.0$

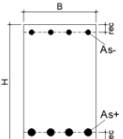
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)								
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 3.0		PISO	5 y 6	FICHA N°	B3	
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha	15/09/2025
FIGURA				GEOMETRÍA		MATERIALES		
				B = 55 cm		Hormigón		
				H = 70 cm		f'c = 350 kgf/cm²		
				rec = 6.7 cm		Ec = 282495 kgf/cm²		
				d _{ef} = 63.3 cm		Acero		
				Lv = 800 cm		fy = 4200 kgf/cm²		
						Es = 2100000 kgf/cm²		
VERIFICACIÓN				CANTIDAD				
Datos de armadura longitudinal		As-	21.9	4φ25+2φ12		cm²		
		As+	15.2	4φ22		cm²		
Armadura longitudinal requerida por análisis		As-req	20.1			cm²		
		As+req	10.9			cm²		
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		As- min	11.6	OK		cm²		
		As- min	11.6	OK		cm²		
		As+ max	87.1	OK		cm²		
Deformación del acero en tracción		εs-	0.024	OK				
		εs+	0.036	OK				
		εs min	0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		M _u crit	46.1			tonf · m		
		φ	0.9					
		φ Mn-	50.1	OK		tonf · m		
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		M _u crit	25.5			tonf · m		
		φ	0.9					
		φ Mn+	35.3	OK		tonf · m		
		φ Mn / 2	25.0	OK		tonf · m		

