

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“VULNERABILIDAD SÍSMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS  
PUSHOVER DEL HOSPITAL DE LA SOLIDARIDAD, TACNA,  
2022”**

**PARA OPTAR:  
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:  
Bach. HEIDY GEOVANNA PILCO APAZA  
Bach. RENATO ALONSO PORTUGAL TACORA**

**TACNA – PERÚ  
2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“VULNERABILIDAD SÍSMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS  
PUSHOVER DEL HOSPITAL DE LA SOLIDARIDAD, TACNA,  
2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 04 de junio de 2022; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTA: Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES**

**SECRETARIA: Mag. ANGELY PAOLA VALLE CASTRO**

**VOCAL: Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRIAS**

**ASESOR: Mtro. EDGAR HIPÓLITO CHAPARRO QUISPE**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, **Heidy Geovanna Pilco Apaza** identificado con documento de identidad 70299416 y **Renato Alonso Portugal Tacora**, identificado con documento de identidad 76313550, en calidad de: Bachilleres en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada "*Vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022*" el mismo que se presenta para optar: *El título profesional de ingeniero civil.*
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencial para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar con causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente, asumimos las consecuencia y sanciones que de nuestra acción se derive, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 04 de junio de 2022.



-----  
Bach. Pilco Apaza, Heidy Geovanna  
DNI: 70299416



-----  
Bach. Portugal Tacora, Renato Alonso  
DNI: 76313550

## DEDICATORIA

*A Dios, por permitirme culminar con éxito mi tan anhelada carrera, a mis padres que siempre me brindan su amor en todo momento y a mis ángeles que estuvieron presentes en las etapas más bonitas de mi vida mi hermanito Marco Antonio Pilco Apaza, mi tío José Antonio Apaza Chambilla y mi mamá grande Benita Apaza Chambilla.*

***Bach. Heidy Geovanna Pilco Apaza***

*A mis padres Asela Norma Tacora y Jesús Portugal por su apoyo y sacrificio para darme educación. A mis hermanos Carol, Renzo y a mis padrinos Gloria y César por su apoyo incondicional durante mi desarrollo profesional.*

***Bach. Renato Alonso Portugal Tacora***

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por forjar nuestro camino, por darnos sabiduría y fortaleza para alcanzar nuestros objetivos.

A nuestro asesor de tesis al Mtro. Ing. Edgar Hipólito Chaparro por su tiempo y apoyo en la asesoría durante el desarrollo de la tesis.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna por impartir conocimientos durante nuestra formación como ingenieros civiles.

Los autores

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.2.1. Problema General.....	3
1.2.2. Problemas Específicos.....	3
1.3. Justificación e Importancia de la Investigación .....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis General .....	4
1.5.2. Hipótesis Específicas .....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes del Estudio .....	5
2.1.1. Antecedente de Estudio Internacional.....	5
2.1.2. Antecedente de Estudio Nacional .....	6
2.1.3. Antecedente de Estudio Local.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	8

2.2.1.	Sismicidad en el Territorio Peruano .....	8
2.2.2.	Sismicidad en la Ciudad de Tacna .....	9
2.2.3.	Vulnerabilidad Sísmica.....	9
2.2.4.	Análisis Sísmico Basado en Métodos no Lineales .....	10
2.2.4.1.	Tipos de Ductilidad .....	10
2.2.4.2.	Capacidad, Demanda y Desempeño .....	11
2.2.4.3.	Procedimientos de Análisis Estático no Lineal .....	12
2.2.5.	Método Análisis Pushover.....	13
2.2.6.	Modelo Constitutivo del Concreto.....	14
2.2.6.1.	Modelo de Hognestad.....	14
2.2.6.2.	Modelo de Kent y Park.....	14
2.2.7.	Modelos Constitutivos del Acero de Refuerzo.....	16
2.2.7.1.	Modelo Elastoplástico Perfecto .....	16
2.2.7.2.	Modelo Trilineal .....	16
2.2.7.3.	Modelo con Endurecimiento Parabólico.....	17
2.2.8.	Diagrama Momento Curvatura .....	18
2.2.9.	Modelos de Plasticidad .....	19
2.2.10.	Curva de Capacidad .....	20
2.2.11.	Patrones de Carga.....	22
2.2.12.	Curva de Capacidad .....	22
2.2.13.	Ensayo de Esclerometría .....	23
2.2.13.1.	Esclerómetro.....	23
2.2.14.	Normatividad Peruana .....	24
2.2.14.1.	Norma de Cargas .....	24
2.2.14.2.	Norma de Diseño Sismorresistente.....	24
2.2.14.3.	Norma de Concreto Armado .....	25
2.3.	Definición de Términos .....	25
2.3.1.	Evaluación Estructural .....	25
2.3.2.	Estructura .....	25

2.3.3.	Peligro Sísmico .....	25
2.3.4.	Riesgo Sísmico .....	26
2.3.5.	Sistema Estructural .....	26
2.3.6.	Análisis Lineal .....	26
2.3.7.	Análisis no Lineal .....	26
2.3.8.	Capacidad Estructural .....	26
2.3.9.	Demanda de Desplazamiento .....	27
2.3.10.	Desempeño Esperado por la Edificación.....	27
2.3.11.	Desempeño Estructural.....	27
2.3.12.	Ductilidad .....	27
2.3.13.	Fallas Estructurales por Rigidez Lateral .....	27
2.3.14.	Fallas Estructurales por Rotación de Elementos .....	27
2.3.15.	Rótula Plástica .....	28
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....		29
3.1.	Tipo y Diseño de Investigación .....	29
3.1.1.	Tipo de Investigación .....	29
3.1.2.	Diseño de Investigación .....	29
3.2.	Población y Muestra de Estudio .....	29
3.2.1.	Población .....	29
3.2.2.	Muestra.....	29
3.3.	Operacionalización de Variables .....	29
3.4.	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos.....	31
3.4.1.	Plan de Recolección de Datos .....	31
3.4.2.	Ubicación del Hospital de la Solidaridad .....	31
3.4.3.	Revisión del Expediente.....	32
3.4.4.	Descripción del Trabajo en Campo .....	42
3.5.	Procesamiento y Análisis de Datos.....	45
3.5.1.	Modelado Elástico lineal .....	45
3.5.2.	Análisis Por Cargas de Gravedad .....	50



3.5.3.	Análisis Modal.....	51
3.5.3.1.	Tabla de Periodos de la Estructura.....	51
3.5.4.	Análisis Estático.....	52
3.5.5.	Análisis Modal Espectral.....	53
3.5.5.1.	Procedimiento de Verificación de Irregularidades.....	56
3.5.5.2.	Procedimiento de Verificación de Derivas.....	56
3.5.5.3.	Procedimiento de Verificación de Escalamiento de Fuerza.....	56
3.5.6.	Análisis Estático No lineal Pushover.....	57
3.5.6.1.	Definición de Materiales no Lineales.....	58
3.5.6.2.	Definición de no Linealidad en las Columnas.....	59
3.5.6.3.	Definición de no Linealidad en Vigas.....	61
3.5.6.4.	Creación de Caso de Carga no Lineal por Gravedad.....	62
3.5.6.5.	Creación de Caso de Carga no Lineal.....	63
3.5.6.6.	Curva de Capacidad de la Estructura Global.....	65
3.5.6.7.	Punto de Desempeño para el Sismo de Diseño.....	66
3.5.6.8.	Verificación de los Elementos Estructurales.....	66
3.5.6.9.	Vulnerabilidad Sísmica.....	67
CAPÍTULO IV.	RESULTADOS.....	69
4.1.	Vulnerabilidad Sísmica mediante el Análisis Pushover.....	69
4.1.1.	Resultado de Ficha de Inspección.....	69
4.1.2.	Ensayo no Destructivo de Esclerometría.....	70
4.1.3.	Desempeño de la Estructura.....	70
4.2.	Parámetros Sísmicos y Espectro de Diseño.....	71
4.2.1.	Parámetros Sísmicos.....	71
4.2.2.	Espectro de Diseño.....	72
4.3.	Verificación de las Irregularidades y Distorsiones.....	73
4.3.1.	Verificación de Irregularidades.....	73
4.3.1.1.	Verificación de Irregularidad en Planta.....	73
4.3.1.2.	Verificación de Irregularidad en Altura.....	73

4.3.1.3. Verificación de Irregularidad por Peso .....	74
4.3.2. Distorsión de Entrepiso .....	74
4.4. Punto de Desempeño Sísmico .....	75
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....	78
CONCLUSIONES .....	80
RECOMENDACIONES .....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
ANEXO .....	86

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de variables.....	30
Tabla 2. Plan de recolección de datos .....	31
Tabla 3. Características del estudio de mecánica de suelos.....	35
Tabla 4. Propiedades mecánicas del concreto.....	35
Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero .....	40
Tabla 6. Ficha técnica del ensayo del esclerómetro.....	44
Tabla 7. Carga muerta .....	51
Tabla 8. Carga viva.....	51
Tabla 9. Centro de masa y rigidez .....	51
Tabla 10. Modos de vibración .....	52
Tabla 11. Verificación de derivas en sentido X .....	56
Tabla 12. Verificación de derivas en sentido Y .....	56
Tabla 13. Verificación de escalamiento de fuerza .....	57
Tabla 14. Parámetros de control de solución no lineal.....	65
Tabla 15. Resistencia del concreto en campo.....	70
Tabla 16. Parámetros sísmicos.....	71
Tabla 17. Verificación de irregularidad torsional en X .....	73
Tabla 18. Verificación de irregularidad torsional en Y .....	73
Tabla 19. Verificación de irregularidad piso blando en X.....	73
Tabla 20. Verificación de irregularidad piso blando en Y.....	74
Tabla 21. Verificación de irregularidad por peso .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de Hognestad.....	14
Figura 2. Modelo de Kent y Park.....	15
Figura 3. Modelo elastoplástico perfecto.....	16
Figura 4. Modelo trilineal.....	17
Figura 5. Modelo con Endurecimiento Curvo .....	17
Figura 6. Diagrama momento–curvatura de una sección .....	19
Figura 7. Modelos de Plasticidad .....	20
Figura 8. Análisis Pushover y curva de capacidad .....	21
Figura 9. Distribución de cargas laterales para análisis Pushover .....	22
Figura 10. Esclerómetro analógico .....	24
Figura 11. Ubicación de la edificación.....	32
Figura 12. Distribución de arquitectura general del primer nivel.....	33
Figura 13. Distribución de arquitectura general del segundo nivel .....	34
Figura 14. Plano de estructuras planta general.....	36
Figura 15. Plano de estructuras primera planta bloque A.....	37
Figura 16. Plano de estructuras segunda planta general .....	38
Figura 17. Plano de estructuras segunda planta bloque A.....	39
Figura 18. Secciones de la viga V-101.....	40
Figura 19. Secciones de la viga V-201.....	40
Figura 20. Sección de la viga principal.....	41
Figura 21. Sección de la viga secundaria .....	41
Figura 22. Sección de la columna 1 y 2 .....	41
Figura 23. Sección de la columna 3 y 4 .....	42
Figura 24. Ficha de inspección .....	43
Figura 25. Dibujo y modelado de columna sección rectangular .....	45
Figura 26. Dibujo y modelado de columna sección T .....	46
Figura 27. Viga peraltada VP-101.....	46
Figura 28. Definición del concreto elastoplástico .....	47
Figura 29. Definición del acero elastoplástico .....	47
Figura 30. Vista del primer nivel.....	48
Figura 31. Vista del segundo nivel .....	49
Figura 32. Vista isométrico 3D lateral .....	50
Figura 33. Vista isométrico 3D inferior .....	50
Figura 34. Distribución de fuerzas inerciales.....	53
Figura 35. Definición de espectro de diseño en X.....	54

Figura 36. Definición de espectro de diseño en Y .....	54
Figura 37. Caso de sismo X.....	55
Figura 38. Caso de sismo Y.....	55
Figura 39. Cuadro ASE/SEI 41-17 .....	58
Figura 40. Modelo no lineal del concreto .....	58
Figura 41. Esfuerzo deformación del concreto .....	59
Figura 42. Esfuerzo deformación del acero.....	59
Figura 43. Definición de Hinge tipo fibra para columna .....	60
Figura 44. Asignación de rotulas a las columnas planta.....	60
Figura 45. Asignación de rotulas a las columnas pórtico.....	61
Figura 46. Vigas de la estructura .....	61
Figura 47. Definición de rotulas para vigas .....	62
Figura 48. Rotulas asignadas a las vigas.....	62
Figura 49. Caso de carga no lineal .....	63
Figura 50. Creación de cargas laterales sentido X.....	64
Figura 51. Creación de cargas laterales sentido Y .....	64
Figura 52. Curvas de capacidad en la dirección XX.....	65
Figura 53. Curvas de capacidad en la dirección YY .....	66
Figura 54. Diagrama momento curvatura para vigas portantes.....	67
Figura 55.. Diagrama momento curvatura para vigas no portantes .....	67
Figura 56. Resultado de la ficha de inspección.....	69
Figura 57. Desempeño de la estructura en la dirección X.....	70
Figura 58. Desempeño de la estructura en la dirección Y .....	71
Figura 59. Espectro de diseño en X.....	72
Figura 60. Espectro de diseño en Y .....	72
Figura 61. Distorsión entrepiso para sismo raro sentido X.....	74
Figura 62. Distorsión entrepiso para sismo raro sentido Y .....	75
Figura 63. Espectro elástico en la dirección X + .....	75
Figura 64. Espectro elástico en la dirección X - .....	76
Figura 65. Espectro elástico en la dirección Y + .....	76
Figura 66. Espectro elástico en la dirección Y – .....	77

## RESUMEN

En la presente investigación “Vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022” el objetivo fundamental fue determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022, que tiene como razón aplicar las cargas laterales incrementando monotónicamente hasta hallar zonas débiles mediante las Rótulas plásticas de la estructura. La investigación está basada en la observación, obtención de datos y posterior análisis para determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022. Se inició con la inspección de la edificación, luego, se procedió a realizar el ensayo de esclerometría en puntos determinados para estimar la resistencia a la compresión y finalmente se realizó el análisis con todos los datos obtenidos en el desarrollo de la investigación. Se llegó a la conclusión que la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022 es media.

**Palabras Claves:** Vulnerabilidad, análisis Pushover, análisis sísmico, análisis estático no lineal, curva de capacidad, peligro sísmico, punto de desempeño, nivel de desempeño.

## ABSTRACT

En In the present investigation "Seismic vulnerability through the Pushover analysis of the Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022" the fundamental objective was to determine the seismic vulnerability through the Pushover analysis of the Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022, whose reason is to apply the loads sides increasing monotonically until weak zones are found by means of the plastic hinges of the structure. The research is based on observation, data collection and subsequent analysis to determine seismic vulnerability through the Pushover analysis of the Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022. It began with the inspection of the building, then the sclerometry test was carried out at certain points to estimate the compressive strength and finally the analysis was carried out with all the data obtained in the development of the investigation. It was concluded that the seismic vulnerability through the Pushover analysis of the Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022 is medium.

**Keywords:** Vulnerability, pushover analysis, seismic analysis, nonlinear static analysis, capacity curve, seismic hazard, performance point, performance level.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio pretende evaluar la vulnerabilidad sísmica por medio de la aplicación del análisis estático no lineal mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad de la ciudad de Tacna, en el departamento de Tacna, mediante criterios de diseño de normativas de ámbito internacional como FEMA 440 ANALISIS NLS, ATC 58 DESEMPEÑO SISMICO NLD, La vulnerabilidad sísmica tiene como objetivo que los daños que afectan a la estructura de la edificación se mantengan entre los parámetros establecidos para diferentes tipos de sismo de diseño dentro de un nivel de permisibilidad aceptable. De tal manera, se asegura un adecuado diseño estructural correspondiente a la categoría que pertenezca la edificación, de igual manera permite comprender si es posible reparar la estructura de un edificio existente luego de ser afectado por un sismo severo. La zona sur del Perú es considerada como una región de silencio sísmico, debido a que durante una gran cantidad de años no ha ocurrido un sismo importante, es un área geográficamente con gran potencial sísmico como consecuencia al proceso de subducción dentro de las placas Sudamericana y Nazca, por lo tanto, se aguarda a que ocurran sismos de magnitudes significativas. Para el diseño de edificaciones la Norma E.030 Diseño Sismorresistente determina criterios y parámetros de seguridad para un solo nivel de amenaza sísmica, en cuanto se refiere a edificaciones esenciales, preestablece que después de un sismo severo sea de ocupación inmediata y totalmente operativas. Por este motivo, es de suma importancia evaluar la vulnerabilidad sísmica del Hospital de la Solidaridad ya que esta edificación está clasificada como edificación esencial.

La presente investigación comprende de cinco capítulos que se describen seguidamente: En el capítulo I, trata sobre la formulación del problema, la justificación, seguidamente objetivos y las hipótesis. Para el capítulo II, se planteó los antecedentes de la investigación y así mismo la información base sobre vulnerabilidad sísmica, peligro sísmico, capacidad y desempeño de una estructura y el análisis estático no lineal (Pushover). Para capítulo III se trata sobre la metodología que se va a realizar la cual incluye: selección de la muestra y/o población de estudio, planteamiento de las variables, técnicas e instrumentos para la recolección, procesamiento y análisis de datos. En el capítulo IV se muestra los resultados que se han obtenido. Finalizando, en el capítulo V se realiza las discusiones referidas al tema que guardan relación con los objetivos, hipótesis y los antecedentes planteados.



## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del Problema

Los terremotos que ocurrieron alrededor del mundo causaron muchas pérdidas ya sea de vidas humanas como materiales.

La energía que se acumula en la litosfera se libera en movimientos bruscos en el terreno, los terremotos se extienden como ondas en los suelos provocando daños por las zonas pobladas dependiendo de la misma ubicación del epicentro, las características geológicas y los tipos de falla.