Figura 71: Diseño de vigas del quinto y sexto piso R = 3.0

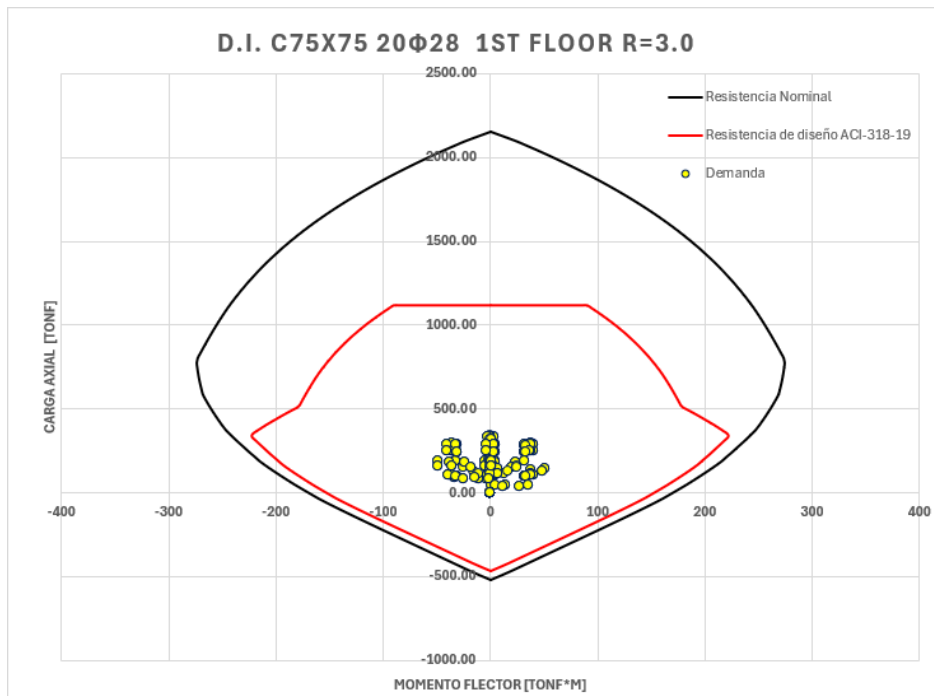


Figura 72: Diseño de columnas del primer piso R = 3.0

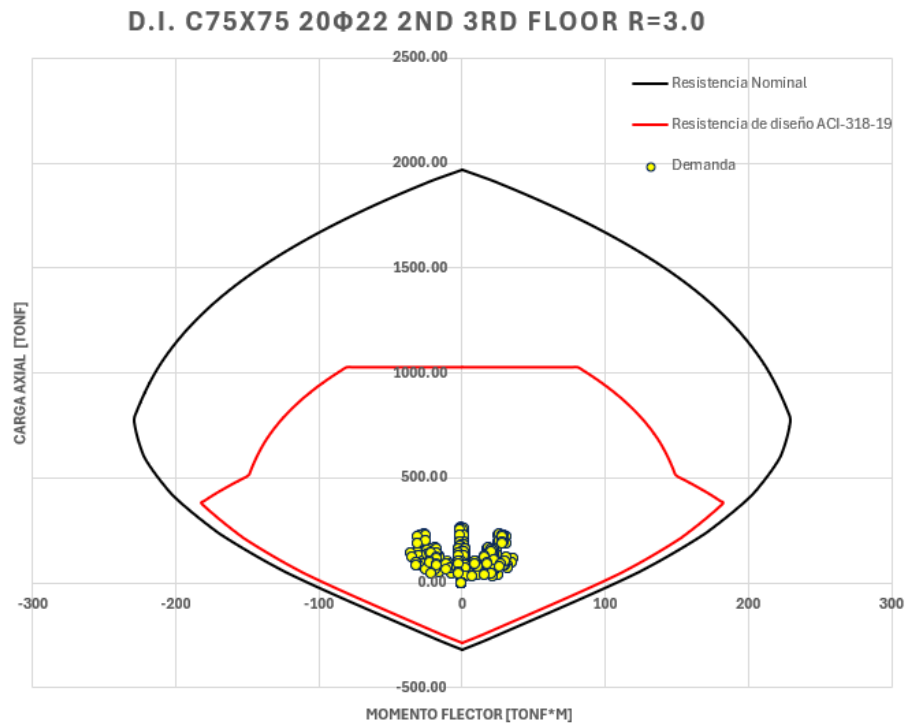


Figura 73: Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 3.0$

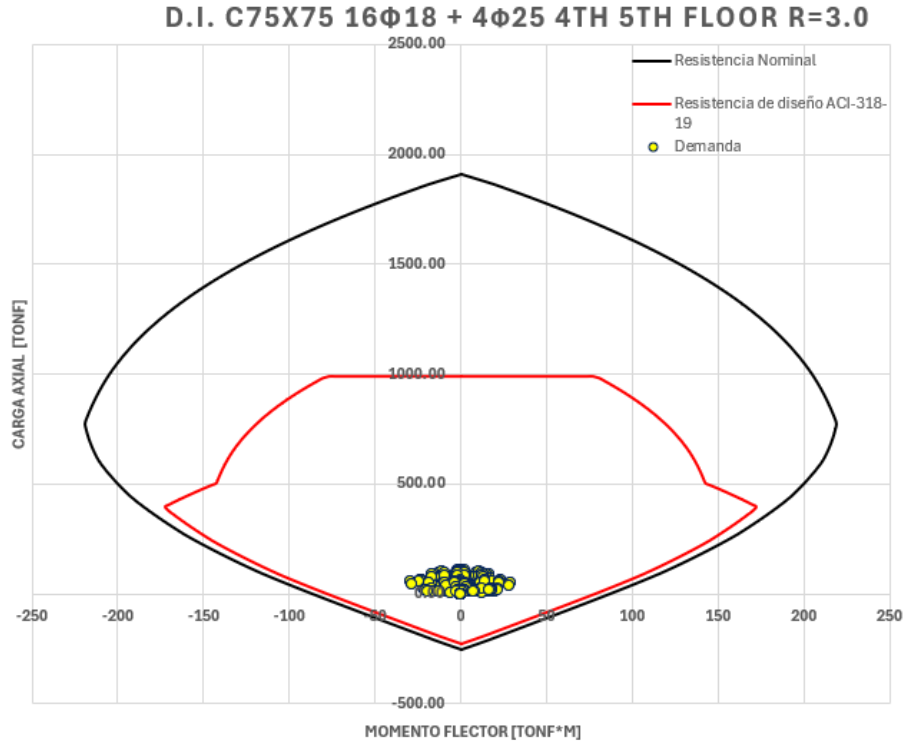


Figura 74: Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 3.0$

A.10. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 3.0$

<table><tr><th colspan="2">Nodo 1</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>162.181843 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>117.830664 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 1		ΣM_{nc}	162.181843 [tonf*m]	ΣM_{nv}	117.830664 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 2</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>176.2217 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>163.7155 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 2		ΣM_{nc}	176.2217 [tonf*m]	ΣM_{nv}	163.7155 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 3</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>176.6614 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>163.7155 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 3		ΣM_{nc}	176.6614 [tonf*m]	ΣM_{nv}	163.7155 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 4</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>176.2217 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>163.7155 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 4		ΣM_{nc}	176.2217 [tonf*m]	ΣM_{nv}	163.7155 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 5</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>162.1818 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>117.8307 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 5		ΣM_{nc}	162.1818 [tonf*m]	ΣM_{nv}	117.8307 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
Nodo 1																																												
ΣM_{nc}	162.181843 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	117.830664 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 2																																												
ΣM_{nc}	176.2217 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	163.7155 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 3																																												
ΣM_{nc}	176.6614 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	163.7155 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 4																																												
ΣM_{nc}	176.2217 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	163.7155 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 5																																												
ΣM_{nc}	162.1818 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	117.8307 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">Nodo 6</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>268.970814 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>117.830664 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 6		ΣM_{nc}	268.970814 [tonf*m]	ΣM_{nv}	117.830664 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 7</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>294.9667 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.323 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 7		ΣM_{nc}	294.9667 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.323 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 8</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>295.7008 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.323 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 8		ΣM_{nc}	295.7008 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.323 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 9</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>294.9667 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.323 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 9		ΣM_{nc}	294.9667 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.323 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 10</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>268.9708 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>141.3968 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 10		ΣM_{nc}	268.9708 [tonf*m]	ΣM_{nv}	141.3968 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
Nodo 6																																												
ΣM_{nc}	268.970814 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	117.830664 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 7																																												
ΣM_{nc}	294.9667 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.323 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 8																																												
ΣM_{nc}	295.7008 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.323 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 9																																												
ΣM_{nc}	294.9667 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.323 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 10																																												
ΣM_{nc}	268.9708 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	141.3968 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">11</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>211.520455 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>126.680377 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	11		ΣM_{nc}	211.520455 [tonf*m]	ΣM_{nv}	126.680377 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">12</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>231.98 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.32 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	12		ΣM_{nc}	231.98 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">13</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>232.46 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.32 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	13		ΣM_{nc}	232.46 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">14</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>231.98 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.32 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	14		ΣM_{nc}	231.98 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">15</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>211.52 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>126.68 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	15		ΣM_{nc}	211.52 [tonf*m]	ΣM_{nv}	126.68 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
11																																												
ΣM_{nc}	211.520455 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	126.680377 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
12																																												
ΣM_{nc}	231.98 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
13																																												
ΣM_{nc}	232.46 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
14																																												
ΣM_{nc}	231.98 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
15																																												
ΣM_{nc}	211.52 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	126.68 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">16</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>187.96111 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>126.680377 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	16		ΣM_{nc}	187.96111 [tonf*m]	ΣM_{nv}	126.680377 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">17</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>201.84 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.32 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	17		ΣM_{nc}	201.84 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">18</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>202.23 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.32 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	18		ΣM_{nc}	202.23 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">19</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>201.84 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>176.32 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	19		ΣM_{nc}	201.84 [tonf*m]	ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">20</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>187.9611 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>126.6804 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	20		ΣM_{nc}	187.9611 [tonf*m]	ΣM_{nv}	126.6804 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
16																																												
ΣM_{nc}	187.96111 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	126.680377 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
17																																												
ΣM_{nc}	201.84 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
18																																												
ΣM_{nc}	202.23 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
19																																												
ΣM_{nc}	201.84 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	176.32 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
20																																												
ΣM_{nc}	187.9611 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	126.6804 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">21</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>162.979083 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>102.854196 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	21		ΣM_{nc}	162.979083 [tonf*m]	ΣM_{nv}	102.854196 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">22</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>170.70 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	22		ΣM_{nc}	170.70 [tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">23</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>170.99 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	23		ΣM_{nc}	170.99 [tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">24</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>170.70 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	24		ΣM_{nc}	170.70 [tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">25</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>162.9791 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>102.8542 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	25		ΣM_{nc}	162.9791 [tonf*m]	ΣM_{nv}	102.8542 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
21																																												
ΣM_{nc}	162.979083 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	102.854196 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
22																																												
ΣM_{nc}	170.70 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
23																																												
ΣM_{nc}	170.99 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
24																																												
ΣM_{nc}	170.70 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
25																																												
ΣM_{nc}	162.9791 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	102.8542 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												

Figura 75: Criterio columna fuerte y viga débil $R = 3.0$

A.11. Diseño de vigas y columnas para $R = 3.5$

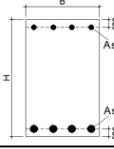
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)										
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 3.5		PISO	1	FICHA N°	B1			
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN			Todas las vigas del piso		Fecha	15/09/2025
FIGURA				GEOMETRÍA		MATERIALES				
				B = 55 cm		Hormigón				
				H = 70 cm		f'c = 350 kgf/cm²				
				rec = 6.7 cm		Ec = 282495 kgf/cm²				
				d _{ef} = 63.3 cm		Acero				
				Ln = 800 cm		fy = 4200 kgf/cm²				
						Es = 2100000 kgf/cm²				
VERIFICACIÓN				CANTIDAD						
Datos de armadura longitudinal		As-		25.4		4φ22+4φ18 cm²				
		As+		12.6		4φ16+4φ12 cm²				
Armadura longitudinal requerida por análisis		As- req		24.9		cm²				
		As+ req		11.9		cm²				
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		As- min		11.6		OK cm²				
		As- min		11.6		OK cm²				
		As- max		87.1		OK cm²				
Deformación del acero en tracción		εs-		0.020		OK				
		εs+		0.044		OK				
		εs min		0.005						
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		Mu- crit		56.6		tonf · m				
		φ		0.9						
		φ Mn-		57.6		OK		tonf · m		
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		Mu+ crit		27.8		tonf · m				
		φ		0.9						
		φ Mn+		29.3		OK		tonf · m		
		φ Mn / 2		28.8		OK		tonf · m		

Figura 76: Diseño de vigas del primer piso $R = 3.5$

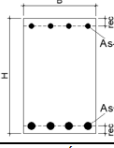
PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)								
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 3.5		PISO	2, 3 y 4	FICHA N°	B2	
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN	Todas las vigas del piso		Fecha	15/09/2025
FIGURA				GEOMETRÍA		MATERIALES		
		B = 55 cm		Hormigón				
		H = 70 cm		$f'_c =$		350 kgf/cm ²		
		rec = 6.7 cm		$E_c =$		282495 kgf/cm ²		
		$d_{ef} = 63.3$ cm		Acero				
		$L_n = 800$ cm		$f_y =$		4200 kgf/cm ²		
				$E_s =$		2100000 kgf/cm ²		
VERIFICACIÓN				CANTIDAD				
Datos de armadura longitudinal		A_{s-}		29.4		$4\phi 22+4\phi 18+2\phi 16$ cm ²		
		A_{s+}		16.1		$4\phi 16+4\phi 16$ cm ²		
Armadura longitudinal requerida por análisis		A_{s-req}		28.0		cm ²		
		A_{s+req}		10.8		cm ²		
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		A_{s-}^{min}		11.6		OK cm ²		
		A_{s-}^{min}		11.6		OK cm ²		
		A_{s-}^{max}		87.1		OK cm ²		
Deformación del acero en tracción		ϵ_{s-}		0.017		OK		
		ϵ_{s+}		0.034		OK		
		ϵ_{smin}		0.005				
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		M_{u-}^{crit}		63.1		tonf · m		
		ϕ		0.9				
		ϕM_{n-}		66.2		OK tonf · m		
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		M_{u+}^{crit}		25.3		tonf · m		
		ϕ		0.9				
		ϕM_{n+}		37.3		OK tonf · m		
		$\phi M_n / 2$		33.1		OK tonf · m		

Figura 77: Diseño de vigas del segundo, tercer y cuarto piso $R = 3.5$

PLANILLA DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN PURA (ACI 318-19)									
PROYECTO		HOSPITAL AISLADO R = 3.5		PISO	5 y 6	FICHA N°	B3		
ELEMENTO		V55/70		UBICACIÓN		Todas las vigas del piso		Fecha	15/09/2025
FIGURA				GEOMETRÍA		MATERIALES			
				B = 55 cm		Hormigón			
				H = 70 cm		f'c = 350 kgf/cm²			
				rec = 6.7 cm		Ec = 282495 kgf/cm²			
				d _{ef} = 63.3 cm		Acero			
				Lv = 800 cm		fy = 4200 kgf/cm²			
						Es = 2100000 kgf/cm²			
VERIFICACIÓN				CANTIDAD					
Datos de armadura longitudinal		As-		21.9		4φ25+2φ12		cm²	
		As+		15.2		4φ22		cm²	
Armadura longitudinal requerida por análisis		As-req		20.1				cm²	
		As+req		10.9				cm²	
Límites para la armadura longitudinal (ACI318-19 9.6.1.2)		As- min		11.6		OK		cm²	
		As- min		11.6		OK		cm²	
		As+ max		87.1		OK		cm²	
Deformación del acero en tracción		εs-		0.024		OK			
		εs+		0.036		OK			
		εs min		0.005					
Verificación de la armadura longitudinal negativa y la resistencia a la flexión		Mu crit		46.1				tonf · m	
		φ		0.9					
		φ Mn-		50.1		OK		tonf · m	
Verificación de la armadura longitudinal positiva y la resistencia a la flexión		Mu+ crit		25.5				tonf · m	
		φ		0.9					
		φ Mn+		35.3		OK		tonf · m	
		φ Mn-/2		25.0		OK		tonf · m	

Figura 78: Diseño de vigas del quinto y sexto piso R = 3.5

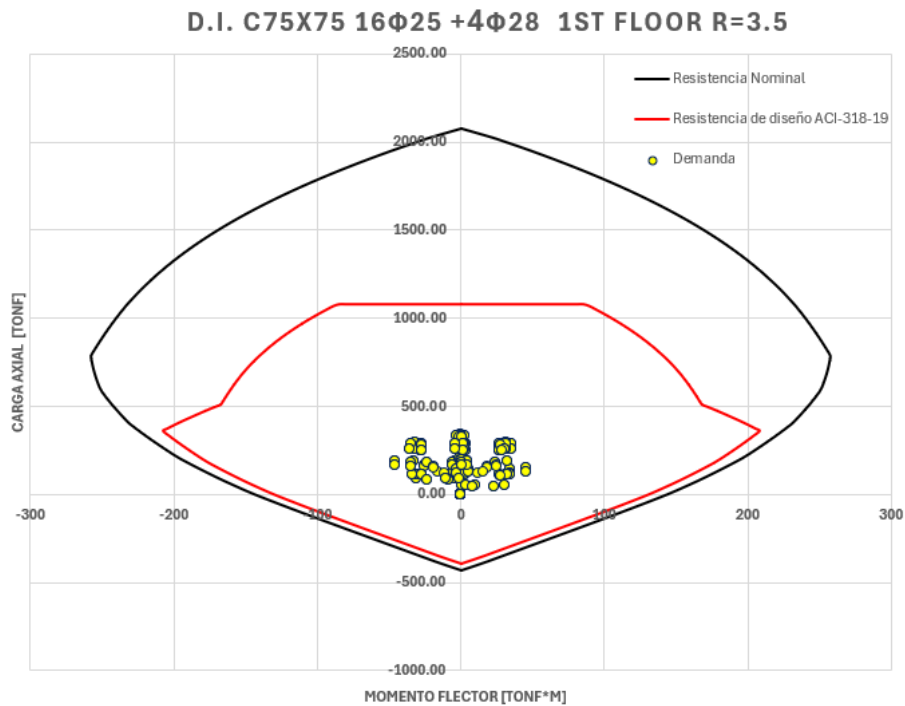


Figura 79: Diseño de columnas del primer piso R = 3.5

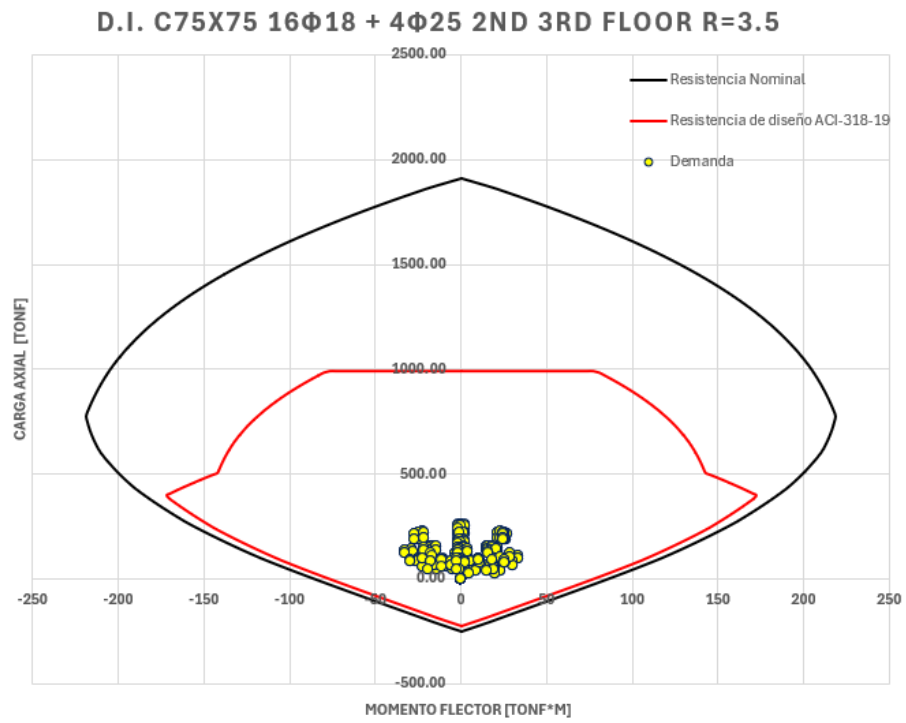


Figura 80: Diseño de columnas del segundo y tercer piso $R = 3.5$

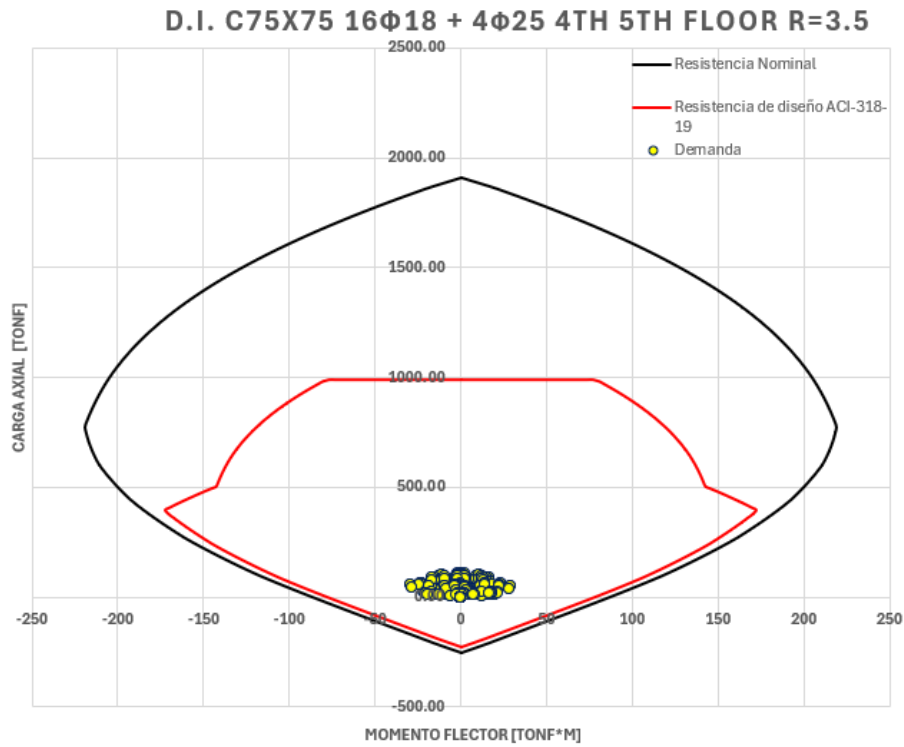


Figura 81: Diseño de columnas del cuarto y quinto piso $R = 3.5$

A.12. Criterio de columna fuerte y viga débil $R = 3.5$

<table><tr><th colspan="2">Nodo 1</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>141.501666 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>111.757953 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 1		ΣM_{nc}	141.501666 [tonf*m]	ΣM_{nv}	111.757953 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 2</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>155.8227 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>150.8272 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 2		ΣM_{nc}	155.8227 [tonf*m]	ΣM_{nv}	150.8272 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 3</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>156.2587 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>150.8272 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 3		ΣM_{nc}	156.2587 [tonf*m]	ΣM_{nv}	150.8272 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 4</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>155.8227 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>150.8272 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 4		ΣM_{nc}	155.8227 [tonf*m]	ΣM_{nv}	150.8272 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 5</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>141.5017 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>111.758 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 5		ΣM_{nc}	141.5017 [tonf*m]	ΣM_{nv}	111.758 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
Nodo 1																																												
ΣM_{nc}	141.501666 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	111.757953 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 2																																												
ΣM_{nc}	155.8227 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	150.8272 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 3																																												
ΣM_{nc}	156.2587 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	150.8272 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 4																																												
ΣM_{nc}	155.8227 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	150.8272 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 5																																												
ΣM_{nc}	141.5017 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	111.758 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">Nodo 6</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>230.65453 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>111.757953 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 6		ΣM_{nc}	230.65453 [tonf*m]	ΣM_{nv}	111.757953 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 7</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>257.758 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.893 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 7		ΣM_{nc}	257.758 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.893 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 8</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>258.5391 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.893 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 8		ΣM_{nc}	258.5391 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.893 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 9</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>257.758 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.893 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 9		ΣM_{nc}	257.758 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.893 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">Nodo 10</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>230.6545 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>134.1095 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	Nodo 10		ΣM_{nc}	230.6545 [tonf*m]	ΣM_{nv}	134.1095 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
Nodo 6																																												
ΣM_{nc}	230.65453 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	111.757953 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 7																																												
ΣM_{nc}	257.758 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.893 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 8																																												
ΣM_{nc}	258.5391 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.893 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 9																																												
ΣM_{nc}	257.758 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.893 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
Nodo 10																																												
ΣM_{nc}	230.6545 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	134.1095 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">11</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>175.774985 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>119.250453 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	11		ΣM_{nc}	175.774985 [tonf*m]	ΣM_{nv}	119.250453 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">12</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>197.48 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.89 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	12		ΣM_{nc}	197.48 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">13</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>198.05 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.89 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	13		ΣM_{nc}	198.05 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">14</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>197.48 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.89 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	14		ΣM_{nc}	197.48 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">15</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>175.77 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>119.25 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	15		ΣM_{nc}	175.77 [tonf*m]	ΣM_{nv}	119.25 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
11																																												
ΣM_{nc}	175.774985 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	119.250453 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
12																																												
ΣM_{nc}	197.48 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
13																																												
ΣM_{nc}	198.05 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
14																																												
ΣM_{nc}	197.48 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
15																																												
ΣM_{nc}	175.77 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	119.25 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">16</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>170.148675 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>119.250453 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	16		ΣM_{nc}	170.148675 [tonf*m]	ΣM_{nv}	119.250453 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">17</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>184.46 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.89 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	17		ΣM_{nc}	184.46 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">18</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>184.86 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.89 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	18		ΣM_{nc}	184.86 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">19</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>184.46 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>168.89 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	19		ΣM_{nc}	184.46 [tonf*m]	ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">20</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>170.1487 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>119.2505 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	20		ΣM_{nc}	170.1487 [tonf*m]	ΣM_{nv}	119.2505 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
16																																												
ΣM_{nc}	170.148675 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	119.250453 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
17																																												
ΣM_{nc}	184.46 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
18																																												
ΣM_{nc}	184.86 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
19																																												
ΣM_{nc}	184.46 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	168.89 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
20																																												
ΣM_{nc}	170.1487 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	119.2505 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
<table><tr><th colspan="2">21</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>163.375838 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>102.854196 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	21		ΣM_{nc}	163.375838 [tonf*m]	ΣM_{nv}	102.854196 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">22</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>171.12 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	22		ΣM_{nc}	171.12 [tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">23</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>171.36 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	23		ΣM_{nc}	171.36 [tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">24</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>171.12 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>151.86 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	24		ΣM_{nc}	171.12 [tonf*m]	ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.		<table><tr><th colspan="2">25</th></tr><tr><td>ΣM_{nc}</td><td>163.3758 [tonf*m]</td></tr><tr><td>ΣM_{nv}</td><td>102.8542 [tonf*m]</td></tr><tr><td colspan="2">Cumple C.F.V.D.</td></tr></table>	25		ΣM_{nc}	163.3758 [tonf*m]	ΣM_{nv}	102.8542 [tonf*m]	Cumple C.F.V.D.	
21																																												
ΣM_{nc}	163.375838 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	102.854196 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
22																																												
ΣM_{nc}	171.12 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
23																																												
ΣM_{nc}	171.36 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
24																																												
ΣM_{nc}	171.12 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	151.86 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												
25																																												
ΣM_{nc}	163.3758 [tonf*m]																																											
ΣM_{nv}	102.8542 [tonf*m]																																											
Cumple C.F.V.D.																																												