Con el paso del tiempo se han manifestado eventos sísmicos de diferentes grados y magnitudes, que causan daños considerables y tal es que en algunas situaciones el colapso en la estructura de las edificaciones.

El Perú se considera dentro de los países más vulnerables de todo el mundo a los sismos de magnitud considerable, a causa de su ubicación geográfica, debido a que está dentro del llamado cinturón de fuego del Pacífico.

El último evento sísmico que ocurrió en el sur del Perú fue en el año 2001, el mes de junio, el que alcanzó a las regiones de Arequipa, Tacna, Ayacucho y Moquegua dejando muchos heridos, fallecidos y causando daños considerables a la estructura de las edificaciones tanto antiguas como modernas según él (Instituto Geofísico del Perú, 2018).

Comúnmente el diseño sísmico estructural se ha considerado, principalmente debido a fuerzas, pero en el presente se diseñan las estructuras para los estados de fuerza por la ocurrencia de eventos sísmicos, de menor valor entre los cuales se hallarían en un análisis elástico.

Se lleva a cabo debido a que se entiende que un diseño estructural adecuado es el que posee un comportamiento considerado dúctil y que tiene la facultad de deformarse inelásticamente sin reducir considerablemente su resistencia.

Por eso se involucra algunas veces que el daño, mas no el colapso, si lo que se busca es conocer la respuesta real estructural y completa de una edificación, es necesario realizar un análisis que incluya la respuesta inelástica de la estructura.

De lo anterior, es evidente la necesidad del conocimiento de vulnerabilidad sísmica es por ello que se propone la presente investigación titulada "Vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022". Asimismo, conocer su ductilidad, la vulnerabilidad y su nivel de desempeño en la edificación estudiada mediante el análisis Pushover.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuál será la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- a. ¿Cuáles son los parámetros sísmicos y espectro del diseño del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022?
- b. ¿Cuáles son las irregularidades y distorsiones del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022?
- c. ¿Cómo afectan los desplazamientos y la cortante basal del punto de desempeño sísmico al Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022?

## **1.3. Justificación e Importancia de la Investigación**

Con el paso del tiempo se han manifestado eventos sísmicos de diferentes grados y magnitudes, que causan daños considerables y tal es que en algunas situaciones el colapso en la estructura de las edificaciones, ocasionando pérdidas tanto materiales como de vidas humanas.

Desde un punto de vista científico es necesario determinar la vulnerabilidad sísmica del Hospital de la Solidaridad ya que se requiere conocer su comportamiento ante un evento sísmico, comprendiendo que se encuentra geográficamente en el interior del cinturón de fuego del pacífico, entonces, lo convierte vulnerable a eventos sísmicos de una magnitud considerable.

Desde un punto de vista de zonificación sísmica ya que la ciudad de Tacna está localizada en la zona 4, esto significa que es la zona clasificada de mayor sismicidad, en el cual se estima una aceleración de  $Z = 0.45 g$ . según la (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018).

Desde un punto de vista social y local puesto a que favorece inmediatamente a la población tacneña la cual acude constantemente y el mismo personal del Hospital de la Solidaridad, es importante señalar, que la salud constituye, una pieza primordial en el desarrollo individual y colectivo de una sociedad.

Al realizar la presente investigación, se proporcionará las bases fundamentales para determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a. Identificar los parámetros sísmicos y espectro de diseño del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022.
- b. Verificar las irregularidades y distorsiones del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022.
- c. Verificar los desplazamientos y la cortante basal del punto de desempeño sísmico del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

La vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022 es media.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- a. los parámetros sísmicos y espectro de diseño identificados del Hospital de la Solidaridad son aceptables.
- b. El Hospital de la Solidaridad no presenta ninguna irregularidad y cumple con las distorsiones límites.
- c. Los desplazamientos y cortante basal del punto de desempeño sísmico muestran una adecuada conducta frente a la demanda sísmica.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del Estudio

#### 2.1.1. Antecedente de Estudio Internacional

Aguilar et al. (2021), en su artículo “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un conjunto de edificios educacionales en Ecuador”, realizaron un análisis comparativo entre la vulnerabilidad y el riesgo sísmicos estimados mediante un procedimiento simplificado (procedimiento de evaluación visual rápida FEMA P-154) y los daños presentados en los edificios estudiados debido al sismo del 16 de abril de 2016. El análisis mencionado se realizó en las tres etapas siguientes: la estimación del riesgo sísmico de edificios mediante un procedimiento de evaluación visual rápida (FEMA P-154), la evaluación de daños en edificios debidos al terremoto de Ecuador de 2016, y la comparación de estimaciones de riesgo con los daños observados en los edificios. Finalmente, se resaltan las ventajas y limitaciones del método aplicado, así como los tiempos y costos para su implementación.

Ambrosini et al. (2021), en su artículo “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios escolares típicos de la provincia de Mendoza” evaluaron la estructura de los edificios escolares considerados más comunes de la provincia de Mendoza, con el objetivo de conocer cuál es el desempeño estructural, estos edificios fueron diseñados con normas para estructuras sismorresistentes que no eran actuales o vigentes. Primero realizó un análisis a la estructura típica a través del método de elementos finitos sometido a la acción de diez registros sísmicos, aumentando la aceleración tope del suelo alcanzando la falla estructural. Seguidamente se plantean varias opciones de intervención, un par que tienden a rigidizar la estructura y el otro par que tienden a flexibilizarla. Se incorporó al modelo numérico cada opción planteada, donde realizó un análisis semejante al del caso inicial. Para cada una de las alternativas propuestas, se obtuvieron curvas de fragilidad sísmica, se evaluó el riesgo sísmico cuantificado por la posibilidad de obtener su situación límite en 50 años. Los resultados permitieron medir su capacidad de cada uno de los refuerzos propuestos en la reducción del riesgo sísmico.

García et al. (2021), en su artículo “Vulnerabilidad sísmica en viviendas de zona rural: El caso Santa Marianita – Manta – Ecuador” se determinó el índice de vulnerabilidad de las viviendas rurales en la parroquia Santa Marianita de la ciudad de Manta - Ecuador, ya que estando ubicada en la región costanera con alta sismicidad es muy importante estudiar ese parámetro, evaluando distintas

propiedades de las técnicas tanto de las viviendas, como de los errores estructurales, los arquitectónicos y los constructivos. La gran parte de esas edificaciones carecían de las propiedades nombradas, debido a la presencia de materiales de muy baja calidad y estaban construidas por los mismos habitantes del lugar. Con efecto de la investigación trabajaron con un modelo de veinticinco viviendas localizadas en las regiones abruptas de la parroquia, por el motivo a que es la región más vulnerable según su morfología. Los datos de campo la recolectaron a través del formulario FEMA-154, estableciendo la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones encuestadas, los daños considerables se presentan solo en los elementos no estructurales, seguidamente en los cimientos y los componentes como las columnas y las vigas. Los datos que resultaron dieron pase a establecer sugerencias de mejoramiento hacia las casas rurales con indicadores de valor menor a 2 y en generar conciencia en los pobladores al punto de edificar una vivienda.

### **2.1.2. Antecedente de Estudio Nacional**

Estrella y Ochoa (2021), en su tesis “Determinación de la vulnerabilidad sísmica del mercado municipal del balneario de Pucusana mediante el análisis estático no lineal Pushover” se realizó un progreso al ofrecimiento establecido por el CENEPRED, en su manual de evaluación del riesgo, utilizando el Análisis “PUSHOVER”, a través de la metodología ATC-40, el ASCE41-13 y SEAOC VISION 2000, se consiguió establecer las características de la estructura detalladamente y poder analizarla con el tipo de peligro de sísmico que es debido al resultado de las labores del proyecto SIRAD 2012. Para llevar a cabo esa investigación escogieron el mercado municipal, por motivo de que es de las edificaciones más considerables del Balneario. Finalizando, la contribución de su tesis fue establecer el nivel de desempeño del mercado municipal de Pucusana, para la determinación del nivel de vulnerabilidad del mismo.

Según Cajan y Falla (2020) en su tesis “Vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Benedetti – Pretrini de las edificaciones categoría C descritas en la Norma E.030 de nueve sectores de la ciudad de Reque, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque” aplicaron el método de Benedetti, evaluando los parámetros estructurales, aspectos constructivos y aspectos geométricos de las edificaciones descritas. Para este método se utilizan encuestas que consiste en once parámetros, que afectan causando el daño de las edificaciones, provocado debido a un evento sísmico y se efectúan en relación a su sistema estructural, resultando que su vulnerabilidad sísmica en gran parte de las estructuras de adobe es considerable

siendo 57.75%, en las edificaciones de albañilería es media 59,82%, y en las de concreto armado es de un valor menor 66.67%, donde predominó la vulnerabilidad media o alta, siendo el índice de vulnerabilidad mayor o igual a 20 y menor a 100.

Palomino y Rosario (2021), en su tesis “Estimación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de albañilería confinada, mediante técnicas de minería de datos, en el sector Pueblo Libre, Jaén – 2020” pronosticaron la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de albañilería confinada de la zona de Pueblo Libre Jaén, utilizando técnicas de minería de datos, utilizaron la metodología Knowledge Discovery in Databases (KDD); la cual se desarrolló en diferentes lapsos, a través de ellas la distinción de las variables que influyeron en la vulnerabilidad sísmica, la obliteración de datos anómalos y los pares empleando las distintas librerías de Python, la delimitación de variables que les consintió establecer 5 modelos, y en la fase de recopilación de datos utilizaron el software Weka 3.9.4 con 5 algoritmos, de los cuales alcanzaron una credibilidad superior al 82% en la estimación de la vulnerabilidad sísmica. Así mismo, generaron una ubicación de zonificación del área, con las etapas de vulnerabilidad estimados, en el software ArcGIS empleando la librería de ArcMap, presentando las edificaciones con vulnerabilidad baja y media.

### **2.1.3. Antecedente de Estudio Local**

Arias y Castañeda (2019), en su tesis “Evaluación estructural del reservorio R-15 de la ciudad de Tacna para determinar su vulnerabilidad sísmica” determinaron que la mayor deficiencia encontrada es en los cimientos que está expuesto, no registró rastros de fisuras ni de grietas, se evaluó la resistencia a la compresión del concreto a través de ensayos no destructivos como el esclerómetro y ensayo de perforación con broca EQP (diamantada), siendo la resistencia media de  $f'c = 320$  kg/cm<sup>2</sup> que representa el ciento treinta por ciento de la resistencia de diseño ( $f'c = 245$  kg/cm<sup>2</sup>) concluyendo con que la resistencia de diseño es estructuralmente adecuada.

Fhilco y Mamani (2021), en su tesis “Vulnerabilidad Sísmica en las edificaciones escolares públicas del distrito de Ciudad Nueva, Tacna 2021” aplicaron una metodología cualitativa poco convencional llamada modelo de riesgo probabilista, donde se emplearon datos como la riesgo sísmico de la localización del distrito en evaluación, la información reunida del portafolio de exposición y en relación al tipo de estructura la asignación de funciones de vulnerabilidad, finalizando con que el 66.67% (cuatro instituciones) representan un aceptable desempeño sísmico,

mientras que el 33.33%(dos instituciones) presentan una considerable potencia de daño.

Chino (2021), en su tesis “Evaluación estructural mediante esclerometría para determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas autoconstruidas en la ciudad de Tacna, 2021” explicó que la informalidad en la construcción sobrepasa el 68%, mediante el cual se realizaron evaluaciones de resistencia a través de ensayos no destructivos como el esclerómetro que han registrado rasgos altos de vulnerabilidad, a través de estos se tiene el distrito de Ciudad Nueva y de Coronel Gregorio Albarracín cuyo índice es dentro de la categoría de vulnerabilidad alta e intermedia, la zona de Augusto B Leguía se encuentra los indicadores en la categoría considerable entre intermedio – alto en vulnerabilidad.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Sismicidad en el Territorio Peruano**

La sismicidad en el Perú es por la actividad convergente llamada subducción, que ésta se crea cuando una placa de corteza continental menos pesada choca con una placa con corteza oceánico más pesada choca. Los eventos sísmicos de tipos superficial se localizan repartidos a lo largo del alineamiento en la fosa peruano - chilena y la costa, por el Norte, en el departamento de Tumbes hasta llegar al Sur, en el departamento de Tacna, y establece a la esencial fuente sismogénica del Perú. La deformación cortical está establecida como la segunda fuente sismogénica al momento de dar inicio a eventos sísmicos en los confines de la Cordillera Andina y región sub andina, para después llegar y desvanecerse enteramente en la Llanura Amazónica según (Bernal et al., 2014).

subducción, que ésta se crea cuando una placa de corteza continental menos pesada choca con una placa con corteza oceánico más pesada choca. Los sismos de tipos superficial se encuentran repartidos a lo largo del alineamiento en la fosa peruano - chilena y la costa, por el Norte, en el departamento de Tumbes hasta llegar al Sur, en el departamento de Tacna, y establece a la principal fuente sismogénica del Perú. La deformación cortical está establecida como la segunda fuente sismogénica al momento de dar origen a eventos sísmicos en los bordes de la Cordillera Andina y zona sub andina, para después llegar y desvanecerse enteramente en la Llanura Amazónica según (Bernal et al., 2014).

### **2.2.2. Sismicidad en la Ciudad de Tacna**

De los eventos sísmicos ocurridos en Tacna, uno de los eventos sísmicos más relevantes, es el del terremoto ocurrido el 23 de junio del 2001, que tuvo una magnitud de 6.9 en la escala de Richter, en el cual el epicentro se localizó a 82 kilómetros del alineamiento costanero en Arequipa contando con una profundidad de 33 km, los damnificados se cuentan en cerca de un tercio de los habitantes conforme el censo del año 1993, alrededor de 220 000 habitantes. El terremoto causó variados daños como por ejemplo daños a los reservorios y canales provocando que se generen inconvenientes sanitarios hacia la población según el (Ministerio de Salud, 2005).

### **2.2.3. Vulnerabilidad Sísmica**

Es la tendencia propia de las estructuras que presentan cierto nivel de deterioro causado ante sismo y se somete a las características físicas y mecánicas de los materiales que lo conforman, así mismo como las propiedades estructurales de diseño.

La vulnerabilidad sísmica de una estructura, un grupo de estructuras o de zonas urbanas completas, se representa como su predisposición intrínseca a ser vulnerable ante daños debido a la ocurrencia de eventos sísmicos y están asociadas directamente con sus propiedades tanto físicas como estructurales de diseño según (Barbat, 1998).

El término de la vulnerabilidad sísmica es muy relevante en los estudios que abarcan el riesgo sísmico y para la mitigación de los desastres por los terremotos. Se comprende por el riesgo sísmico que es la cantidad de pérdidas estimadas que pueden sufrir las estructuras de las edificaciones durante el espacio de tiempo que se mantienen expuestas a acciones sísmicas, en tal espacio de tiempo mencionado se lo establece como período de exposición o el período de tiempo de vida útil de la estructura de la edificación.

Así mismo, la reducción de los eventos de tipo desastres en la ingeniería, va relacionado con el conjunto de las objetos que tiene como finalidad fundamental la mejora del comportamiento sísmico de las edificaciones de la zona, con el fin de disminuir los costes de los daños estimados en el lapso de tiempo que dura el evento sísmico o terremoto según (Barbat, 1998).



#### **2.2.4. Análisis Sísmico Basado en Métodos no Lineales**

Con los eventos que han ocurrido a lo largo de los años los ingenieros han conocido diferentes investigaciones y han adquirido experiencia, en el presente conocemos que la mayoría de los eventos sísmicos que pasan tienen la capacidad de dañar severamente las edificaciones, ocasionando que las estructuras tengan el comportamiento inelástico que va a disipar la energía. La hipótesis de que los edificios respondan elásticamente reduce considerablemente la labor de los ingenieros, pero obstaculiza el entendimiento simple que se tiene del comportamiento verdadero de la estructura. El empleo de los métodos convencionales para los análisis de las estructuras de las edificaciones existentes consigue llevar a resultados erróneos o asumir gastos considerablemente altos e innecesarios para los reforzamientos. Los mecanismos de los análisis considerados como nuevos contribuyen para poder especificar la conducta inelástica de los componentes estructurales de una edificación. Tales métodos contribuyen a aproximar con mayor precisión la verdadera conducta de los edificios durante un movimiento característico del suelo. Deben utilizarse adecuadamente los conocimientos sobre ductilidad de materiales y ductilidad de la propia estructura (Giraldo y Ordoñez, 2017).

##### **2.2.4.1. Tipos de Ductilidad**

Esta cualidad se refiere principalmente a la facultad que poseen las estructuras, elementos o materiales, para deformarse inelásticamente por encima de la deformación de fluencia evitando disminuir de forma importante su resistencia por las demandas impuestas por las fuerzas externas o inducidas. Tal facultad se puede medir por el cociente de las últimas deformaciones a través las deformaciones de fluencia. Tales deformaciones se pueden medir como curvaturas, giros y desplazamiento, estos son causadas por cargas inerciales, cargas axiales, cortantes y momentos (Fajardo, 2012).

Asimismo, para poder evaluar la ductilidad requerida, es de suma importancia recopilar la información importante referidas sobre las condiciones de los lugares. En situaciones, cae en manos de su grado de similitud de los periodos de movimiento del terreno de su fundación en relación con los periodos de las estructuras, establecidas encima de un terreno, una consecuencia de la amplificación de la ductilidad exigida es decir de demanda debe ser considerada. Así mismo, las condiciones de los lugares, el recorrido hasta la fuente de excitación y algunas otras

medidas que va en relación hacia la geografía y la geología del suelo, han de tener influencia en la ductilidad requerida.

#### **2.2.4.2. Capacidad, Demanda y Desempeño**

La cualidad de la capacidad es establecida a través de la historia de la resistencia de las estructuras conforme alcanzan cierto nivel de deformación, incluso después de la conducta elástica. La demanda es una cualidad a partir de las excitaciones del suelo de cimentación mediante el cual se produjeron patrones de deformación en las estructuras, se cuantifica a través del desplazamiento, en particular en una vez establecida la curva de capacidad y las demandas, en un registro donde las dos cualidades son leídas en iguales coordenadas, el nivel del desempeño es decir performance puede ser tomado para poder verificar que las estructuras y los componentes que no son estructurales responderán de manera más adecuada según los límites de la confiabilidad.

La inclinación en la actualidad de la sismicidad en la ingeniería es buscar una mejoría en la verificación del desempeño en las edificaciones sujetas a los diferentes estados de intensidades sísmicas. Si bien es cierto la finalidad de los diseños sísmicos siempre han sido los de concebir las estructuras que tengan comportamientos o un desempeño, que sea beneficioso ante los eventos sísmicos, el criterio en la actualidad de los diseños sísmicos basados en los desempeños pretenden no sólo se puede estimar de esta manera mucho más preciso la conducta estructural sino también tener el control, con el objetivo de poder garantizar un comportamiento apropiado acorde a la funcionalidad y la relevancia de las edificaciones.

El diseño sísmico por el desempeño, se establece como selección de los criterios del diseño, los sistemas estructurales adecuados, la estructuración, el seguro y lo especificado para la forma estructural, los no estructurales, el seguro, la verificación de la calidad en la construcción y los mantenimientos a un largo plazo, tal que, para un grado en los movimientos del terreno que está dado con los grados establecidos de la credibilidad, la estructura no se va a dañar sin sobrepasar de algunos condiciones establecidas o las otras condiciones de la utilidad (Vision 2000, 1995).

El concepto principal de este método es que la estructura de una edificación diseñada con estas consideraciones tenga la capacidad de presentar un desempeño apropiado en el momento en el que se vincule a las demandas sísmicas relacionadas a las fuerzas de diseño que corresponden al lugar en el que se encuentran

establecidas. Así mismo, en el presente, a través de los grados de desempeño que debe representar una estructura a través de una demanda símica.

Para saber si las estructuras de las edificaciones están dentro de una u otra de las clasificaciones que se describieron, varios de los ingenieros usan como los factores indicadores de los desempeños, las distorsiones de los entresijos que alcanzarían las edificaciones bajo los niveles de las sollicitaciones sísmicas de una evaluación.

Pero las distorsiones de los entresijos no son exclusivos indicadores de los niveles de desempeños, así en el presente se puede contar, asimismo, a través de los parámetros de confiabilidad del FEMA que son relativos a los daños que se pudieran representar a través de las diferentes componentes que conforman las estructuras.

#### **2.2.4.3. Procedimientos de Análisis Estático no Lineal**

Del mismo modo que se explicó previamente, los análisis conocidos que son más concisos y verídicos son tales los que tratan de poder agregar en sus desarrollos de todas las propiedades que tienen las estructuras y de las demandas. En ese sentido, los más recomendables serían realizar los análisis de tipo dinámicos no lineales. No obstante, pese a los distintos progresos con los que se puede contar en el presente, en relación a los conocimientos dinámicos de las estructuras y a las contribuciones de los distintos softwares de cómputo que pueden ayudar a desarrollar los distintos cálculos complicados, todavía presentan restricciones que aún no se pueden hacer factible en el empleo de este modelo de análisis en los casos en su totalidad.

Debido a lo explicado anteriormente y ante las necesidades de poder utilizar las herramientas asequibles para los ingenieros, a lo largo de los años se han establecido distintos métodos reducidos del análisis no lineal para verificar los comportamientos sísmicos de las estructuras de las edificaciones en 3 distintas dimensiones. La gran parte de esos distintos estudios implican el uso de los análisis de la tendencia en dos dimensiones en las que las estructuras tridimensionales desde las curvas del comportamiento de los marcos planos que lo forman se pueden evaluar. Desde las generaciones de la curva de la capacidad, a través del empleo de los procedimientos del análisis estático no-lineales, se puede brindar datos sobre la rigidez preliminar, sobre la rigidez de post fluencia, la resistencia de la estructura y sobre el desarrollo del daño a partir que llegue a la falla para los niveles crecientes de cortante basal. (Giraldo y Ordoñez, 2017).

### **2.2.5. Método Análisis Pushover**

El análisis estático no lineal Pushover sirve para medir el modo de deformación, para conocer la resistencia de la estructura a la deformación lateral y la magnitud de las demandas locales.

Se utilizan diferentes métodos, abarca el empleo de patrones de fuerzas laterales constantes y el empleo de los planos adaptativos y multimodales. Los métodos del análisis Pushover proporcionan las propiedades relevantes del sistema estructural y que se emplean para poder diferenciar algunos (mas no todos) los mecanismos que potencialmente pueden fallar.

Conforme a que los patrones de cargas laterales que se emplean en los análisis Pushover no puede manifestar el alcance al que tiende la carga experimentada en la respuesta dinámica, en la mejor de las situaciones los resultados calculados por los análisis Pushover representan un acercamiento al comportamiento no lineal ante un sismo que se pronostica que se genere en la infraestructura.

Dado método estático no lineal es el indicado o ideal para la estructura de edificaciones regulares que se caracterizan por no tan gran altura, donde la respuesta de la estructura es controlada por el modo fundamental de vibración. Y no es el ideal para edificaciones irregulares y que se caractericen por una altura considerable, donde los diferentes modos de vibración impactan la conducta de la estructura (Deierlein et al., 2010).

El análisis estático no lineal de carga que se aumenta, denominado Pushover, aproxima la respuesta estructural en forma de carga cortante y desplazamiento al hacia la cubierta, no obstante, cuando está bajo un patrón de diferentes fuerzas horizontales que cambia de altura.

Así mismo, al comienzo cuando la estructura de un edificio que no es sometido a daño, es subyugado por fuerzas laterales que incrementan que se atribuyen a cada de piso hasta reconocer que ciertos elementos alcanzan un valor fuera de el límite elástico.

La estructura es alterada debido al desgaste de resistencia, como su rigidez a la flexión de los elementos que se encuentran dentro del rango inelástico es mermada, para después ir aumentando y distribuir las cargas laterales a partir que diferentes elementos estén dentro del rango no lineal. El desarrollo acaba cuando las fuerzas horizontales son aumentadas hasta que la estructura de la edificación falle y llegue al colapso (Poma, 2018).

### 2.2.6. Modelo Constitutivo del Concreto

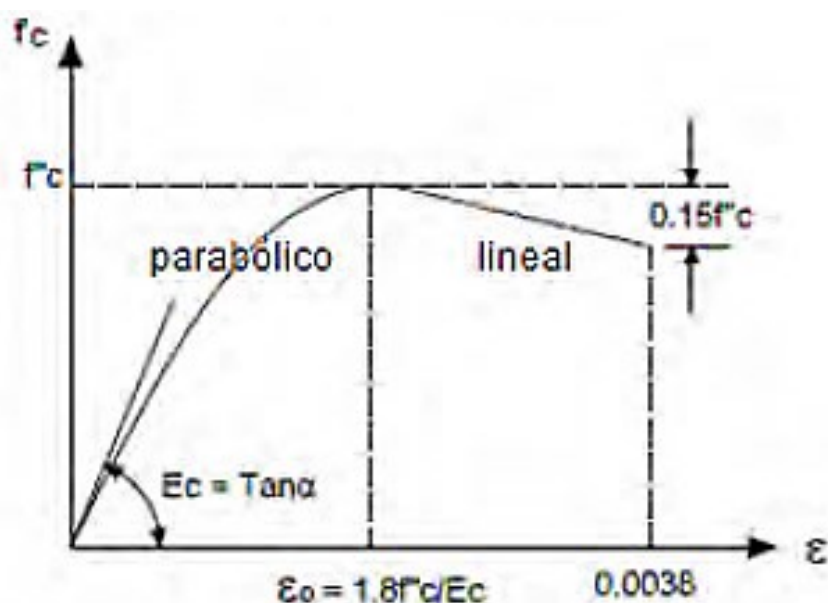
Los modelos constitutivos del concreto son los siguientes

#### 2.2.6.1. Modelo de Hognestad

Tal modelo se conforma de una parte en forma parabólica de segundo grado y el otro en forma lineal, así mismo se presenta en la figura 1 el modelo de Hognestad. El máximo esfuerzo del concreto en la estructura existente (representado por  $f'_c$ ), se encuentra relacionado con una deformación unitaria  $\epsilon_0$  y la parte recta del puesto más elevado de la curva, ampliándose, alcanzando un valor de deformación unitaria de 0.0038 la cual se le atribuye el esfuerzo de  $0,85 f'_c$  (Park y Paulay, 1980).

**Figura 1**

*Modelo de Hognestad*



*Nota.* Se muestra el *modelo de Hognestad*. Fuente: Park y Paulay (1980).

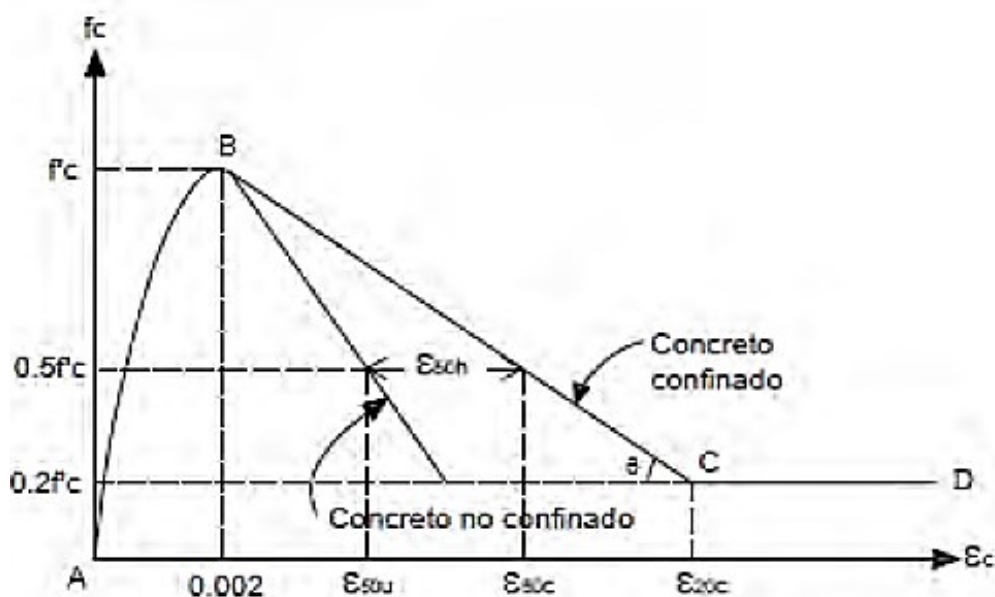
#### 2.2.6.2. Modelo de Kent y Park

El presente modelo está conformado en la primera parte en forma de parábola cuyo valor máximo está referido al esfuerzo  $f'_c$  y con la deformación unitaria del concreto en 0,002, como se presenta en la Figura 2 el modelo de Kent y Park. En la segunda parte del modelo es de forma lineal, dado que el esfuerzo disminuye hasta

llegar el 20% de la resistencia del concreto (representado por  $f'_c$ ), correspondiendo a la pendiente de éste a la parte dependiente de la resistencia del concreto, en cuanto a la conexión del volumen y el refuerzo transversal en relación con el volumen del centro del concreto confinado y el espaciamiento de estribos. La última parte se representa de forma horizontal, sin considerar frecuencia en el análisis sísmico de la estructura (Park y Paulay, 1980).

**Figura 2**

*Modelo de Kent y Park*



*Nota.* Se muestra el *modelo de Kent y Park*. Fuente: Park y Paulay (1980).

La deformación  $\epsilon_{50c}$  pertenece a la deformación del concreto confinado cuando disminuye hasta el 50% de su resistencia y se determina su valor a partir de la ecuación 07.

Cuando el concreto cuando no se encuentra confinado pierde el 50% de su resistencia, representado por el valor de  $\epsilon_{50c}$ , como se muestra en la ecuación 07 que pertenece a la deformación del concreto y  $\epsilon_{50h}$  que para poder conseguir la deformación  $\epsilon_{50c}$ , del concreto confinado se tiene la representando el resultado de los estribos cuando se confinan.

El valor de  $\rho_s$  pertenece a la cuantía volumétrica de los estribos que envuelve el volumen de los estribos junto al volumen del concreto confinado, el valor de  $b_c$  pertenece a la dimensión menor de la sección del centro confinado de concreto y el valor de  $s$  se representa como el espaciamiento de los estribos.

### 2.2.7. Modelos Constitutivos del Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo presenta modelos constitutivos, los que están a disposición en el programa son los siguientes:

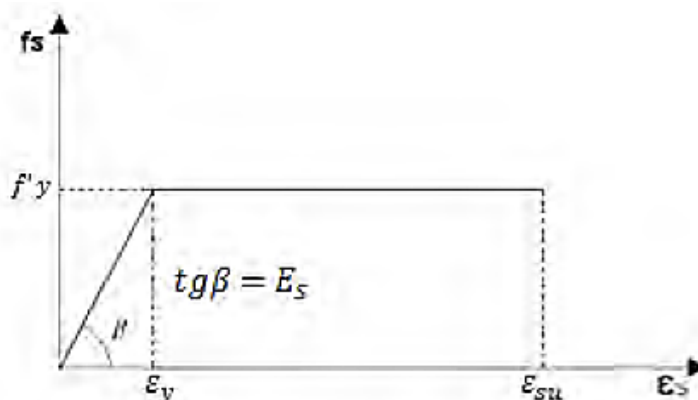
#### 2.2.7.1. Modelo Elastoplástico Perfecto

Dicho modelo no toma en cuenta la zona de endurecimiento por deformación del acero y el incremento en el esfuerzo relacionado a dicha zona, tal y como se aprecia en la Figura 3 del modelo elastoplástico perfecto. Dado que el modelo no se aproxima de forma adecuada o precisa hacia los esfuerzos del acero alejado de la fluencia (Park y Paulay, 1980).

El límite de la deformación máxima del acero  $\varepsilon_{su}$  se considera que se localiza dentro del orden aproximado al 12%.

**Figura 3**

*Modelo elastoplástico perfecto*



*Nota.* Se muestra el *modelo elastoplástico perfecto*.

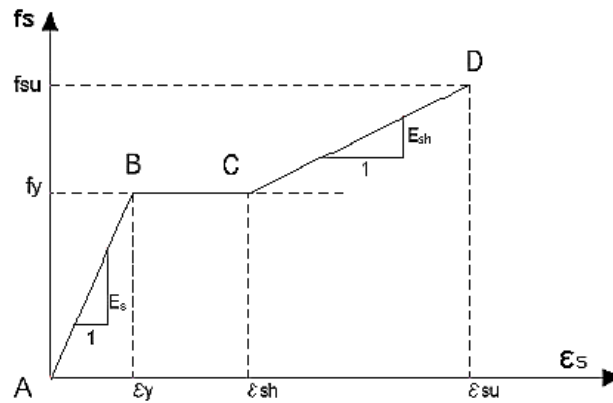
Fuente: Park y Paulay (1980).

#### 2.2.7.2. Modelo Trilineal

En el presente modelo, contando con la fluencia, también representa el endurecimiento del acero, tal y como se aprecia en la Figura 4 del modelo trilineal y es posible que pueda ser cargado con esfuerzos de mayores al de fluencia. La parte AB está considerado dentro del rango elástico, en el cual la pendiente es equivalente a su módulo de Elasticidad  $\varepsilon_s$ , en la parte BC se considera dentro de la plataforma de fluencia  $f_y$  y la deformación se incrementa hasta  $\varepsilon_{sh}$  y la parte de CD se considera

dentro de la parte de endurecimiento debido a deformación, considerando que la pendiente para esta parte es  $\epsilon_{sh}$  (Park y Paulay, 1980).

**Figura 4**  
*Modelo trilineal*

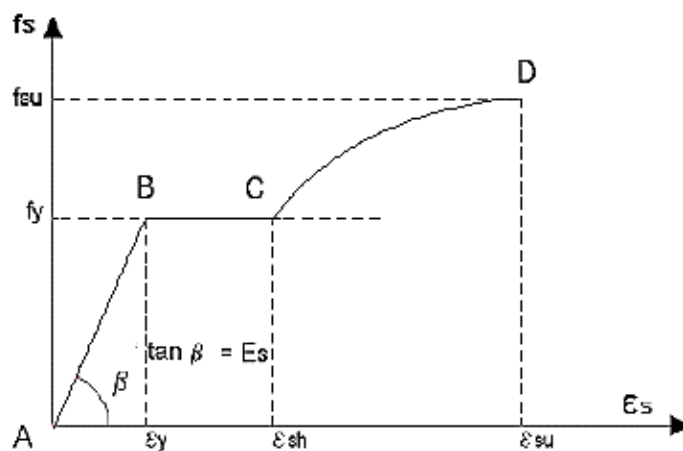


*Nota.* Se muestra el *modelo trilineal*. Fuente: Park y Paulay (1980).

### 2.2.7.3. Modelo con Endurecimiento Parabólico

Como se muestra en la figura 5 donde aprecia este modelo, en el cual el rango elástico y la fluencia están considerados como líneas rectas en las partes AB en la y la parte de BC en la y el endurecimiento está considerado como una parábola comúnmente de segundo grado en la, y en la parte de CD (Park y Paulay, 1980).

**Figura 5**  
*Modelo con Endurecimiento Curvo*



*Nota.* Se muestra el *modelo con endurecimiento curvo*. Fuente: Park y Paulay (1980).