Figura 82: Criterio columna fuerte y viga débil $R = 3.5$

A.13. Registros sísmicos

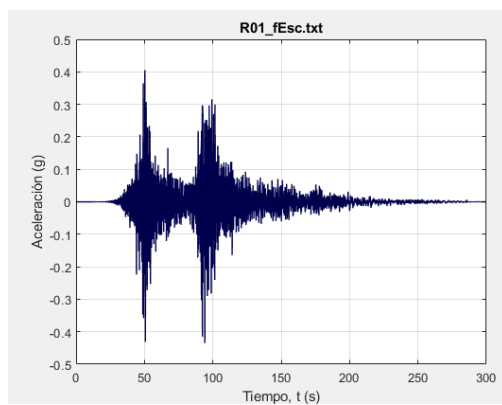


Figura 83: Registro N°1

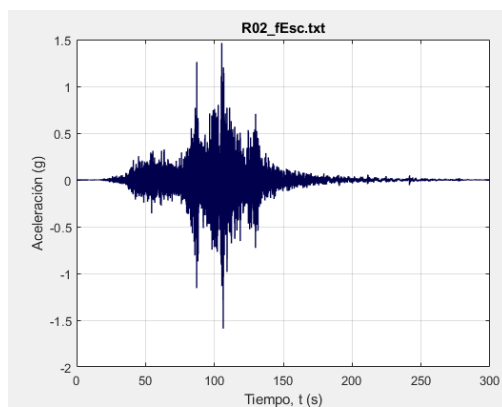


Figura 84: Registro N°2

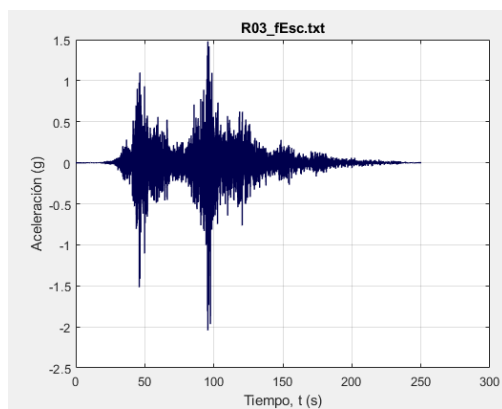


Figura 85: Registro N°3

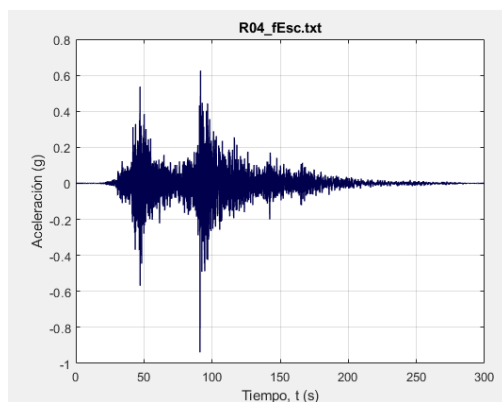


Figura 86: Registro N°4

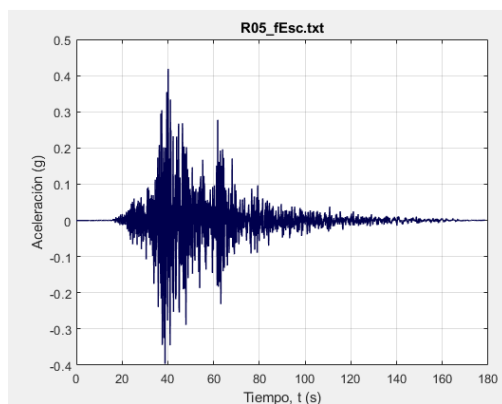


Figura 87: Registro N°5

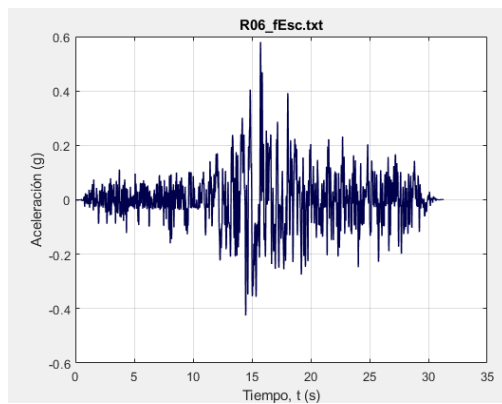


Figura 88: Registro N°6

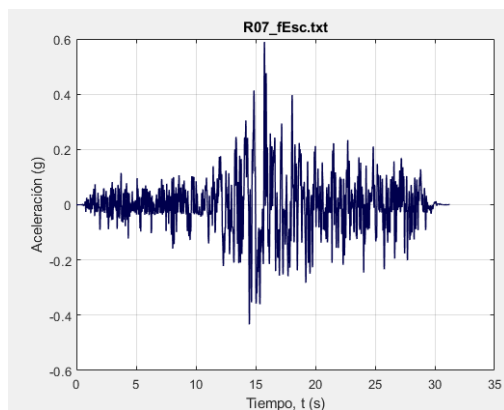


Figura 89: Registro N°7

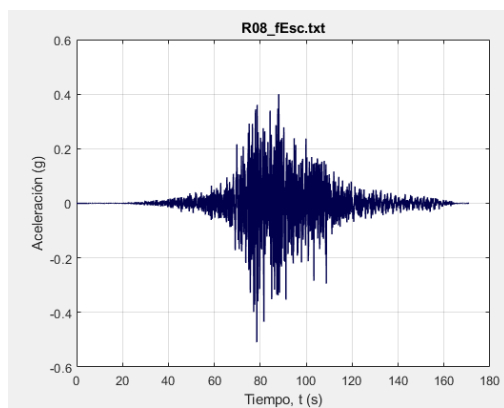


Figura 90: Registro N°8

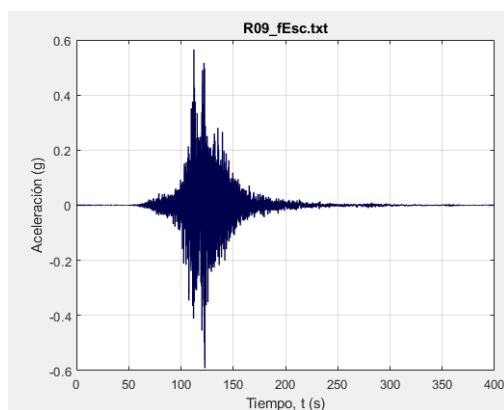


Figura 91: Registro N°9

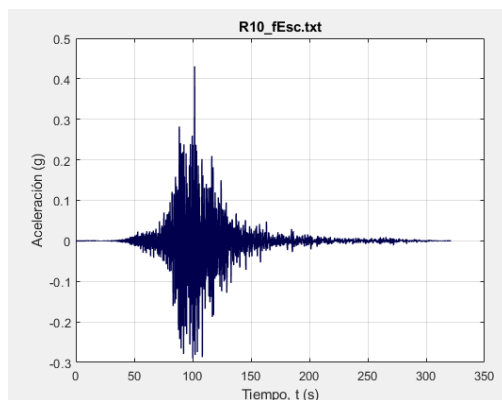


Figura 92: Registro N°10

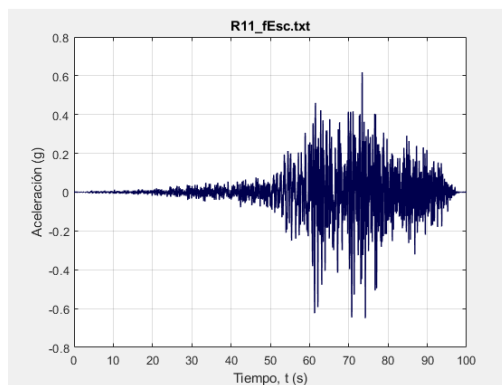


Figura 93: Registro N°11

A.14. Definición de linealidad del comportamiento de cada diseño según registro

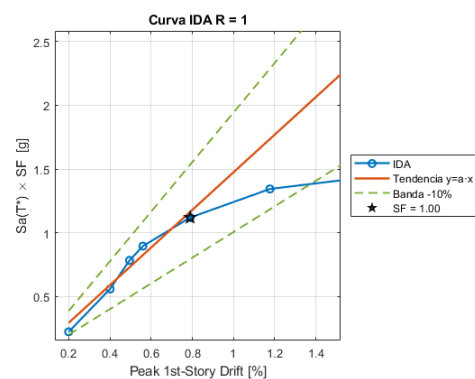


Figura 94: Definición de linealidad para el registro N°2, R=1.0

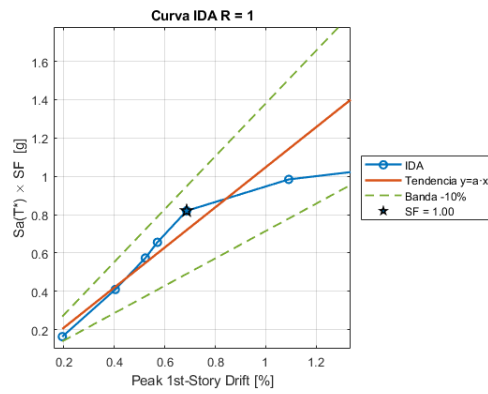


Figura 95: Definición de linealidad para el registro N°3, R=1.0

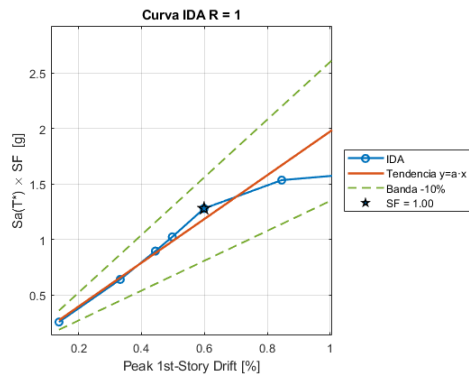


Figura 96: Definición de linealidad para el registro N°4, R=1.0

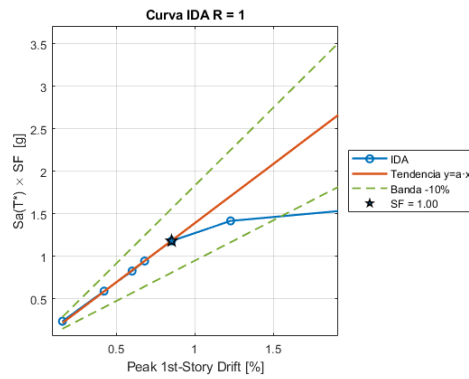


Figura 97: Definición de linealidad para el registro N°5, R=1.0

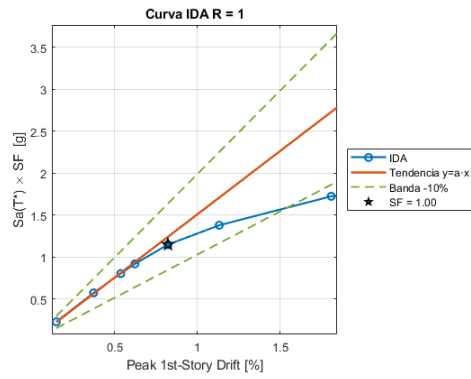


Figura 98: Definición de linealidad para el registro N^o6, R=1.0

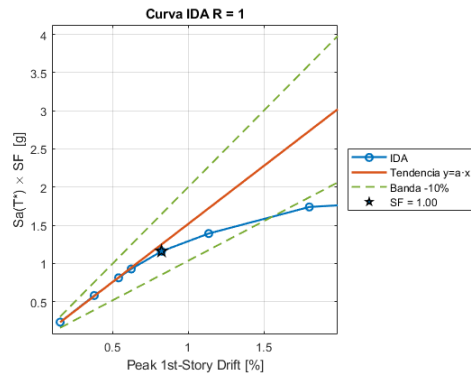