### 2.2.8. Diagrama Momento Curvatura

En cuanto al análisis no lineal de estructuras, se considera fundamental comprender el diagrama momento- rotación o el también llamado diagrama momento-curvatura, para los elementos de concreto armado como columnas y vigas. El diagrama momento de curvatura nos brinda la facilidad de entender la ductilidad de curvatura de la sección a evaluar, quiere decir, que su tendencia a introducirse a un rango no lineal previamente a la llegada de la falla, esto se consigue debido al conocimiento del módulo de elasticidad del material ( $E$ ) y la inercia de la sección ( $I$ ), asumiendo que la falla esté siendo provocada por la flexión y no por otro tipo de esfuerzo, ejemplo, por cortante (Aguiar et al., 2015).

Si debido a la curvatura se presenta en la sección del elemento un escaso valor de ductilidad ( $\mu\theta$ ), entonces el elemento inminentemente presentará una falla frágil al momento que la estructura de encuentre dentro del rango no lineal. Solamente si se tiene un valor mayor considerable de ductilidad de curvatura ( $\mu\theta$ ) será posible disipar la mayoría de la energía, y así mismo será posible que los momentos se redistribuyan (Aguiar, 2003).

El diagrama Momento curvatura ( $M-\theta$ ) es función de los modelos constitutivos que se emplean para calcular las relaciones esfuerzo deformación del acero y del concreto (Ottazzi, 2011).

Se describe a continuación el procedimiento del cálculo:

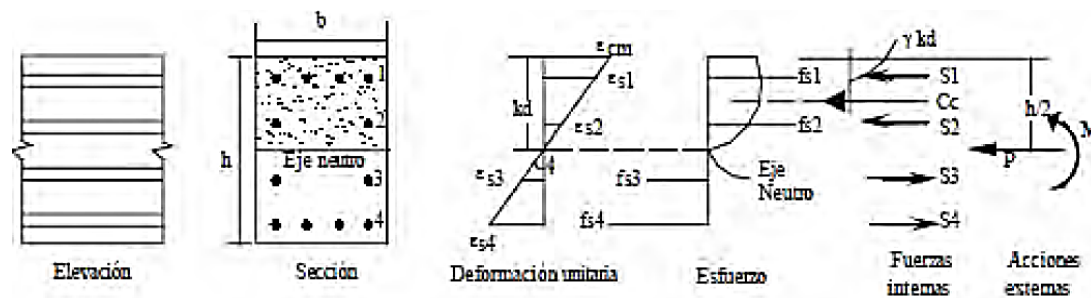
- Primeramente, a partir del concreto, se determina un valor de deformación máxima,  $\varepsilon_c$ .
- Luego, se determina la localización del eje neutro "c", y en relación con la localización definimos el perfil de deformaciones dentro del trazo de la profundidad de la sección.
- Seguidamente, a partir de las deformaciones calculadas, determinamos los esfuerzos del concreto y del acero, respectivamente según las curvas constitutivas de los materiales.
- Luego, desde los esfuerzos, determinamos las fuerzas que se manifiestan en la sección de los materiales, el concreto y acero, realizando un producto entre el esfuerzo con su área respectivamente.
- Posteriormente, la adición vectorial de las fuerzas se manifiesta como la carga axial neta que descansa encima de la sección. Después se comprueba si existe un equilibrio de fuerzas, teniendo en cuenta la carga axial brindada. Finalmente, si no existe equilibrio se reitera desde el punto b) adicionando o reduciendo la profundidad en el eje neutro.

- Finalmente, al momento de satisfacer el equilibrio en el punto e) se calcula el momento flector interior que retribuye a la última localización del eje neutro, realizando un producto entre cada fuerza con su brazo respectivamente, cuantificado a partir el eje de referencia hacia el centroide plástico de la sección del elemento.

Para calcular la curvatura, se entiende como la razón de la deformación del concreto  $\varepsilon_c$  dividido por distancia hasta el eje neutro. De tal manera la calculamos como un punto del diagrama momento-curvatura. Así mismo, a los puntos sobrantes, se les aplica un valor reciente de  $\varepsilon_c$  y reiteramos tales puntos descritos, se muestra en la Figura 6 los pasos explicados antes.

**Figura 6**

*Diagrama momento-curvatura de una sección*



*Nota.* Se muestra cómo se establece un punto del diagrama momento – curvatura dentro de una sección. Fuente: Ottazzi (2011).

### 2.2.9. Modelos de Plasticidad

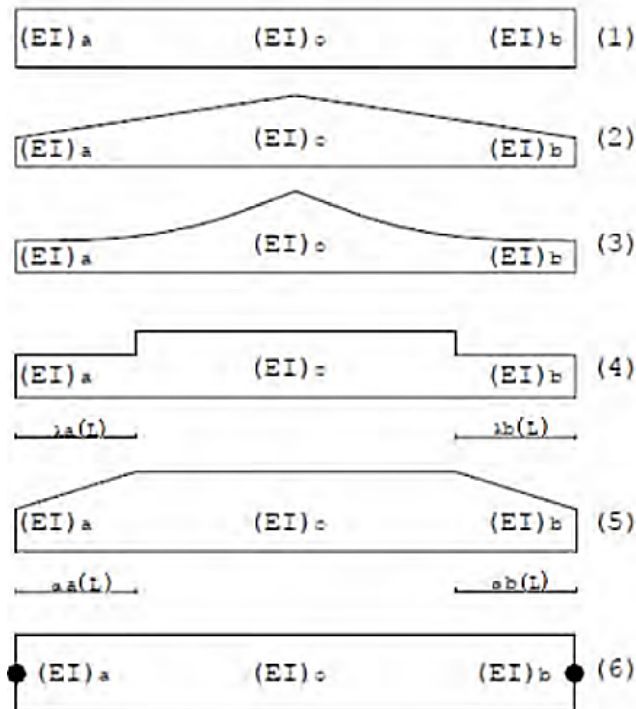
A fin de simular el daño que se estima que afecten los bordes de los elementos debido a las demandas sísmicas se utilizan los modelos de plasticidad en los elementos de la estructura, siendo que ciertos modelos se presentan en la Figura 7.

El modelo 1 se da primeramente cuando la estructura se localiza dentro del rango elástico, sin embargo, cuando se encuentra dentro del rango inelástico se podría considerar que trabaje con alguno de los cinco modelos restantes.

El modelo 2 abarca sobre la variación de la rigidez que se considera lineal dentro del elemento, a partir del valor  $EI_a$  o  $EI_b$ , en el cual se halla la pérdida de rigidez incluso la rigidez (EI) o ubicada constantemente dentro del rango elástico.

El modelo 3 trata sobre la alteración de la rigidez que la considera como no lineal.

**Figura 7**  
*Modelos de Plasticidad*



*Nota.* Se muestran los modelos de Plasticidad. Fuente: Aguiar (2002).

En el modelo 4 calculamos la distancia hacia la zona que se incorpora el rango no lineal, se tiene a  $\lambda_a(L)$  para el nudo inicial y a  $\lambda_b(L)$  para el nudo final, en relación de los momentos que actúan, teniendo en cuenta que en las regiones afectadas el modelo toma en cuenta que la rigidez es constante.

El modelo 5 abarca que la distancia de las zonas del elemento que se encuentran dentro del rango no lineal y hace posible que en el núcleo de la luz se pueda estar dentro del rango no lineal. Así mismo, la rigidez que se encuentra ubicado en el núcleo de luz  $(EI)_o$  se va a reducir en relación de la distancia de daño que se presente en los extremos de los elementos.

El modelo 6 trata sobre plasticidad concentrada, abarcando solamente en la inelasticidad de los extremos en los puntos del elemento. Éste último modelo es el que se utilizará en la investigación.

### **2.2.10. Curva de Capacidad**

El cálculo fundamental obtenido del análisis estático no lineal Pushover es la curva de capacidad (fuerza vs desplazamiento). Consiste en una gráfica de cortante

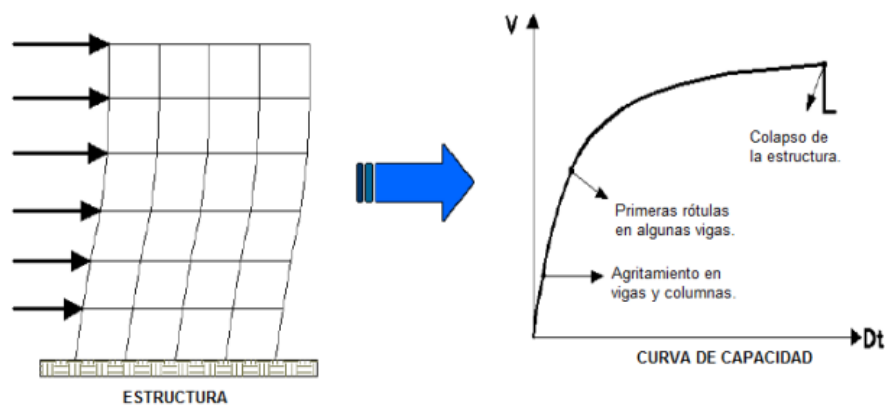
basal (es la carga lateral total) versus el desplazamiento lateral dentro de un cierto punto al nivel de la losa, incorporando a la totalidad de las etapas en incrementos laterales de carga desplazamiento (Nishant & Siddhant, 2015).

El método abarca lo descrito a continuación: el modelo matemático de una estructura, primeramente sin presentar perjuicios, es cargado de fuerzas laterales que se incrementan y que trabajan al nivel del piso hasta que un número considerable de sus componentes o elementos consigan el límite elástico, seguidamente la estructura se cambia para ahora considerar su pérdida de rigidez en los elementos, en cuanto su capacidad ha sido sobrepasada, calculando la rigidez a flexión ( $EI$ ) en relación al elemento de su diagrama momento-curvatura correspondiente de acuerdo al grado de esfuerzo al que está relacionada la sección del elemento y alternando la rigidez en relación a la gravedad del perjuicio representado. Después una disposición de fuerzas laterales es empleada de nuevo hasta conseguir que en los elementos complementarios se sobrepase su capacidad de resistencia, seguidamente se continua con el método hasta conseguir que la estructura se alcance un estado inconstante o incluso que cambie a un estado límite predispuesto.

A través del proceso mencionado, el desplazamiento ( $D(t)$ ) en la losa o último piso se va asignando acompañado de los valores de la fuerza cortante basal ( $V$ ) de la estructura a lo largo del desarrollo del método. Como respuesta del análisis Pushover se calcula la curva Fuerza-Desplazamiento ( $V$  vs  $D(t)$ ), conocida como Curva de Capacidad, tal y como se representa en la figura 8, la curva de capacidad nos muestra cual es el comportamiento de la estructura una vez excedido su límite elástico.

**Figura 8**

*Análisis Pushover y curva de capacidad*



*Nota. Se muestra el análisis Pushover y curva de capacidad.*

Fuente: Nishant & Siddhant (2015).

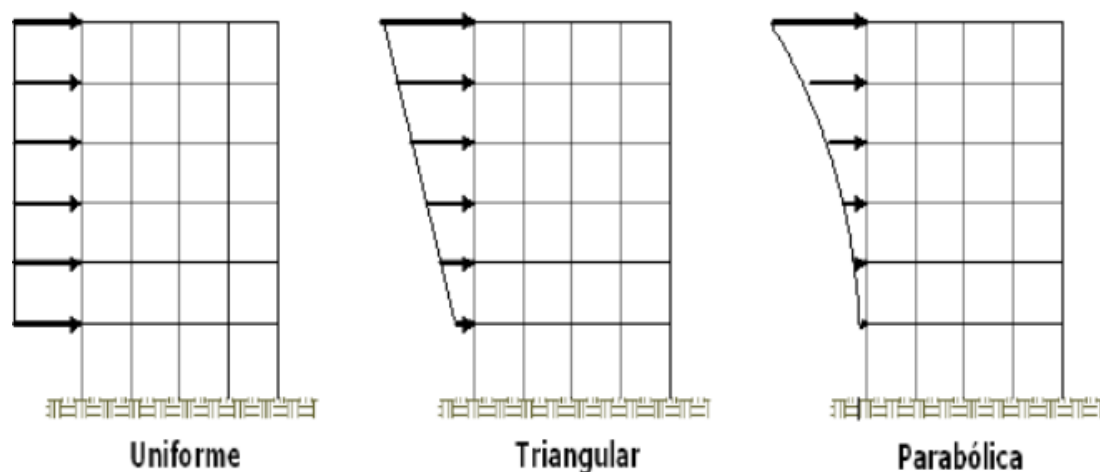
### 2.2.11. Patrones de Carga

Los patrones de carga tienden a manifestar y establecer un límite en la repartición de las fuerzas de inercia en cuanto al sismo de diseño. Los conceptos fundamentales son que la distribución de fuerzas de inercia será comprensiblemente constante a través de todo el sismo dentro del nivel de la estructura, en la planta. Es posible que estos hipotéticos sean comprensibles solo si el resultado de la estructura no dependiera considerablemente de los efectos de los modos de mayor valor o más considerables (Navahandi, 2015).

Para la manifestación de las fuerzas laterales empleadas a la estructura se aplican las fuerzas sísmicas laterales semejantes a las fuerzas sísmicas que son iguales estáticamente. Tales fuerzas continúan el formato del modo fundamental de vibración o por otro lado una disposición más simple, así también es posible tener la forma triangular invertida, la forma parabólica o uniforme tal y como se presenta en la figura 9. El modo de las cargas laterales establecida va a influir en la curva de capacidad.

**Figura 9**

*Distribución de cargas laterales para análisis Pushover*



*Nota.* Se muestra el Distribución de cargas laterales para análisis Pushover. Fuente: Navahandi (2015).

### 2.2.12. Curva de Capacidad

El método reside en emplear una repartición distribuida vertical de una carga lateral sobre la estructura, la cual se debe incrementar de manera monotónica, hasta

que la estructura consiga el desplazamiento máximo, a través del gráfico de la cortante basal y el desplazamiento en el pico de la estructura. Terminado el diseño de la estructura se continua con el siguiente procedimiento (Hernández, 2010).

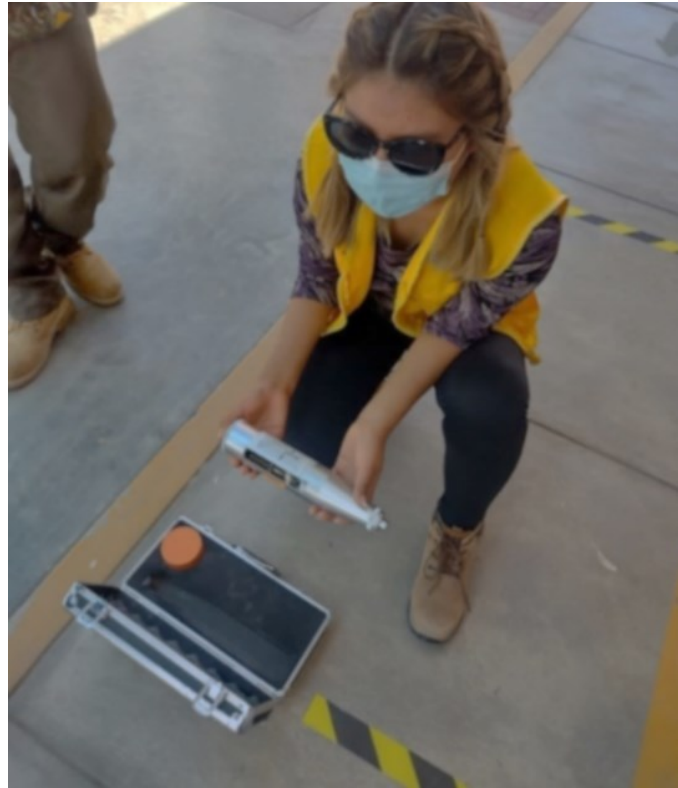
- Determinando la carga de gravedad utilizada en el análisis:
- Seguidamente se determina el factor  $C_{vx}$  para la repartición de la carga lateral en sentido vertical y realizar un producto entre la Fuerza (V) el cual es el incremento uniforme de la fuerza.

### **2.2.13. Ensayo de Esclerometría**

La aplicación de este método de ensayo es con el fin de calcular un valor aproximado de la resistencia concreto que requiere del empleamiento de una relación entre el esfuerzo y la cantidad de rebote, que es brindado por los creadores/fabricantes de los equipos/herramientas. Este método solamente brinda parámetros que indican la resistencia del concreto en función a distintos lugares en la estructura evaluada. Si se quiere estimar la resistencia del concreto mediante este método, se requiere definir un enlace entre la fuerza y el número de rebote para una mezcla de concreto y para un cierto aparato. (NTP 339.181, 2013).

#### **2.2.13.1. Esclerómetro**

El instrumento denominado “esclerómetro” es una herramienta manual con un peso estimado de 2 kg, se accionan de forma mecánica, el instrumento aplica un considerable impulso de energía de impacto y su manejo es de manipulación simple, en la figura 10 se muestra el esclerómetro analógico. El instrumento consiste en el uso del concepto del índice de rebote, el cual sostiene que, si disparamos un cierto elemento con una consistente fuerza, dicho componente retorna parte de la energía que regresa, en relación con la dureza del material aporreado, entonces se puede deducir que a medida que mayor sea la dureza mayor será el retorno o rebote, de la misma forma menor dureza será menor el rebote. Es la función primordial que realiza un esclerómetro. El instrumento se acciona de forma sencilla, se crea presión en la superficie del concreto que será materia de estudio, generada la presión empleada, el componente (resorte) expulsa la presión y golpea el concreto, el concreto reacciona a este golpe de acuerdo con su dureza, esta respuesta es la que desplaza una guía sobre un visor escalado 41 de 10 a 100 y consigue la medición, se puede hacer uso del botón de bloquea con a fin de tomar cuenta de la medida (Sanjuán, 2013).

**Figura 10***Esclerómetro analógico*

#### **2.2.14. Normatividad Peruana**

##### **2.2.14.1. Norma de Cargas**

Los edificios y todos los elementos que lo conforman tendrán la capacidad de soportar todas las cargas las cuales se usan como efecto de su utilización previsto. Las mencionadas actúan en todas las combinaciones determinadas y no deberán provocar los esfuerzos ni las deformaciones que sobrepasan los señalados anteriormente para cada material estructural en sus normas de diseños específicas (Norma E.020 Cargas, 2006).

##### **2.2.14.2. Norma de Diseño Sismorresistente**

Como se indica en la norma de diseño sismorresistente, se establecen las condiciones mínimas para que las construcciones diseñadas según los requerimientos tengan comportamientos sísmicos acorde con los principios de evitar las pérdidas de vidas humanas, también de favorecer y velar por la continuidad de

todos los servicios básicos y de simplificar todos los daños a las propiedades. Se aplican a los diseños de las nuevas edificaciones, a las evaluaciones y los reforzamientos de las existentes, asimismo a la reparación de las que resultaran dañadas por la acción de los sismos (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018).

### **2.2.14.3. Norma de Concreto Armado**

La mencionada norma de Concreto Armado establece todos los parámetros y los requisitos mínimos para el diseño, análisis, diseño, ejecución, así mismo como para el control de calidad y la respectiva supervisión de las estructuras de concreto armado pre-esforzado y las simples. Como que se establece en la E060 se plantea con prioridad cuando se está en difiere con otras normas a las que la norma hace hincapié (Norma E.060 Concreto armado, 2009).

## **2.3. Definición de Términos**

### **2.3.1. Evaluación Estructural**

Las evaluaciones estructurales consisten en determinar el nivel de daño en el que se encuentra la estructura de una edificación, ya que estas son las que están más expuestas a las acciones de los diferentes fenómenos naturales o eventos sísmicos que ocurren, que en momentos determinados podrían poner en riesgo toda la estabilidad estructural (García, 2015).

### **2.3.2. Estructura**

En el contexto de la ingeniería, las estructuras son cualquier otro tipo de construcciones formadas por uno o por varios elementos que están enlazados entre sí y que están destinados para poder soportar las acciones de una serie de fuerzas aplicadas sobre las estructuras (Marín, 2015).

### **2.3.3. Peligro Sísmico**

Se define como la posibilidad de que ocurran los movimientos sísmicos de ciertas intensidades durante un determinado tiempo y en una determinada región. El peligro también puede incorporar efectos adicionales que los mismos sismos generan, como los derrumbes y la licuefacción de los suelos (Bommer et al., 1998).



#### **2.3.4. Riesgo Sísmico**

El riesgo sísmico es la escala de las pérdidas probables las cuales consiguen dañar las edificaciones como a los habitantes que lo comprenden, por un lapso de tiempo al cual permanecen vulnerables a las ondas sísmicas (Bonett, 2003).

#### **2.3.5. Sistema Estructural**

El sistema estructural es la agrupación de los elementos estructurales que pueden ser de una variedad en el material estructural, de los cuales permitan la transmisión adecuada de las fuerzas de forma constante y eficaz hasta los cimientos. No obstante, los cimientos deben garantizar la adecuada transmisión de dichas fuerzas a la capa o estrato que se localice en la profundidad de desplante (Marín, 2015).

#### **2.3.6. Análisis Lineal**

Es aquel análisis en el cual las propiedades de la estructura, de igual manera el amortiguamiento y la rigidez, serán continuos y sin presentar cambios o variaciones en relación con el tiempo. Comúnmente gran parte de las reacciones, desplazamientos y esfuerzos serán indiscutiblemente igualitario a la magnitud de las fuerzas aplicadas (Chávez et al., 2013).

#### **2.3.7. Análisis no Lineal**

Es el tipo de análisis en el cual las propiedades estructurales varían con la carga, la deformación y el tiempo. Comúnmente la respuesta puede no ser correspondiente a las cargas, dado que suelen variar las propiedades estructurales, considerando la no linealidad geométrica y sin considerar de forma directa el principio de superposición (Chávez et al., 2013).

#### **2.3.8. Capacidad Estructural**

Representa la forma de representar la característica que dispone la estructura para resistir una demanda sísmica. Esto corresponde enteramente de la capacidad de deformación de los componentes individuales de la estructura y de su resistencia. (Chávez et al., 2013).

### **2.3.9. Demanda de Desplazamiento**

La actividad dinámica del suelo a través de un evento sísmico genera un comportamiento complejo de desplazamientos en la estructura de la edificación que es capaz de variar en el tiempo. Así mismo, para una estructura determinada y un movimiento del suelo determinado, la demanda de desplazamiento es un valor aproximado de la respuesta máxima estimada del edificio a partir del movimiento del terreno (Chávez et al., 2013).

### **2.3.10. Desempeño Esperado por la Edificación**

Representa la forma de expresar el comportamiento estimado o el desempeño objetivo que requiere ser capaz de alcanzar un edificio sometido a un nivel dado de movimiento sísmico estructural aplicado (Safina, 2002).

### **2.3.11. Desempeño Estructural**

Denomina la conducta general o global de la estructura, respecto a los principales rasgos envueltos, preservación de la vida de sus habitantes y perjuicios estructurales probables (Calcina, 2017).

### **2.3.12. Ductilidad**

Propiedad de algunos materiales para deformarse por acción de una fuerza sin llegar a romperse, los elementos que no poseen esta propiedad se denominan frágiles (Arreola, 2011).

### **2.3.13. Fallas Estructurales por Rigidez Lateral**

Se definen como las fallas causadas por la inapropiada capacidad de sostener las cargas de la estructura y las cargas de un sismo, provocando un excesivo desplazamiento lateral (Alcántara y Nalvarte, 2016).

### **2.3.14. Fallas Estructurales por Rotación de Elementos**

Se representa como fallas las cuales dibujan la deformación plástica de las conexiones de los elementos estructurales, quienes presentan una rotación en su

sección transversal provocado por los esfuerzos a flexión. La ductilidad de rotación de elementos mide las rotaciones plásticas que se ocupan en los elementos estructurales como las columnas o las vigas. También es utilizada este tipo de ductilidad para las uniones entre los miembros o elementos. (Pareja, 2012).

### **2.3.15. Rótula Plástica**

Se define como un dispositivo de amortiguación de energía, el cual hace posible la rotación de la deformación plástica. Es empleado para describir la deformación de una sección en una viga donde se produce la flexión (Calcina, 2017).

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo y Diseño de Investigación**

#### **3.1.1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación es aplicada, porque consiste el análisis del hospital de la Solidaridad con el fin de determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover.

#### **3.1.2. Diseño de Investigación**

La presente investigación es diseño de campo debido a la recopilación de datos en campo empleando fichas de evaluación, ensayo de laboratorio y apoyo de software.

### **3.2. Población y Muestra de Estudio**

#### **3.2.1. Población**

La población de la presente investigación será el Hospital de la Solidaridad de la ciudad de Tacna.

#### **3.2.2. Muestra**

La muestra es por conveniencia considerando aspectos de carácter técnicos el Bloque A del Hospital de la Solidaridad de la ciudad de Tacna.

### **3.3. Operacionalización de Variables**

En la tabla 1 se observa la operacionalización de las variables independiente y dependiente.

**Tabla 1***Cuadro de operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
V.I. Análisis Pushover	El análisis Pushover, es una técnica que emplea un patrón de cargas laterales, que incrementa en cada iteración, llevando al edificio a una deformación máxima o al colapso.	Patrón de cargas laterales. Cargas gravitacionales. Rotulas plásticas. Curvas de capacidad.	Toneladas Toneladas Adimensional Tonelada por metros
V.D. Vulnerabilidad sísmica	Es el comportamiento de un edificio en función a su capacidad estructural y peligro sísmico. Para conocer el desempeño se considera el estado de daño límite, la funcionalidad y la seguridad de sus ocupantes luego del sismo.	Vulnerabilidad sísmica Alta (2.2 a 3.0). Vulnerabilidad sísmica Media (1.5 a 2.1). Vulnerabilidad sísmica Baja (1.0 a 1.4).	Niveles de Vulnerabilidad

### 3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

#### 3.4.1. Plan de Recolección de Datos

Se empleará la técnica de recopilación documental y el correspondiente trabajo en campo como también en gabinete. En la tabla 2 se observa el plan de recolección de datos.

**Tabla 2**

*Plan de recolección de datos*

<b>Actividades</b>	<b>Recurso</b>	<b>Función</b>
	Esclerómetro	Permitirá la verificación de la resistencia a compresión del concreto.
Trabajo en Campo	Ficha de inspección	Permitirá verificar las medidas de los elementos estructural y la correcta compatibilidad con los planos estructurales.
	Aparato Óptico	Permitirá verificar e identificar posibles fisura y fallas en los elementos estructurales.
Trabajo en Gabinete	Ficha de Gabinete	Permitirá verificar las especificaciones técnicas.

#### 3.4.2. Ubicación del Hospital de la Solidaridad

El hospital de la solidaridad está ubicado entre la av. Manuel A. Odría y la calle Rufino Albarracín como se aprecia en la figura 11, sobre un perfil de suelo semi rígido. La construcción de la edificación termino en el año 2008.

El Bloque A del hospital de la Solidaridad está destinado a tópicos de enfermería el cual cuenta con 2 niveles, la altura total es de 3.5 m con una planta típica de 40.62m por 9.07 m. La estructuración consiste en pórticos de concreto armado.

### Figura 11

*Ubicación de la edificación*



*Nota.* Se muestra la ubicación de la edificación. Fuente: Google Earth.

#### 3.4.3. Revisión del Expediente

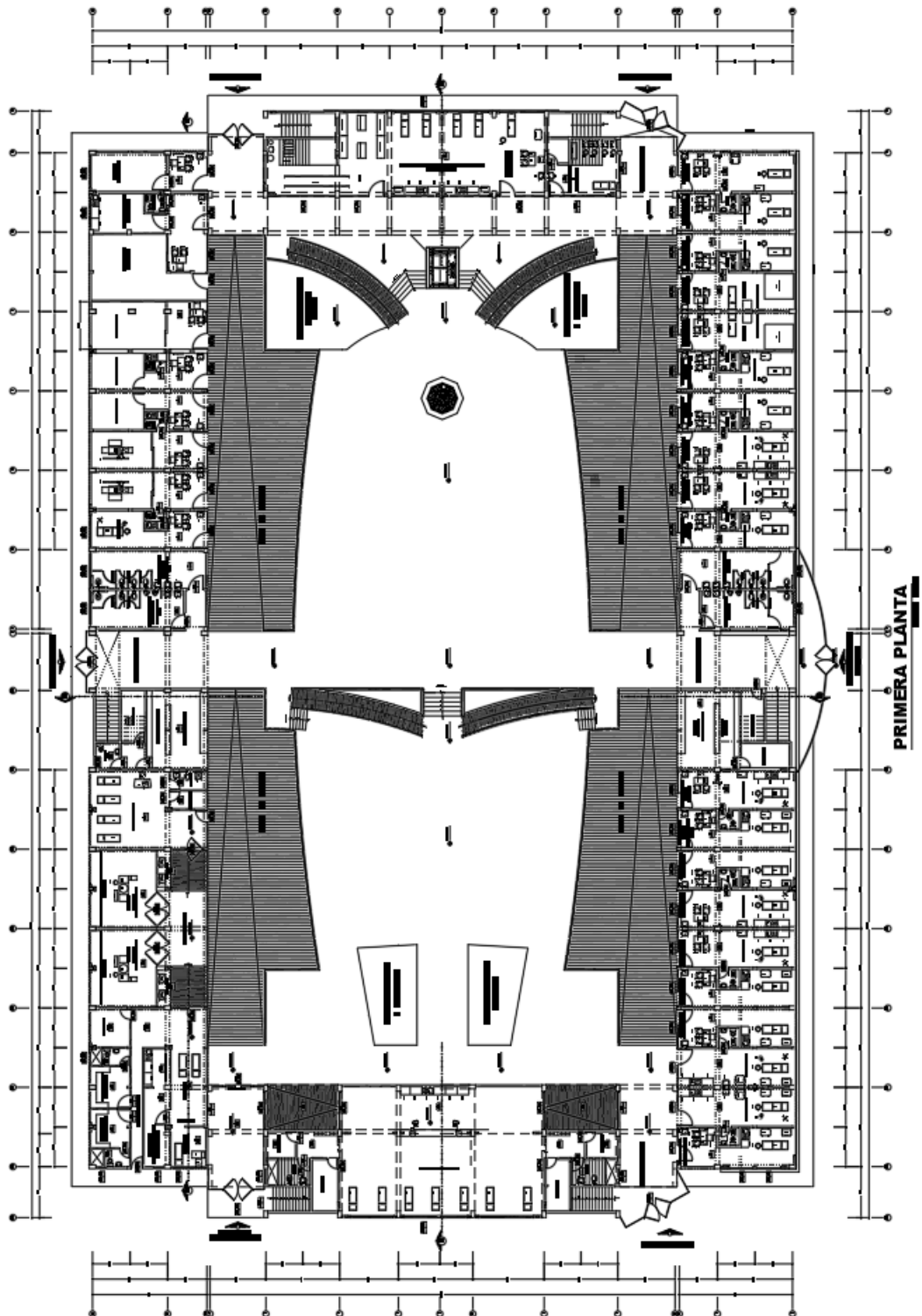
Se identifico adecuadamente las propiedades de los elementos estructurales, la resistencia de los materiales, dimensiones de las columnas, vigas, muros de albañilería no portante, espesores de losa y las especificaciones técnicas señaladas en los respectivos planos, justificando todos los datos necesarios para la composición de nuestro análisis.

En la figura 12 y figura 13 se muestra la distribución arquitectónica con cada nivel respectivo.

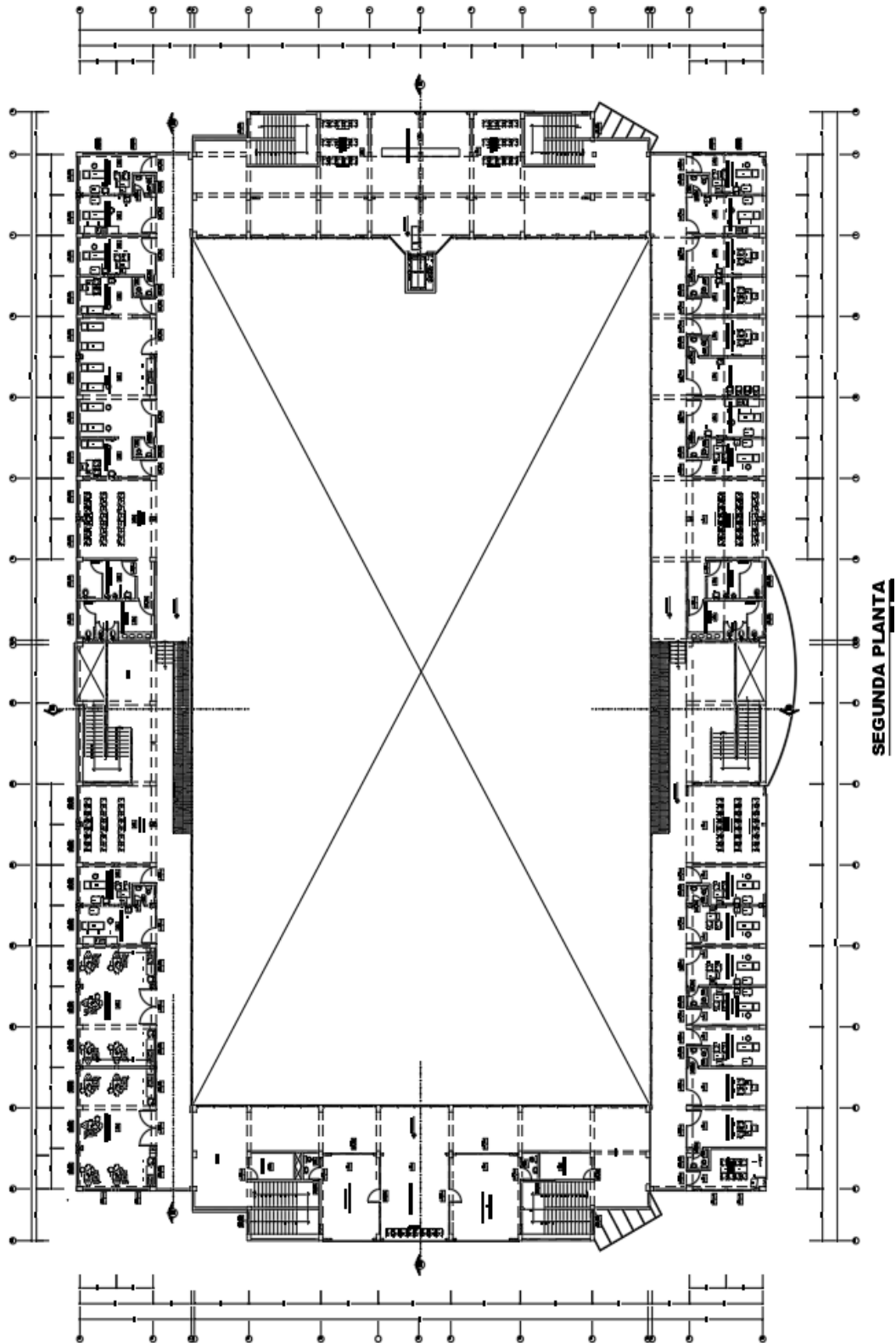
Se cuenta con pórticos de concreto armado en ambas direcciones y muros de albañilería no portantes con espesor de 14 cm los cuales no tienen continuidad por lo cual se despreció su aporte de rigidez en el análisis. Apreciamos que para la creación de un diafragma rígido se usó losa aligerada unidireccional convencional de 20cm de peralte

**Figura 12**

*Distribución de arquitectura general del primer nivel*





**Figura 13***Distribución de arquitectura general del segundo nivel*

Así mismos se cuenta con 2 tipos de columnas y también con columnetas sin continuidad los cuales no se consideraron para el análisis con el fin de tener un análisis conservador, para el caso de las vigas observamos que tenemos vigas peraltadas que arriostran la estructura en ambas direcciones correctamente en cada eje.