Figura 99: Definición de linealidad para el registro N^o7, R=1.0

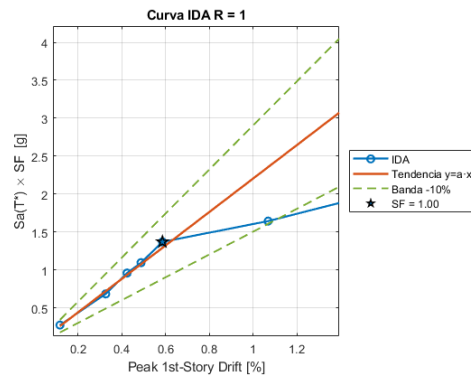


Figura 100: Definición de linealidad para el registro N^o8, R=1.0

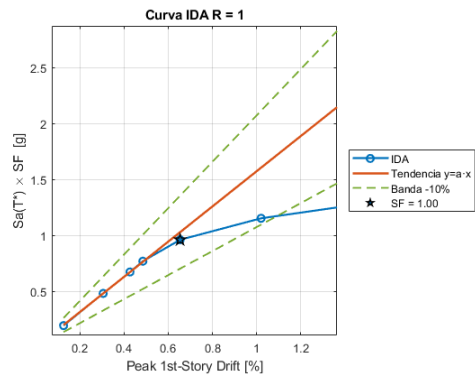


Figura 101: Definición de linealidad para el registro N^o9, R=1.0

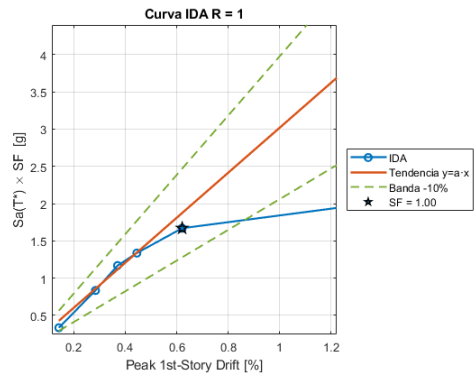


Figura 102: Definición de linealidad para el registro N^o10, R=1.0

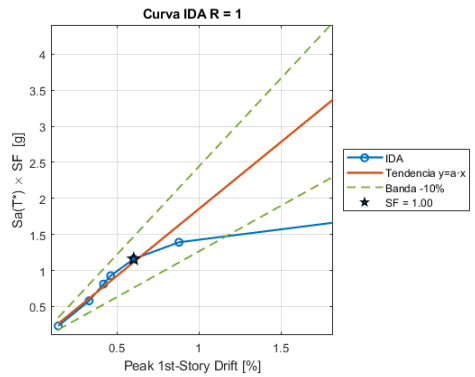


Figura 103: Definición de linealidad para el registro N^o11, R=1.0

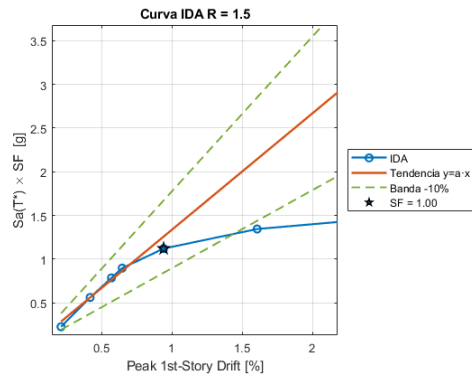


Figura 104: Definición de linealidad para el registro N°2, R=1.5

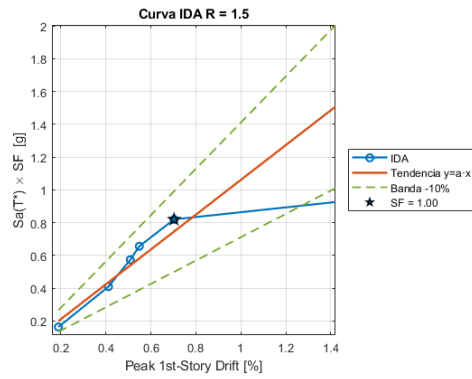


Figura 105: Definición de linealidad para el registro N°3, R=1.5

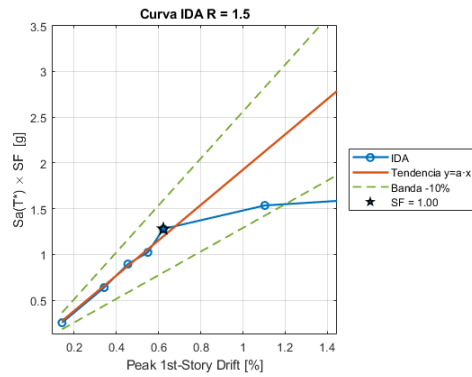


Figura 106: Definición de linealidad para el registro N°4, R=1.5

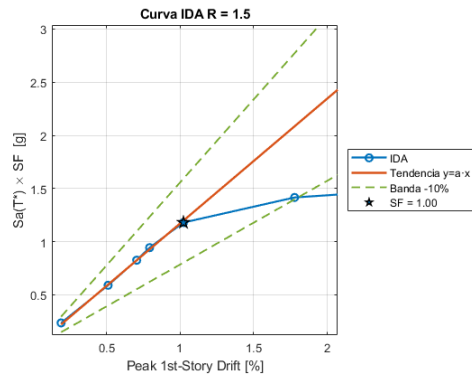


Figura 107: Definición de linealidad para el registro N^o5, R=1.5

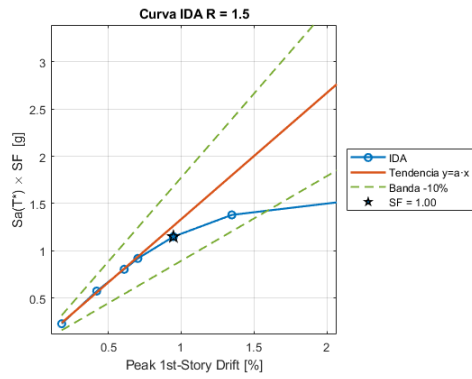


Figura 108: Definición de linealidad para el registro N^o6, R=1.5

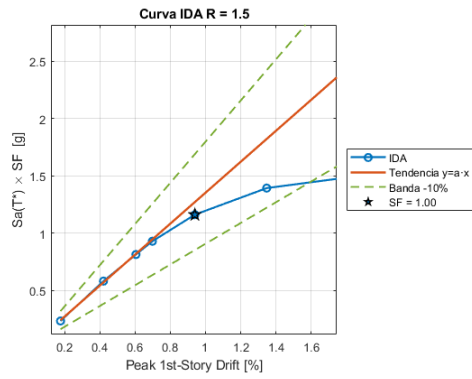


Figura 109: Definición de linealidad para el registro N^o7, R=1.5

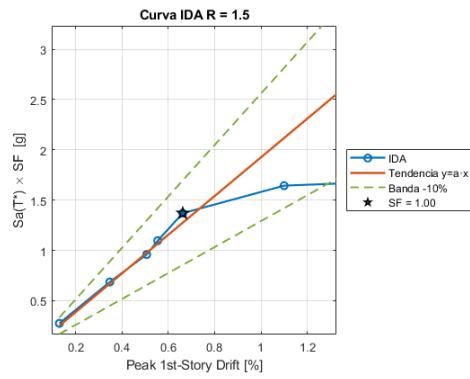


Figura 110: Definición de linealidad para el registro N°8, R=1.5

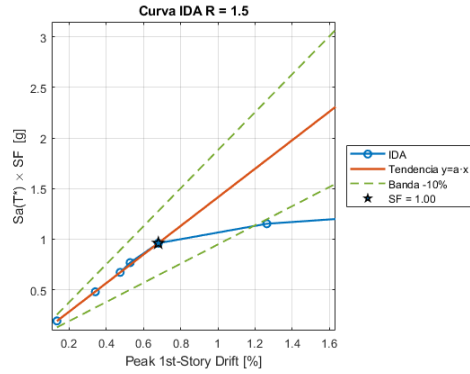


Figura 111: Definición de linealidad para el registro N°9, R=1.5

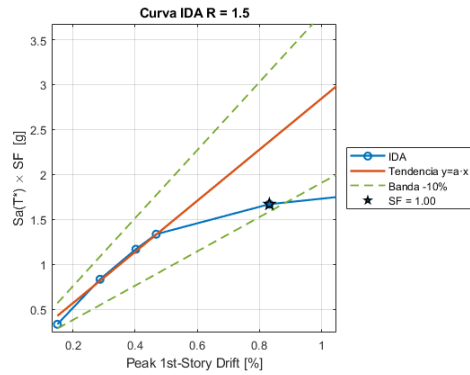


Figura 112: Definición de linealidad para el registro N°10, R=1.5