En la tabla 3 se muestran las características del estudio de mecánica de suelos según el estudio de mecánica de suelos (EMS), se tienen las siguientes características y consideraciones:

**Tabla 3**

*Características del estudio de mecánica de suelos*

<b>EMS</b>	<b>Características</b>
Nivel freático	No encontrado
Tipo de suelo	GW
Profundidad de cimentaciones	-1,5m
Esfuerzo admisible del terreno	2,5kgf/cm <sup>2</sup>

Según el expediente técnico proporcionado y los planos proporcionados se extrajo las siguientes características de los materiales que se aprecian en la tabla 4.

**Tabla 4**

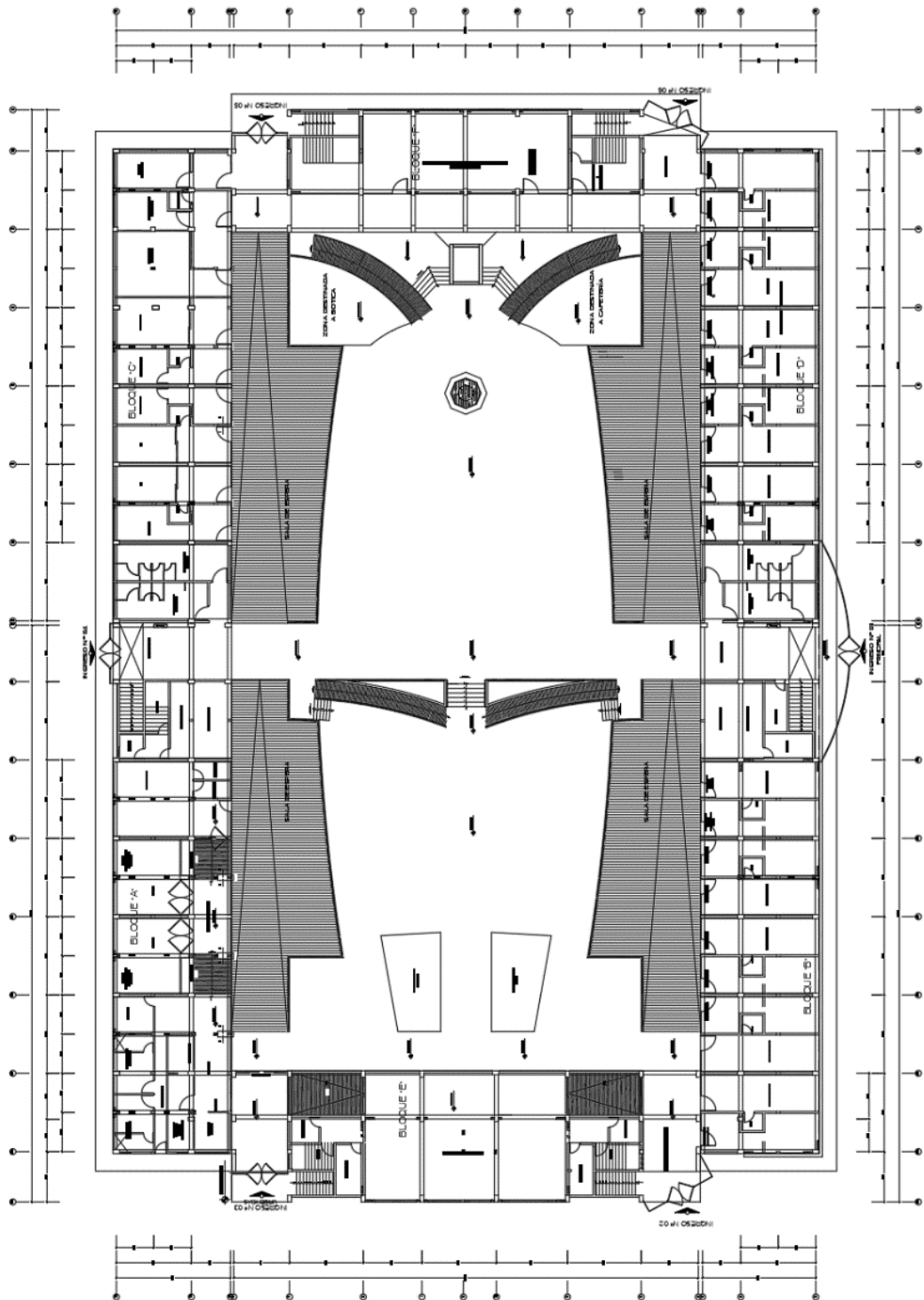
*Propiedades mecánicas del concreto*

<b>Características</b>	<b>Propiedades</b>
Resistencia a compresión del concreto	$f'c = 210\text{kgf/cm}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E = 217370,6512\text{kgf/cm}^2$
Módulo de Poison	$n = 0,20$
Peso específico	$y = 2400\text{kgf/m}^3$

*Nota.* Se detallan las características del concreto. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14, figura 15, figura 16 y figura 17 se muestra la estructuración que presenta cada nivel respectivo.

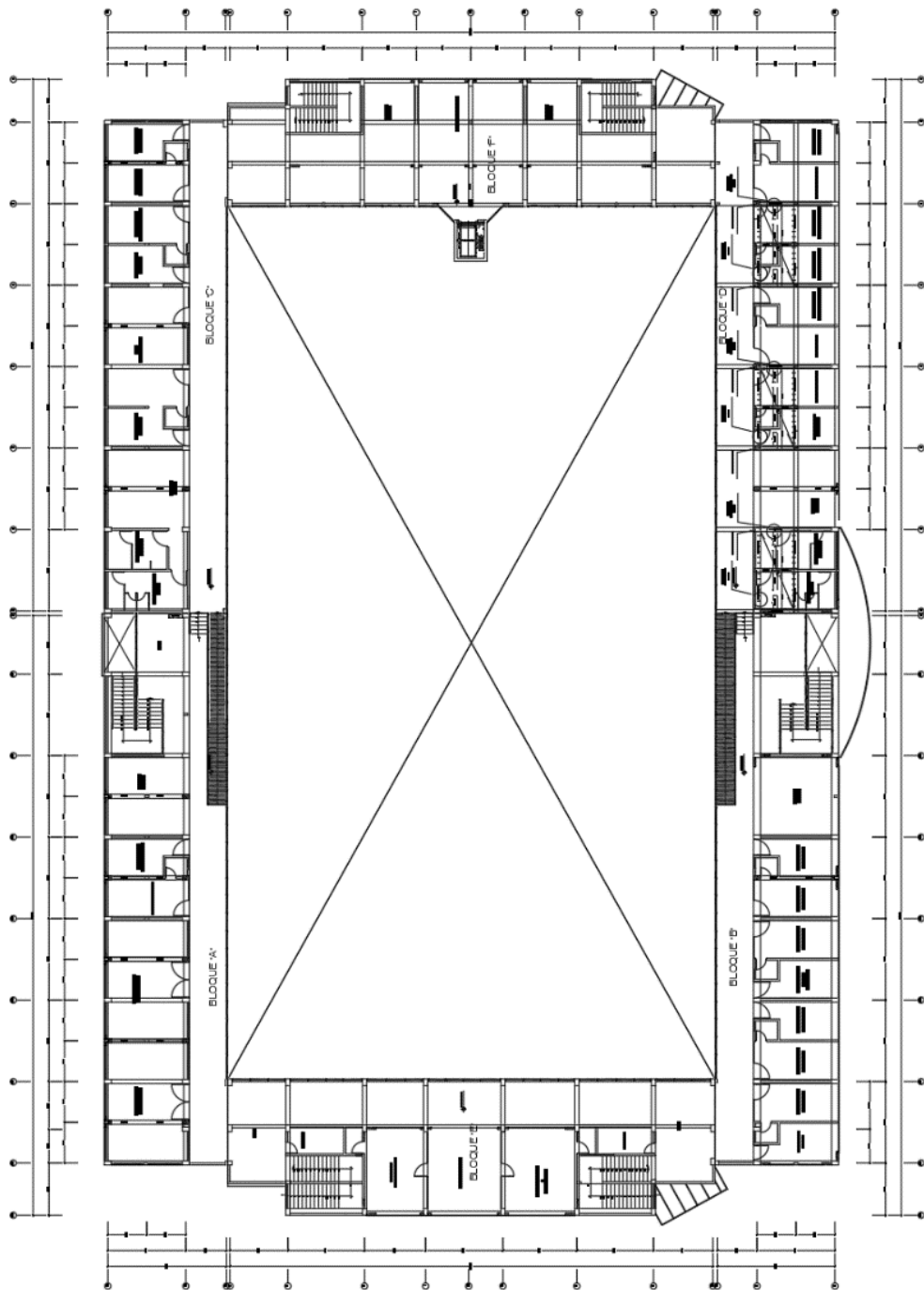
Figura 14

*Plano de estructuras planta general*



**Figura 16**

*Plano de estructuras segunda planta general*





Se aprecia en la tabla 5 las siguientes propiedades mecánicas

**Tabla 5**

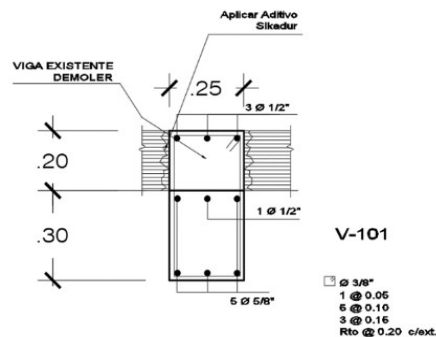
*Propiedades mecánicas del acero*

Características	Propiedades
Esfuerzo de fluencia	$f'y = 4200\text{kgf/cm}^2$
Módulo de elasticidad	$E = 2000000\text{kgf/cm}^2$
Módulo de Poisson	$n = 0,27$
Peso específico	$y = 7850\text{kgf/m}^3$

En la figura 18, figura 19 y figura 20 y figura 21 se puede apreciar las diferentes secciones de los elementos estructurales correspondientes a vigas y en la figura 22 y figura 23 columnas se puede apreciar las diferentes secciones de los elementos estructurales de las columnas, correspondiente con el refuerzo longitudinal respectivo. Los cuales fueron extraídos por los planos estructurales proporcionados.

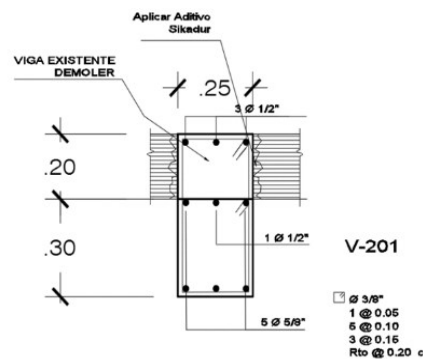
**Figura 18**

*Secciones de la viga V-101*



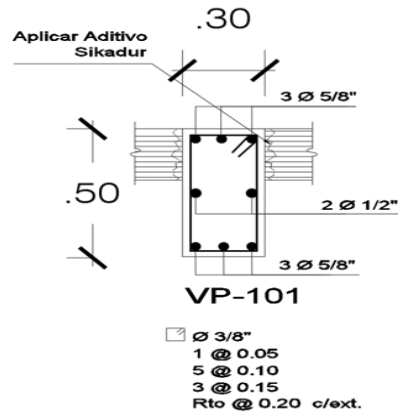
**Figura 19**

*Secciones de la viga V-201*



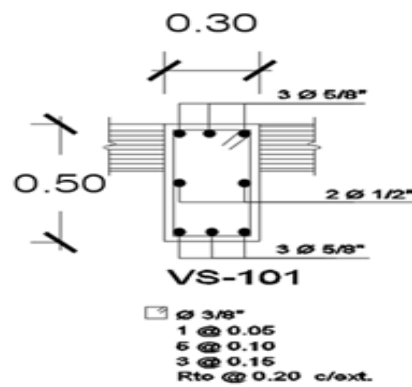
**Figura 20**

*Sección de la viga principal*



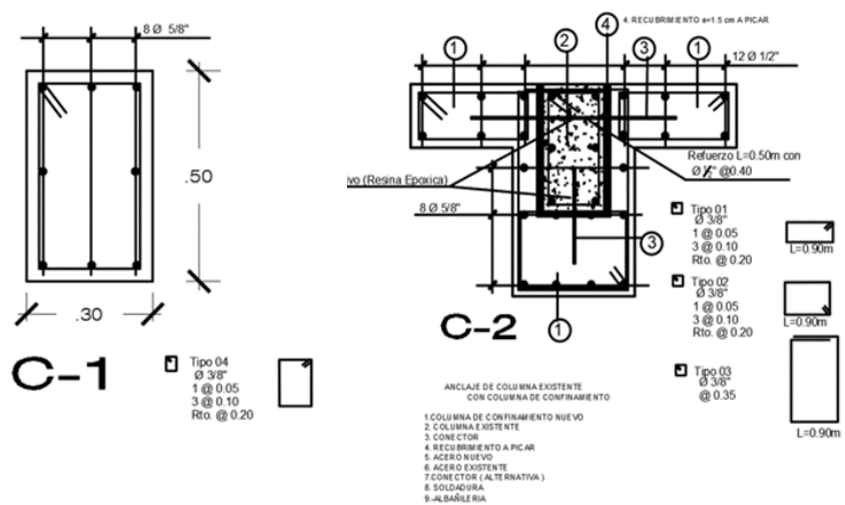
**Figura 21**

*Sección de la viga secundaria*



**Figura 22**

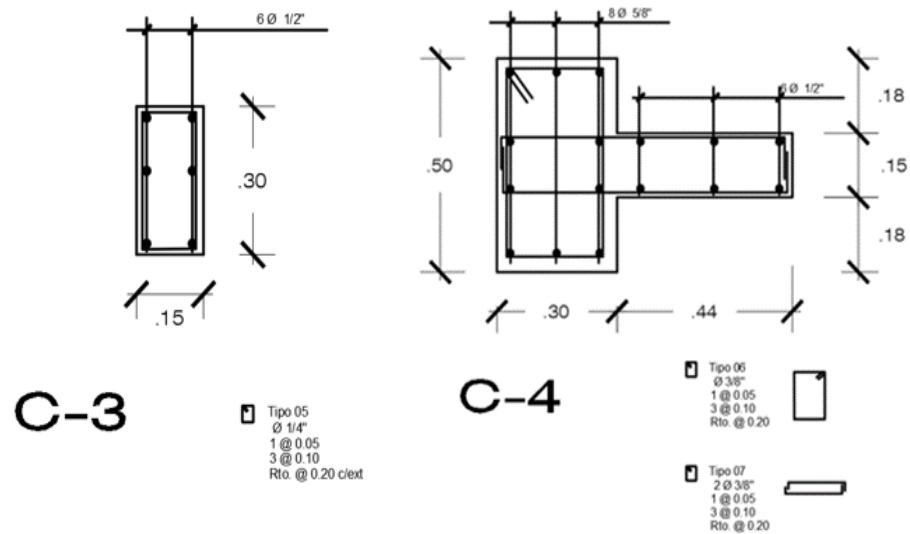
*Sección de la columna 1 y 2*





**Figura 23**

Sección de la columna 3 y 4



#### 3.4.4. Descripción del Trabajo en Campo

Con fechas 21/03/2022 y 25/03/2022 se inspecciono la edificación en materia de estudio, ubicada en el distrito de Tacna entre la av. Manuel A. Odría y la calle Rufino Albarracín.

Se tuvo acceso a todos los ambientes y espacios del bloque A para poder verificar el tipo de sistema estructural, patologías de fallas, verificación de una correcta compatibilidad con los planos estructurales recibidos, características de materiales y verificaciones de dimensiones usándose las siguientes herramientas.

- Planos de estructura y arquitectura
- Flexómetro
- Ficha de inspección y lapicero
- Cámara fotográfica
- Esclerómetro

Seguidamente, en la Figura 24 se representa en la ficha de inspección que se utilizó para la verificación de las medidas de los elementos estructurales principales como son las vigas, columnas y losas aligeradas.

**Figura 24***Ficha de inspección*

FICHA DE INSPECCIÓN BLOQUE A				
RESPONSABLES	Bach. Heidy Geovanna Pilco Apaza.			
	Bach. Renato Alonso Portugal Tacora			
FECHA DE INSPECCIÓN	21/04/2022			
GENERALIDADES				
NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN				
DIRECCIÓN				
NUMERO DE PISOS				
BLOQUE				
MEDICIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES				
COLUMNAS				
ELEMENTO	CANTIDAD	MEDIDAS		
		LADO 01(m)	LADO 02(m)	Longitud (m)
PRIMER PISO				
C-1				
C-T (80X50X30)				
SEGUNDO PISO				
C-1				
C-T (80X50X30)				
VIGAS				
ELEMENTO	CANTIDAD	MEDIDAS		
		LADO 01(m)	LADO 02(m)	Longitud (m)
PRIMER PISO				
VP-101				
VS-201				
SEGUNDO PISO				
VP-101				
LOSA ALIGERADA				
ELEMENTO	CANTIDAD	MEDIDAS		
		LADO 01(m)	LADO 02(m)	espesor (m)
PRIMER PISO				
Aligerado e=0.20cm				
SEGUNDO PISO				
Aligerado e=0.20cm				

En la siguiente página se muestra la tabla 6 con la ficha técnica del ensayo con el esclerómetro en donde se realizó un promedio del cual se obtuvo un valor promedio de la resistencia a compresión del concreto por ábaco.

**Tabla 6***Ficha técnica del ensayo del esclerómetro*

Nº	Descripción de la Estructura	Lecturas												Prom. U.	u.	U-u	F'c Abaco PSI	F'c kg/cm2	Promedio F'c kg/cm2
		P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12						
1	columna	43	46	45	47	51	45	48	47	50	30	46	51	45,75	5,55	40,20	3000	210,970	
2	columna	50	49	47	47	47	47	51	29	30	49	47	48	45,08	7,40	37,68	2900	203,938	206,282
3	viga	42	43	43	41	48	48	48	45	42	43	41	51	44,58	3,34	41,24	2900	203,938	
4	columna	48	42	48	47	46	49	48	49	50	48	50	48	47,75	2,14	45,61	3100	218,003	
5	columna	50	48	48	47	45	48	46	47	48	46	45	48	47,17	1,47	45,70	3100	218,003	213,315
6	viga	51	50	42	45	44	41	41	48	47	42	44	41	44,67	3,58	41,09	2900	203,938	
7	columna	50	50	50	42	50	44	41	48	48	47	50	41	46,75	3,72	43,03	2900	203,938	
8	columna	49	49	44	45	42	49	42	42	44	41	44	41	44,33	3,08	41,25	2900	203,938	206,282
9	viga	48	50	45	44	44	48	44	45	46	41	42	41	44,83	2,82	42,01	3000	210,970	
10	columna	50	49	51	52	44	50	41	49	50	41	50	41	47,33	2,47	43,06	3000	210,970	
11	columna	51	50	53	49	48	50	43	41	43	42	50	50	47,50	4,08	43,42	2900	203,938	210,970
12	viga	49	50	51	51	50	49	48	48	50	49	41	50	48,83	2,66	46,18	3100	218,003	

### 3.5. Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos primero se utilizó el expediente técnico que se utilizó durante la construcción del Hospital, el cual contiene los planos y las especificaciones técnicas, una vez con el plano de estructuras, se analizaron todas las cargas a las que se encuentra sometida la edificación en su vida útil como, las cargas por efectos de gravedad, cargas por efectos sísmicos y cargas por efectos dinámicos.

Se efectuó el modelamiento estructural de la edificación en el programa ETABS versión (19.0.0), inicialmente creando un modelo y análisis en el rango netamente lineal elástico que establece la norma E030, por consiguiente, se realizó un análisis estático no lineal conocido como Pushover donde se realizarán incursiones inelásticas para tener una idea más realista del verdadero comportamiento de los elementos estructurales.

#### 3.5.1. Modelado Elástico lineal

Se puede apreciar en la figura 25, la figura 26 y la figura 27 el modelamiento de las vigas y columnas con el acero indicado en los planos proporcionados de la edificación existente.

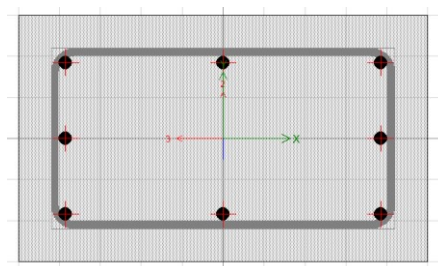
En la figura 28 y la figura 29 podemos observar que se puntualizó las propiedades del concreto y el acero longitudinal.

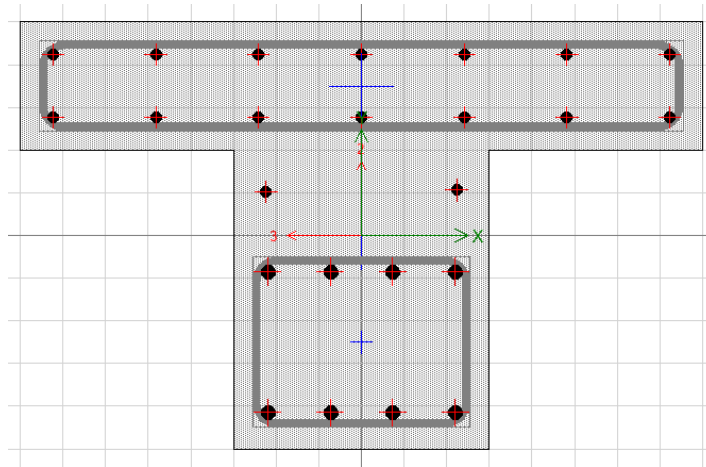
Debido a la buena capacidad del buen estrato de suelo según el EMS, se consideró una base empotrada ya que este brinda el grado de confiabilidad adecuado.

La losa aligerada se modeló como un elemento membrana para tener un análisis conservador y evitar que se considere el aporte de rigidez de este elemento.

**Figura 25**

*Dibujo y modelado de columna  
sección rectangular*



**Figura 26***Dibujo y modelado de columna sección T***Figura 27***Viga peraltada VP-101*

**E** Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: V- 0.30X0.50

Material: concreto 210kgf/cm2 No lineal

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**E** Frame Section Property Reinforcement Data

**Design Type**

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

**Rebar Material**

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

**Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid**

Top Bars: 0.06 m

Bottom Bars: 0.06 m

**Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams**

Top Bars at I-End: 0.0006 m<sup>2</sup>

Top Bars at J-End: 0.0006 m<sup>2</sup>

Bottom Bars at I-End: 0.0006 m<sup>2</sup>

Bottom Bars at J-End: 0.0006 m<sup>2</sup>

OK Cancel

**Figura 28***Definición del concreto elastoplástico*

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for concrete. It is divided into three sections: General Data, Material Weight and Mass, and Mechanical Property Data.

Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	concreto fc=209.212kgf/cm2	
	Material Type	Concrete	
	Directional Symmetry Type	Isotropic	
	Material Display Color	[Red Color]	
	Material Notes	Modify/Show Notes...	
Material Weight and Mass	Specify Weight Density	<input checked="" type="radio"/>	
	Specify Mass Density	<input type="radio"/>	
	Weight per Unit Volume	0.0024	kgf/cm <sup>3</sup>
	Mass per Unit Volume	0.000002	kgf-s <sup>2</sup> /cm <sup>4</sup>
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	216962.44	kgf/cm <sup>2</sup>
	Poisson's Ratio, U	0.2	
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099	1/C
	Shear Modulus, G	90401.02	kgf/cm <sup>2</sup>

**Figura 29***Definición del acero elastoplástico*

The screenshot shows two dialog boxes for steel. The top one is 'Material Property Data' and the bottom one is 'Material Property Design Data'.

Section	Property	Value	Unit
Material Property Data - General Data	Material Name	A615Gr60	
	Material Type	Rebar	
	Directional Symmetry Type	Uniaxial	
	Material Display Color	[Grey Color]	
	Material Notes	Modify/Show Notes...	
Material Property Data - Material Weight and Mass	Specify Weight Density	<input checked="" type="radio"/>	
	Specify Mass Density	<input type="radio"/>	
	Weight per Unit Volume	7.849	tonf/m <sup>3</sup>
	Mass per Unit Volume	0.80038	tonf-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
Material Property Design Data - Material Name and Type	Material Name	A615Gr60	
	Material Type	Rebar, Uniaxial	
	Grade	Grade 60	
Material Property Design Data - Design Properties for Rebar Materials	Minimum Yield Strength, Fy	42000	tonf/m <sup>2</sup>
	Minimum Tensile Strength, Fu	63000	tonf/m <sup>2</sup>
	Expected Yield Strength, Fye	42000	tonf/m <sup>2</sup>
	Expected Tensile Strength, Fue	63000	tonf/m <sup>2</sup>

Se muestra en la figura 30 el dibujo del primer nivel del bloque A del hospital de la Solidaridad y en la figura 31 el segundo nivel.

**Figura 30**  
*Vista del primer nivel*

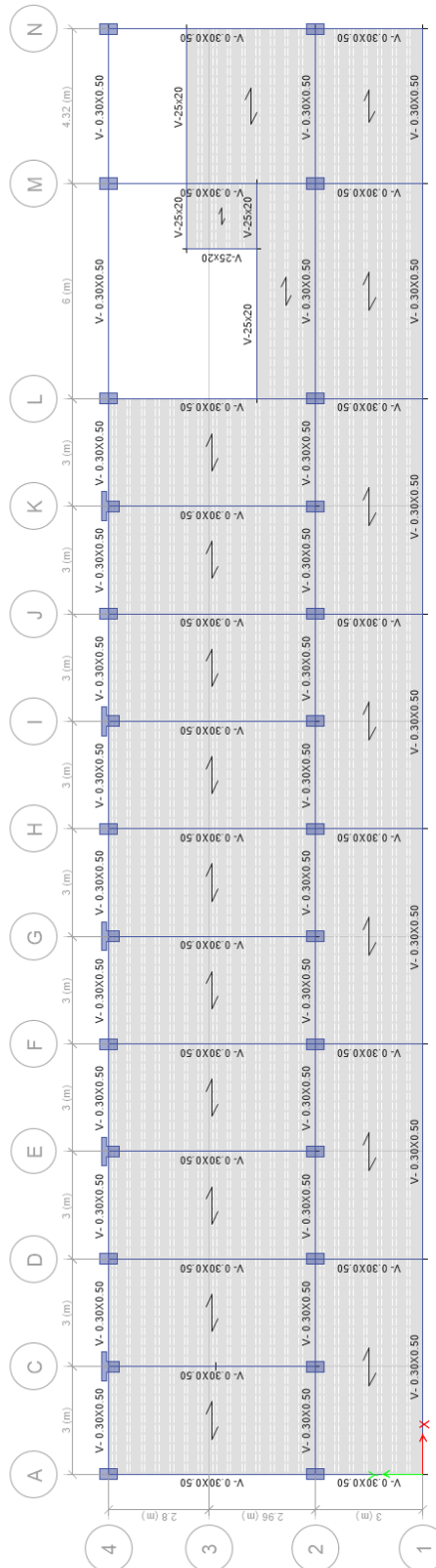
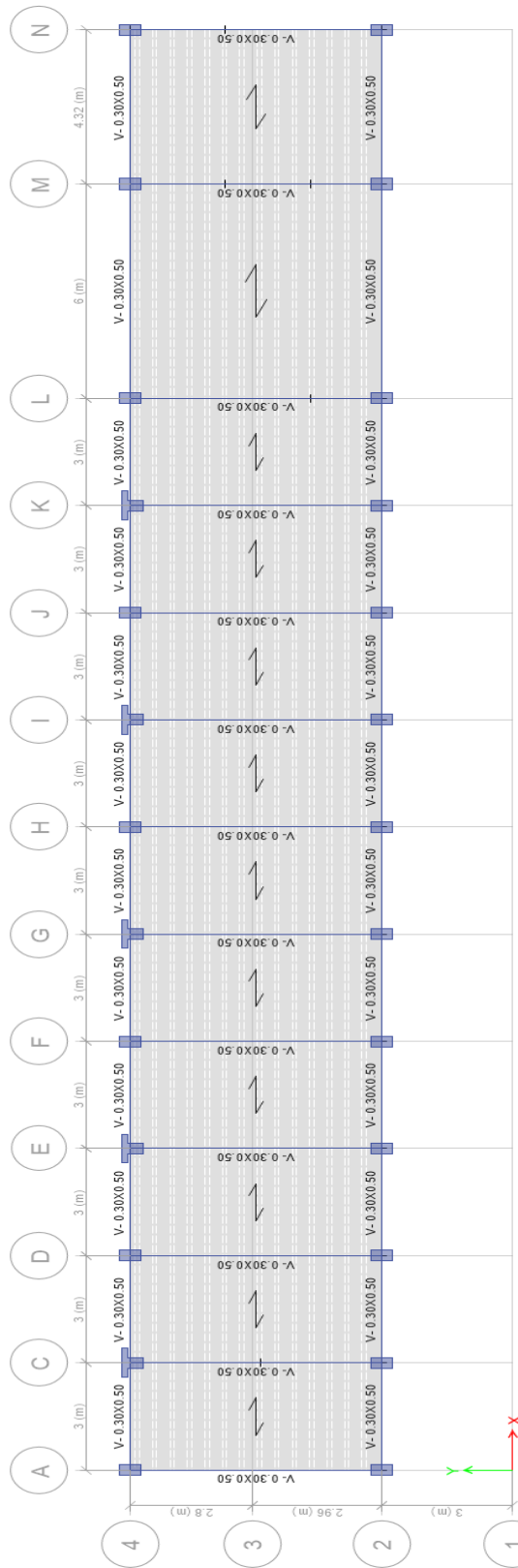


Figura 31

Vista del segundo nivel

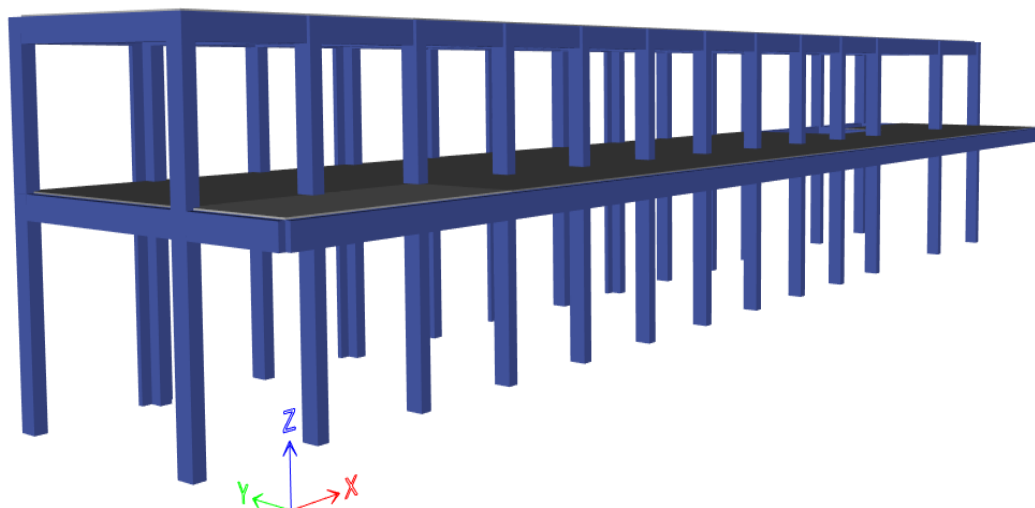




En la figura 32 se muestra el isométrico lateral del Hospital de la Solidaridad y en la figura 33 se muestra la vista inferior.

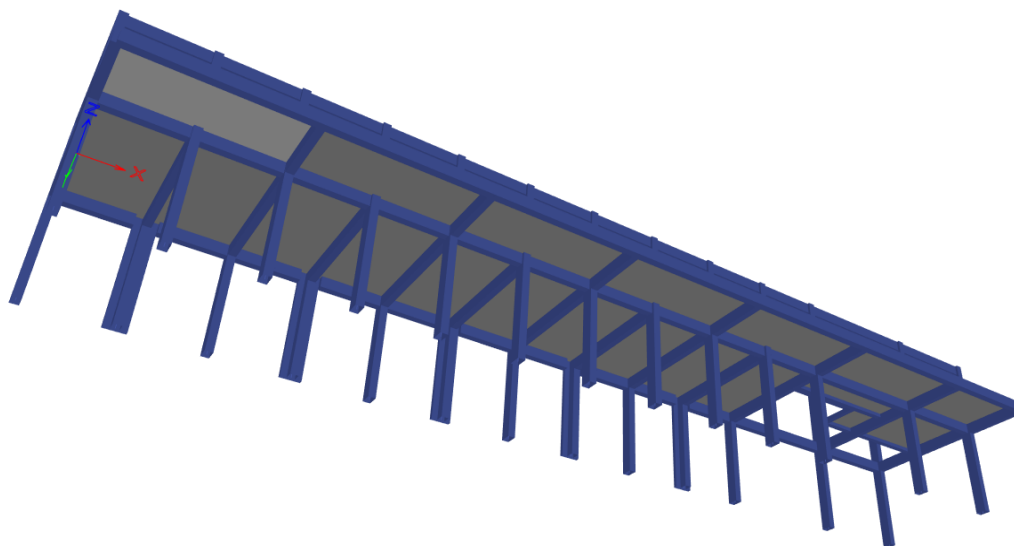
**Figura 32**

*Vista isométrico 3D lateral*



**Figura 33**

*Vista isométrico 3D inferior*



### **3.5.2. Análisis Por Cargas de Gravedad**

Acorde a la Norma Peruana E.020 (Cargas), se evaluaron las cargas verticales. Se aproximaron el peso de los elementos que no son principales (no estructurales) desde sus dimensiones existentes con un peso específico correspondiente.

Seguidamente continua para detallar las cargas convencionales o comunes como las cargas vivas y muertas que fueron utilizadas en el análisis.

En la tabla 7 y la tabla 8 se muestran los valores de carga para nuestro análisis.

**Tabla 7**

*Carga muerta*

<b>Características</b>	<b>Carga</b>
Peso Acabado de Techo	100 kg/m <sup>2</sup>
Peso de tabiquería	150 kg/m <sup>2</sup>
Peso de ladrillo	90 kg/m <sup>2</sup>

**Tabla 8**

*Carga viva*

<b>Características</b>	<b>Carga</b>
Sobrecarga en 1er piso	300 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga en corredor	400 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga en Azotea	120 kg/m <sup>2</sup>

A continuación, para el cálculo del peso sísmico total de la edificación se utilizó el 100% de la carga muerta más el 50% de la carga viva de entrepiso y el 25% de la carga viva para el techo según lo especificado en la Norma de Estructuras E.030. Seguidamente, en la tabla 9 se presenta la masa sísmica por cada nivel, centro de masa y centro de rigidez.

**Tabla 9**

*Centro de masa y rigidez*

<b>Story</b>	<b>Diaphragm</b>	<b>Mass X</b>	<b>Mass Y</b>	<b>XCM</b>	<b>YCM</b>	<b>XCR</b>	<b>YCR</b>
		tonf-s <sup>2</sup> /m	tonf-s <sup>2</sup> /m	m	m	m	m
Story 1	D 1	42.8847	42.8847	19.1837	4.557	18.314	7.0607
Story 2	D 2	22.2408	22.2408	19.5422	6.0726	18.4047	6.7929

### **3.5.3. Análisis Modal**

#### **3.5.3.1. Tabla de Periodos de la Estructura**

El programa ETABS obtiene mediante cálculos los modos de vibración y las frecuencias naturales de las estructuras.