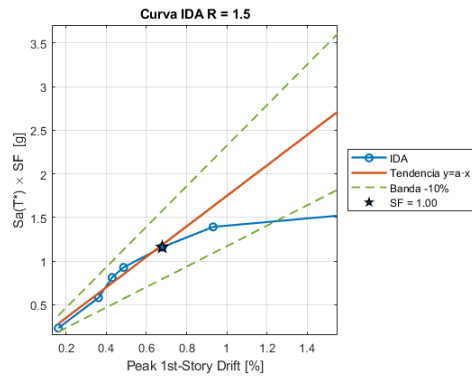


Figura 113: Definición de linealidad para el registro N°11, R=1.5

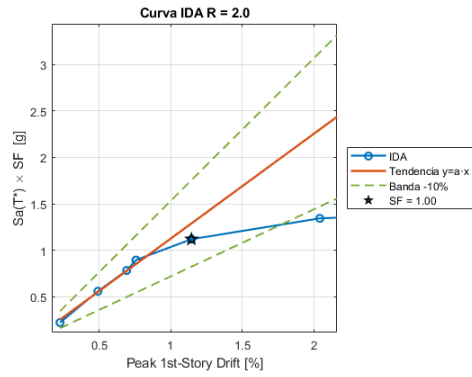


Figura 114: Definición de linealidad para el registro N°2, R=2.0

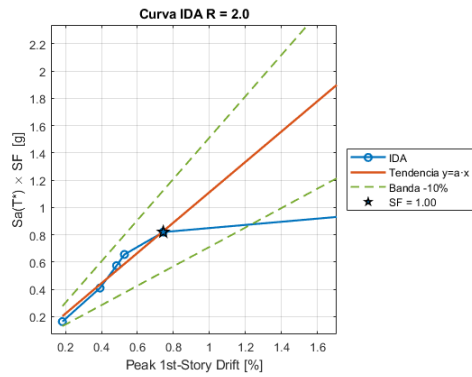


Figura 115: Definición de linealidad para el registro N°3, R=2.0

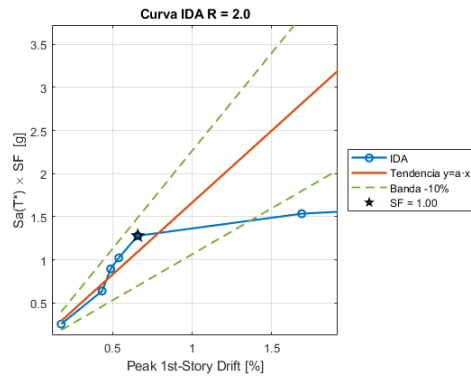


Figura 116: Definición de linealidad para el registro N^o4, R=2.0

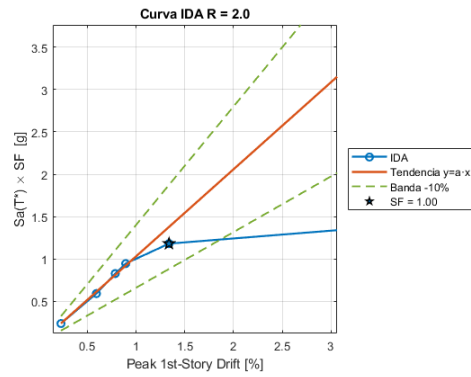


Figura 117: Definición de linealidad para el registro N^o5, R=2.0

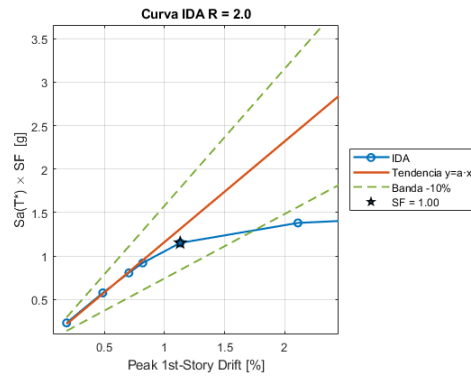


Figura 118: Definición de linealidad para el registro N^o6, R=2.0

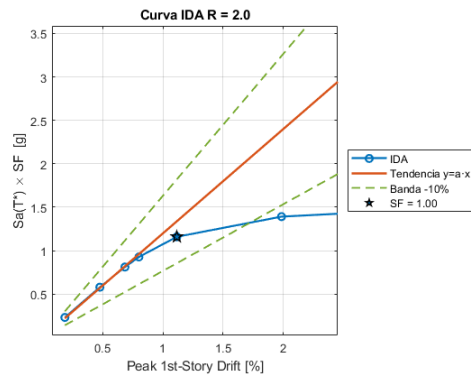


Figura 119: Definición de linealidad para el registro N^o7, R=2.0

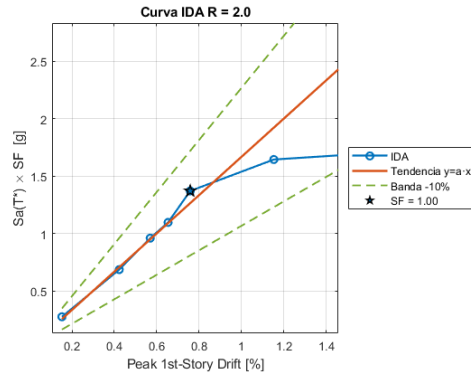


Figura 120: Definición de linealidad para el registro N^o8, R=2.0

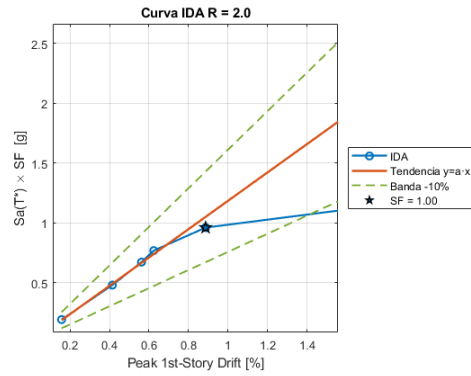


Figura 121: Definición de linealidad para el registro N^o9, R=2.0

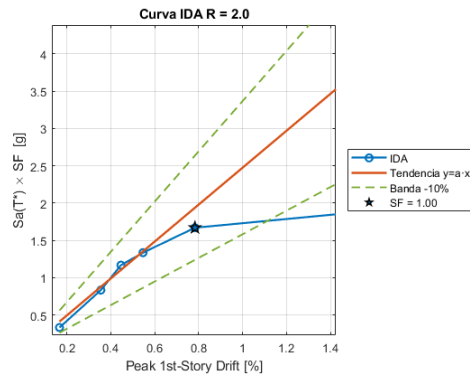


Figura 122: Definición de linealidad para el registro N°10, R=2.0

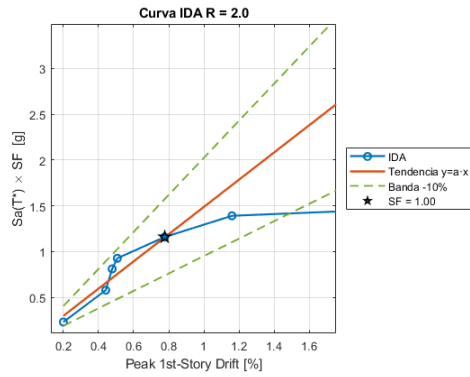


Figura 123: Definición de linealidad para el registro N°11, R=2.0

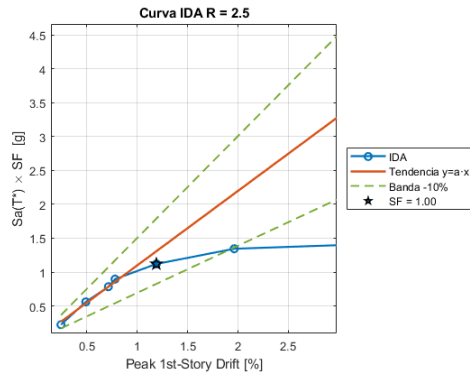


Figura 124: Definición de linealidad para el registro N°2, R=2.5

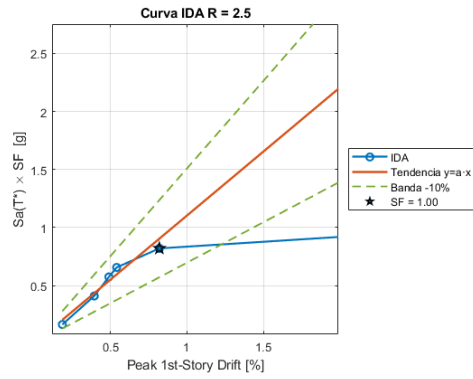


Figura 125: Definición de linealidad para el registro N^o3, R=2.5

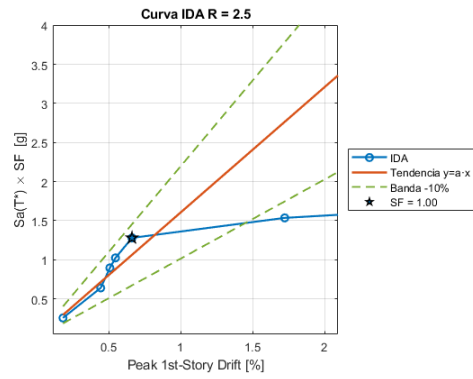


Figura 126: Definición de linealidad para el registro N^o4, R=2.5

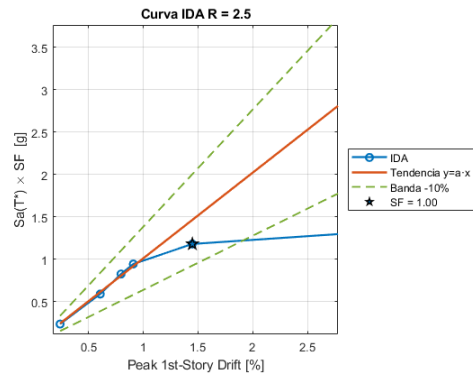


Figura 127: Definición de linealidad para el registro N^o5, R=2.5

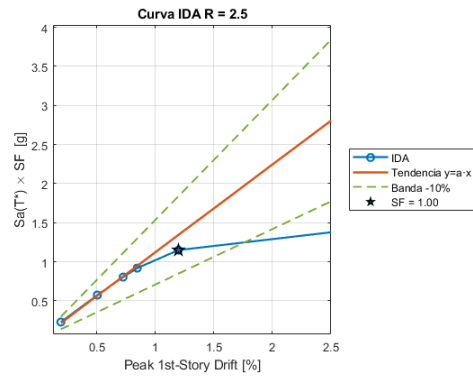


Figura 128: Definición de linealidad para el registro N^o6, R=2.5

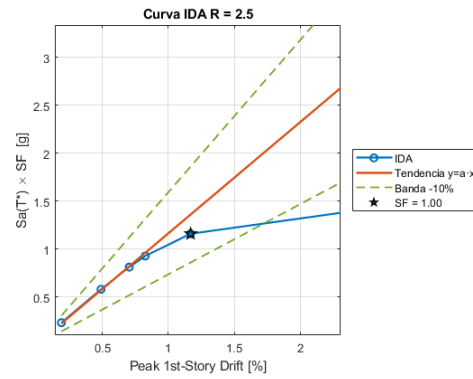


Figura 129: Definición de linealidad para el registro N^o7, R=2.5

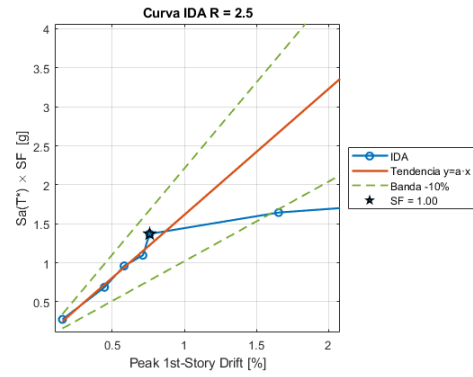


Figura 130: Definición de linealidad para el registro N^o8, R=2.5

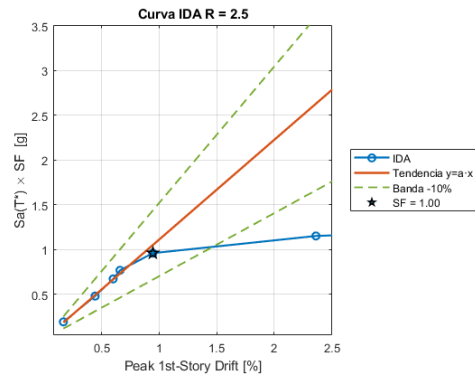


Figura 131: Definición de linealidad para el registro N°9, R=2.5

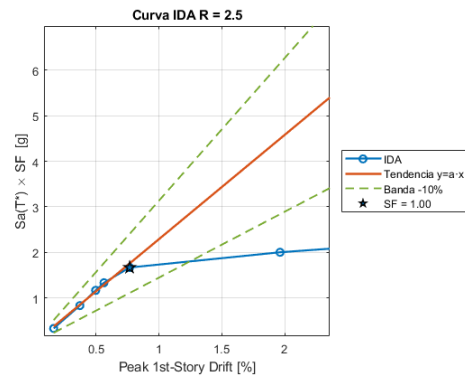


Figura 132: Definición de linealidad para el registro N°10, R=2.5

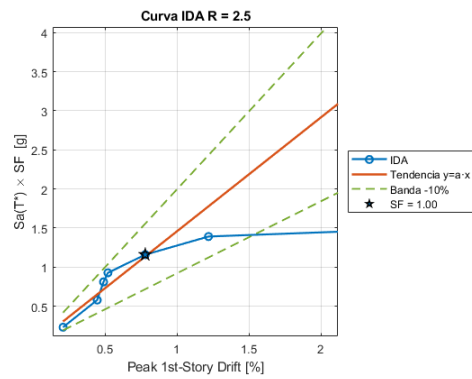


Figura 133: Definición de linealidad para el registro N°11, R=2.5

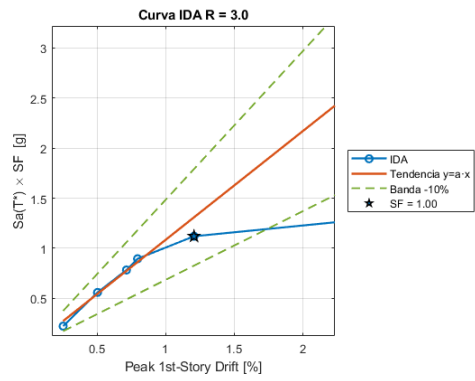


Figura 134: Definición de linealidad para el registro N^o2, R=3.0

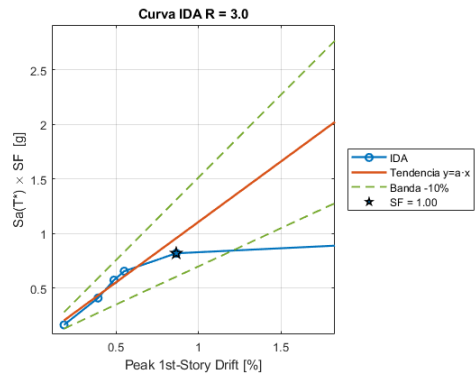


Figura 135: Definición de linealidad para el registro N^o3, R=3.0

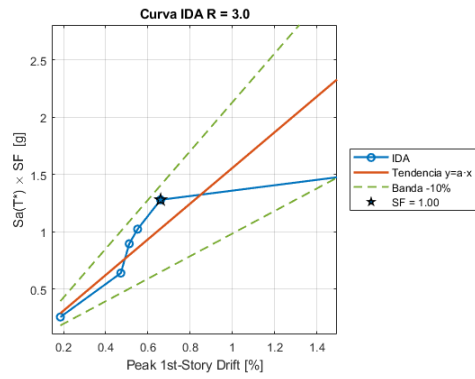


Figura 136: Definición de linealidad para el registro N^o4, R=3.0

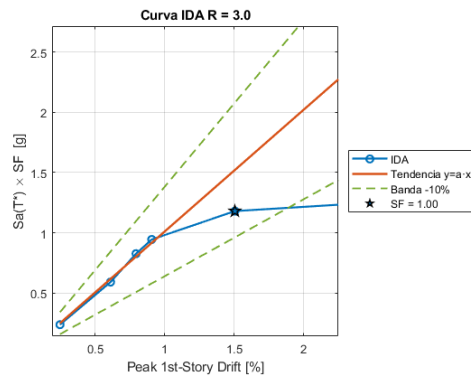


Figura 137: Definición de linealidad para el registro N^o5, R=3.0

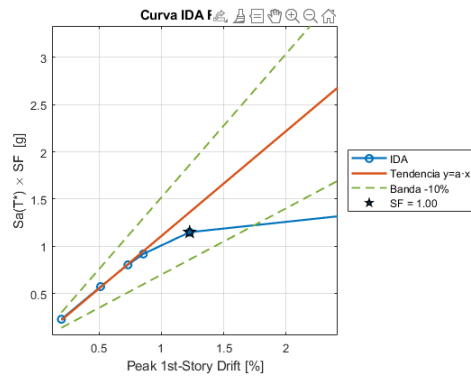


Figura 138: Definición de linealidad para el registro N^o6, R=3.0

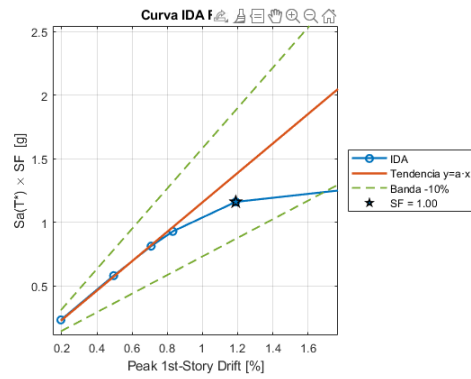


Figura 139: Definición de linealidad para el registro N^o7, R=3.0

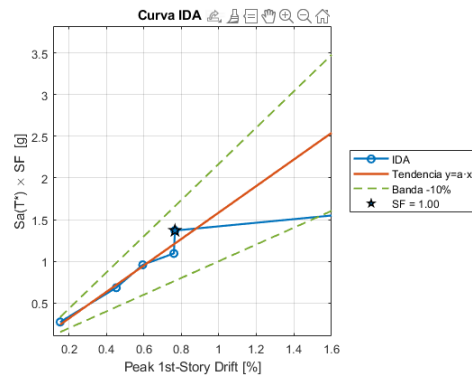


Figura 140: Definición de linealidad para el registro N°8, R=3.0

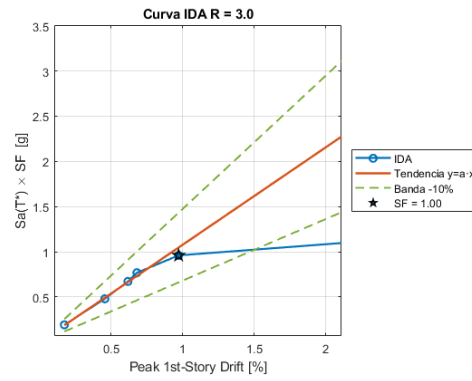


Figura 141: Definición de linealidad para el registro N°9, R=3.0

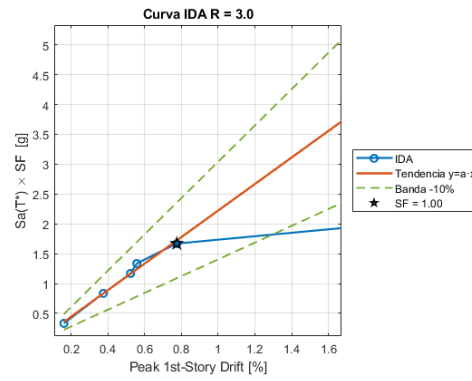


Figura 142: Definición de linealidad para el registro N°10, R=3.0

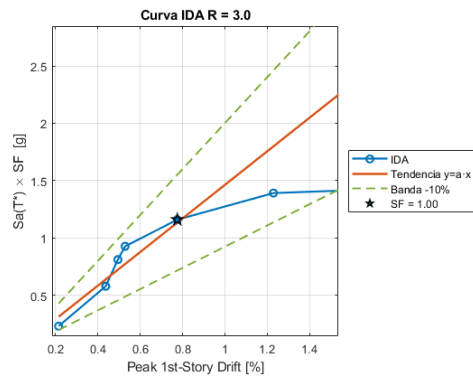


Figura 143: Definición de linealidad para el registro N°11, R=3.0

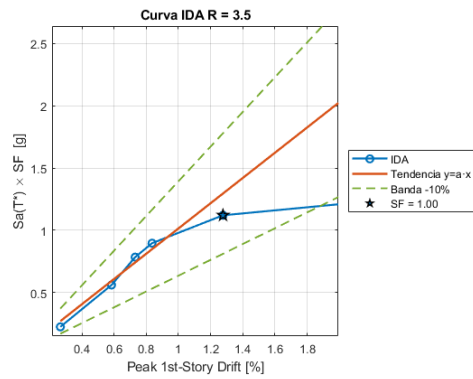


Figura 144: Definición de linealidad para el registro N°2, R=3.5

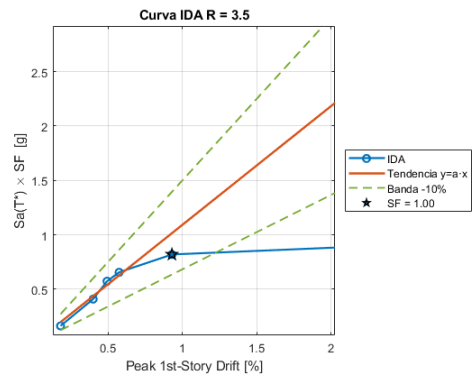


Figura 145: Definición de linealidad para el registro N°3, R=3.5

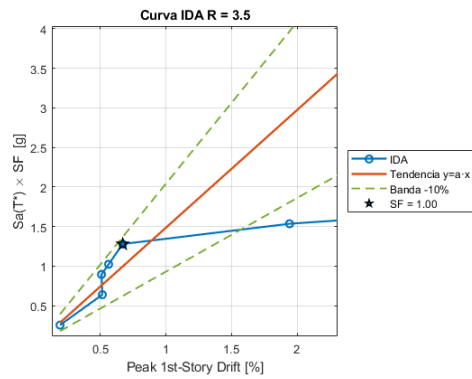


Figura 146: Definición de linealidad para el registro N^o4, R=3.5

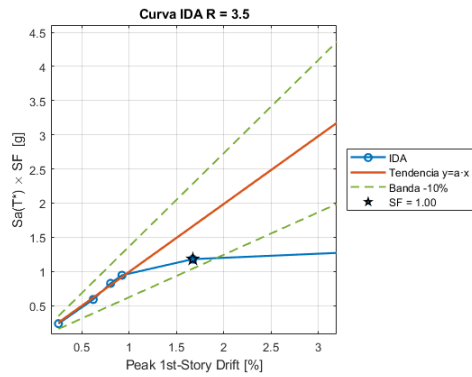


Figura 147: Definición de linealidad para el registro N^o5, R=3.5

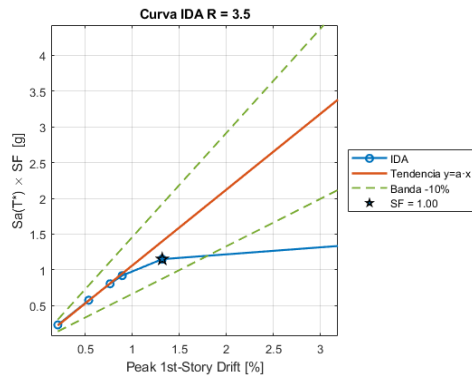


Figura 148: Definición de linealidad para el registro N^o6, R=3.5

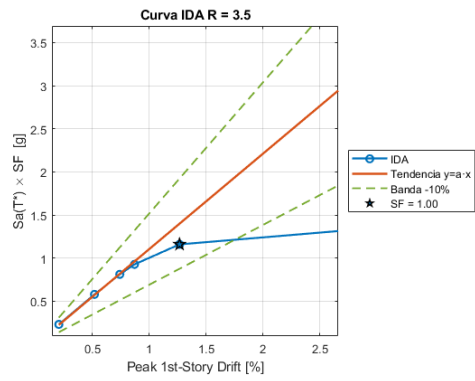


Figura 149: Definición de linealidad para el registro N°7, R=3.5

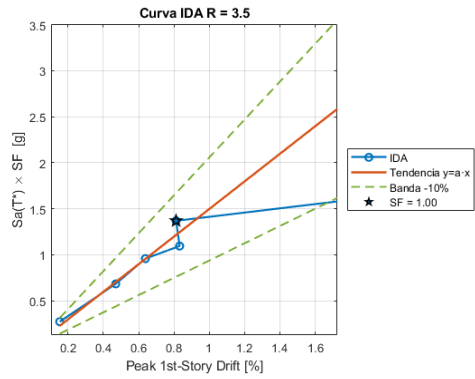


Figura 150: Definición de linealidad para el registro N°8, R=3.5

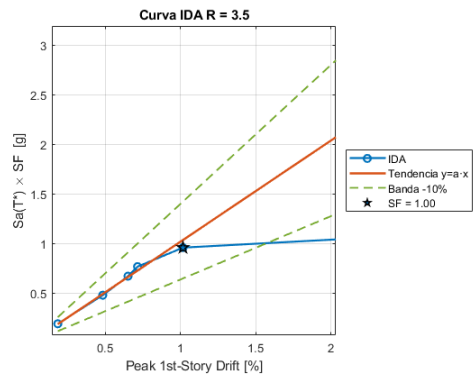


Figura 151: Definición de linealidad para el registro N°9, R=3.5

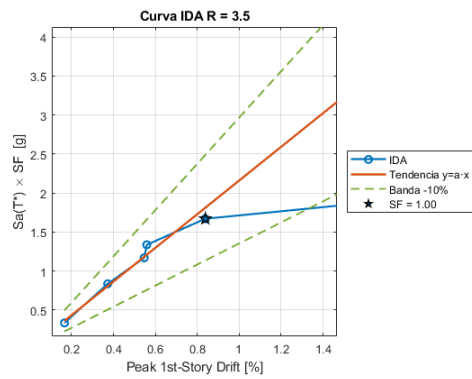


Figura 152: Definición de linealidad para el registro N^o10, R=3.5

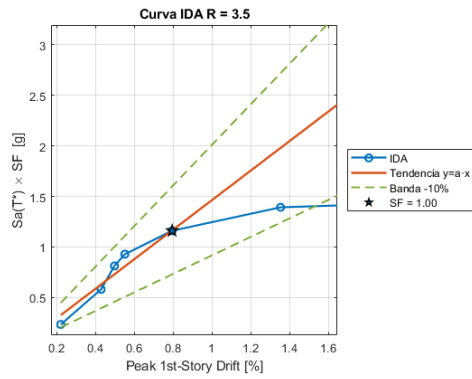


Figura 153: Definición de linealidad para el registro N^o11, R=3.5