Así mismo, en el análisis tridimensional se utiliza la superposición de los primeros modos de vibración debido a que son los mas esenciales en la edificación.

En la Tabla 10 aparecen los denominados modos de vibración y sus periodos.

**Tabla 10**

*Modos de vibración*

Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
Modal	1	0.51	0.605	0.073	0.605	0.073	0.009	0.028	0.009	0.028
Modal	2	0.47	0.215	0.691	0.820	0.764	0.082	0.019	0.092	0.048
Modal	3	0.43	0.160	0.192	0.981	0.956	0.019	0.025	0.111	0.073
Modal	4	0.14	0.011	0.002	0.992	0.958	0.044	0.632	0.155	0.705
Modal	5	0.13	0.003	0.031	0.996	0.989	0.638	0.168	0.794	0.874
Modal	6	0.12	0.003	0.010	1	1	0.205	0.125	1	1

El primer modo de vibración es en el sentido X presentando un período de 0,51 s. presentando una masa efectiva de participación equivalente en porcentaje al valor de 60,50 %, por lo tanto significa que en el sentido de X, presenta una mejor rigidez la estructura de la edificación.

El segundo modo de vibración se da en la dirección Y con un período de 0,471 s. con una masa efectiva de participación equivalente en porcentaje al valor de 69,10 % y por consecuente el tercer modo con un período de 0,435 s, siendo éste tipo rotacional, con una masa efectiva de participación equivalente en porcentaje al valor de 60,38 %.

#### **3.5.4. Análisis Estático**

La Norma E030 según el artículo 28.01.02 no faculta el análisis estático lineal en este tipo de edificación, sin embargo, se realizará con fines pedagógicos, seguidamente se presenta en la figura 34, como se distribuyen las fuerzas inerciales fuerzas estáticas en la dirección x y en la dirección y.

**Figura 34***Distribución de fuerzas inerciales*

$$V = \frac{ZUCS}{R} P \quad C = 2,5; \left(\frac{T_p}{T}\right); T > T_p$$

$$V = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum P_i(h_i)^k} V \quad k = 1; T \leq 0,5 \quad k = 0,75 + 0,5T; T > 0,5$$

Z:	Factor de Zona	0,45
U:	Factor de uso o importancia	1,50
S:	Factor de amplificación del suelo	1,05
$T_p$ :	Periodo que define la plataforma del factor C(s)	0,40
$T_x$ :	Periodo natural en la dirección X(s)	0,510
$T_y$ :	Periodo natural en la dirección y(s)	0,470
$C_x$ :	Factor de amplificación sísmica en x	1,96
$C_y$ :	Factor de amplificación sísmica en y	2,13
$R_x$ :	Coefficiente de reducción sísmico en x	8,00
$R_y$ :	Coefficiente de reducción sísmico en y	8,00
P:	Peso sísmico de la edificación (Tn)	638,66
$R_x$ :	Fuerza cortante en la base en la dirección x	110,94
$R_y$ :	Fuerza cortante en la base en la dirección y	120,39

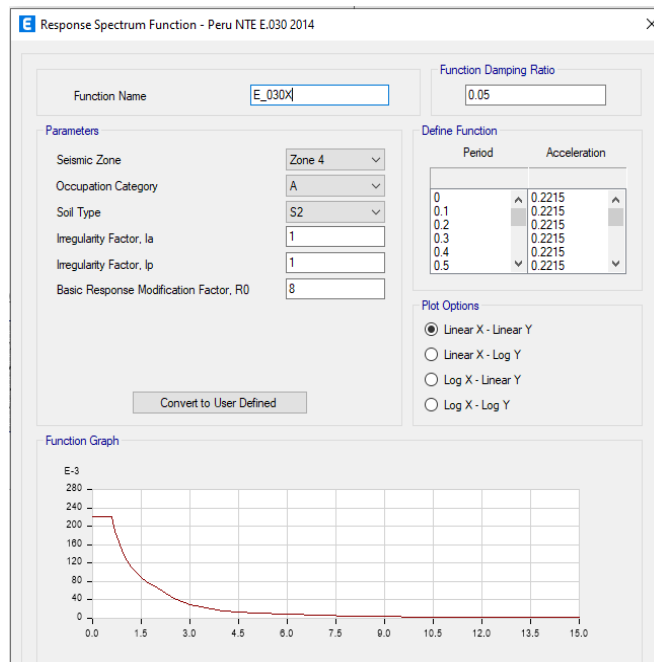
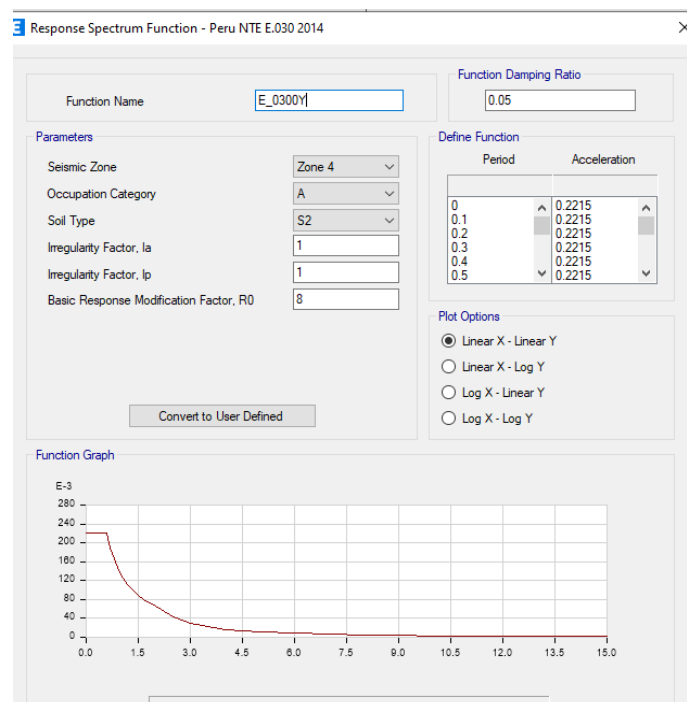
Fuerzas estáticas equivalentes en la dirección x							
Nivel	Hei(m)	hi(m)	masa tons- s2/m	Pi (Tn)	Pi(hi)k (Tn- m)	Fi(Tn)	Vi(Tn)
Story 2	3,50	7,00	428,847	420,56	2972,67	88,16	88,16
Story 1	3,50	3,50	22,24	218,11	768,17	22,78	110,94
Suma				638,66	3740,84	110,94	

Fuerzas estáticas equivalentes en la dirección y							
Nivel	Hei(m)	hi(m)	masa tons- s2/m	Pi (Tn)	Pi(hi)k (Tn- m)	Fi(Tn)	Vi(Tn)
Story 2	3,50	7,00	42,88	420,56	2943,89	95,60	95,60
Story 1	3,50	3,50	22,24	218,11	763,38	24,79	120,39
Suma				638,66	3707,26	120,39	

**3.5.5. Análisis Modal Espectral**

La Norma E030 según el artículo 28.1.2 no faculta el análisis estático lineal para este tipo de edificación, sin embargo, se realizará con fines pedagógicos.

A continuación, se muestra el espectro de diseño para cada una de las direcciones del módulo en general observe figura 35 y figura 36, a fin de realizar el análisis sísmico del bloque.

**Figura 35***Definición de espectro de diseño en X***Figura 36***Definición de espectro de diseño en Y*

Por consiguiente, procedemos a definir los casos de carga de sismo en X como en Y, considerando un 5% de excentricidad accidental, así como también la

consideración de un sismo vertical con 2/3 de la aceleración espectral como indica la Norma E030 pudiéndose apreciar en las figuras 37 y 38

**Figura 37**

*Caso de sismo X*

**E** Load Case Data ×

**General**

Load Case Name:  Design...

Load Case Type:  Notes...

Mass Source:

Analysis Model:

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	E_030X	9.8067
Acceleration	U3	E_030X	6.5378

+ Add − Delete  Advanced

**Other Parameters**

Modal Load Case:

Modal Combination Method:

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type:

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping:  Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity:  Modify/Show...

**Figura 38**

*Caso de sismo Y*

**E** Load Case Data ×

**General**

Load Case Name:  Design...

Load Case Type:  Notes...

Mass Source:

Analysis Model:

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	E_0300Y	9.8067
Acceleration	U3	E_0300Y	6.5378

+ Add − Delete  Advanced

**Other Parameters**

Modal Load Case:

Modal Combination Method:

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type:

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping:  Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity:  Modify/Show...

### 3.5.5.1. Procedimiento de Verificación de Irregularidades

Irregularidad en planta: Se procedió a la verificación de irregularidad en planta según lo estipulado en el artículo N°20 como indica la Norma E030.

Irregularidad en altura: Procederemos a la verificación de irregularidad en planta según lo estipulado en el artículo N°20.

### 3.5.5.2. Procedimiento de Verificación de Derivas

Se realizó el análisis de derivas mediante el artículo 32 de la norma E030 Diseño sismorresistente Obsérvese la tabla 11 y la tabla 12 de la verificación de derivas.

**Tabla 11**

*Verificación de derivas en sentido X*

Story	Output Case	Direction	Drift	Verificación
Story 2	DRIFFT x	x	0,0063	ok
Story 1	DRIFFT x	x	0,013908	No cumple

**Tabla 12**

*Verificación de derivas en sentido Y*

Story	Output Case	Direction	Drift	Verificación
Story 2	DRIFTT y	y	0,01125	No cumple
Story 1	DRIFTT y	y	0,015321	No cumple

### 3.5.5.3. Procedimiento de Verificación de Escalamiento de Fuerza

Se muestra en la tabla 13 de verificación de escalamiento de fuerza donde se realizó la verificación de escalamiento de fuerza según el artículo 29.4 de la norma E030.

**Tabla 13***Verificación de escalamiento de fuerza*

Story	Output Case	VX	VY	80%	verificación
Story1	SismoStaticX	141.4639	0	113.17112	
Story1	SismoStaticY	0	141.4639	113.17112	
Story1	SismoDinMaxX	117.8402	35.6658		ok
Story1	SismoDinMaxY	35.6658	122.7123		ok

### 3.5.6. Análisis Estático No lineal Pushover

Se efectuó el Análisis no lineal ortogonalizado en las direcciones --X, --Y, ++X, ++Y del bloque A despreciando los efectos de segundo orden P-Delta debido a que presentamos una estructura de baja envergadura y con una esbeltez despreciable.

Cada elemento estructural de concreto armado susceptible de incursionar en el rango inelástico será modelado de acuerdo con sus propiedades materiales, cantidad y distribución de refuerzo.

Las vigas se modelan para que la deformación inelástica se concentre en una sola sección, normalmente en la sección que está adyacente a los elementos estructurales verticales.

Como resultado de ello, se forma la rótula plástica que en su estado último permite el giro relativo de la viga con respecto al elemento vertical. Para calcular su capacidad se tiene que ingresar información de los materiales que lo conforman.

Para el concreto se requiere el gráfico esfuerzo deformación en tracción y compresión. Para el refuerzo colocado se requiere la cantidad de acero superior e inferior colocado en cada extremo de la viga, la cantidad de acero positivo en el centro de la luz y el gráfico esfuerzo deformación en tracción y compresión para el acero. Con esta información además de información sobre el reforzamiento transversal y cortante con ayuda de la tabla del ASCE/SEI 41-17 se calcula la capacidad de las vigas.

La tabla del ASCE/SEI 41-17 que se muestra en la figura 39 contiene las condiciones, parámetros y criterios de aceptación para el modelo no lineal de vigas de concreto armado, de acuerdo con lo siguiente:



**Figura 39**  
**Cuadro ASE/SEI 41-17**

TABLE 10-7. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures-Reinforced Concrete Beams

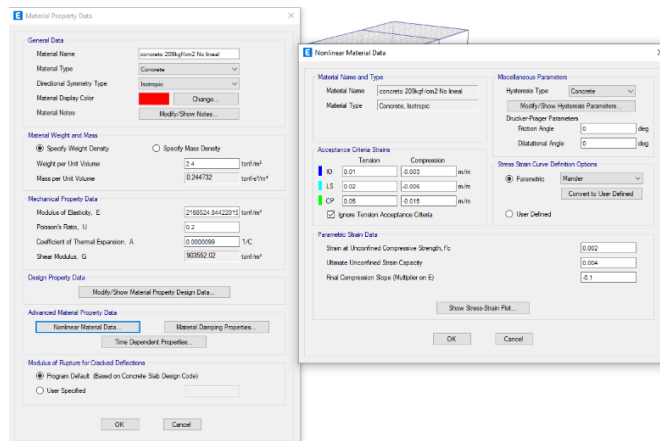
1) Contitions	2) Modeling Parameters*						3) Acceptance Criteria*		
	Plastic Rotation Angle(radians)		Residual Strength Ratio				Plastic Rotation Angle (radians)		
	a	b	c			Performance Level			
						IO	LS	CP	
<b>Condition i. Beams controlled by flexure*</b>									
Transverse reinforcement									
IA 0,0	C	IA 3(0,25)	0,025	0,05	0,2	0,010	0,025	0,05	
IA 0,0	C	IA 6(0,5)	0,02	0,04	0,2	0,005	0,02	0,04	
IV 0,5	C	IV 3(0,25)	0,02	0,03	0,2	0,005	0,02	0,03	
IV 0,5	C	IV 6(0,5)	0,015	0,02	0,2	0,005	0,015	0,02	
IA 0,0	NC	IA 3(0,25)	0,02	0,03	0,2	0,005	0,02	0,03	
IA 0,0	NC	IA 6(0,5)	0,01	0,015	0,2	0,0015	0,01	0,015	
IV 0,5	NC	IV 3(0,25)	0,01	0,015	0,2	0,005	0,01	0,015	
IV 0,5	NC	IV 6(0,5)	0,005	0,01	0,2	0,0015	0,005	0,01	
<b>Condition II Beams controlled by shear*</b>									
Stirrup spacing $\leq \sigma 2$			0,0030	0,02	0,2	0,0015	0,01	0,02	
Stirrup spacing $> \sigma 2$			0,0030	0,01	0,2	0,0015	0,005	0,01	
<b>Condition II Beams controlled by inadequate development or splicing along the span*</b>									
Stirrup spacing $\leq \sigma 2$			0,0030	0,02	0,0	0,0015	0,01	0,02	
Stirrup spacing $> \sigma 2$			0,0030	0,01	0,0	0,0015	0,005	0,01	
<b>Contidion iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint*</b>									
			0,015	0,03	0,2	0,01	0,02	0,03	

*Nota.* Se muestra el Cuadro ASE/SEI 41-17. Fuente: ASCE/SEI 41-17 (2017).

**3.5.6.1. Definición de Materiales no Lineales**

Para la creación del modelo no lineal del concreto se utilizará el modelo constitutivo de Mander tanto para el concreto confinado como para el no confinado y para el acero el modelo constitutivo de Park, correspondientes a vigas y columnas, en las siguientes figuras podemos apreciar la asignación al software como se muestra en la figura 40 del modelo no lineal del concreto.

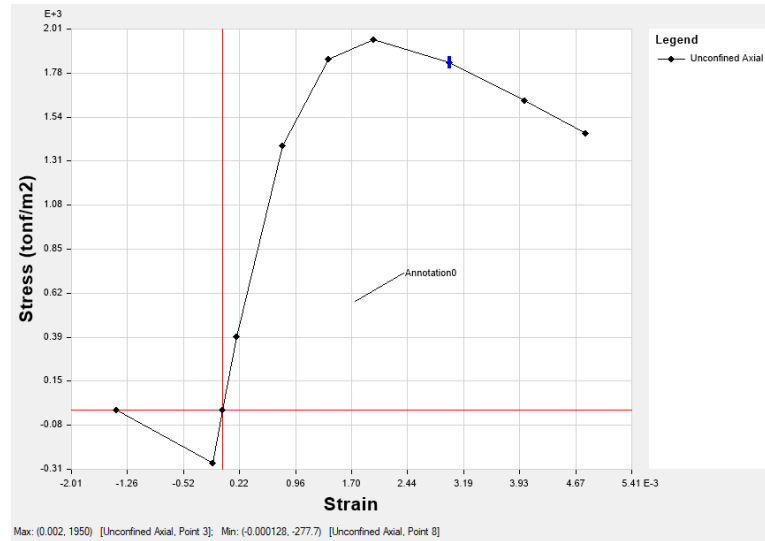
**Figura 40**  
**Modelo no lineal del concreto**



Se muestra la figura 41 y la figura 42 mostrándose el esfuerzo deformación del concreto

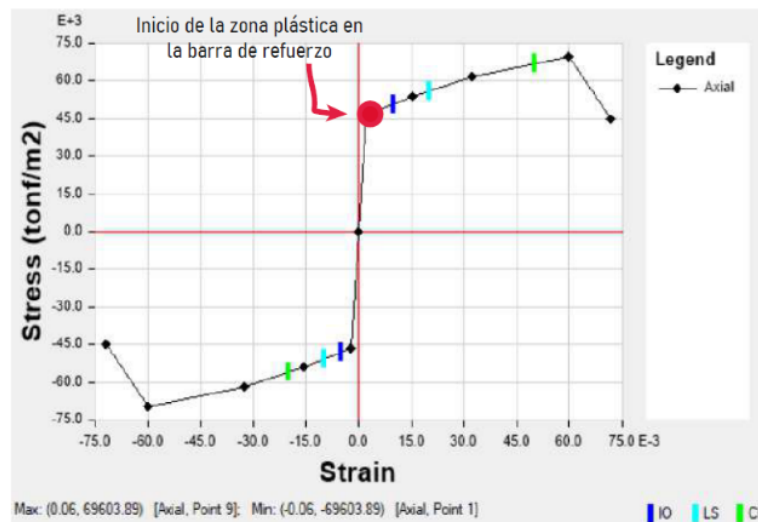
**Figura 41**

*Esfuerzo deformación del concreto*



**Figura 42**

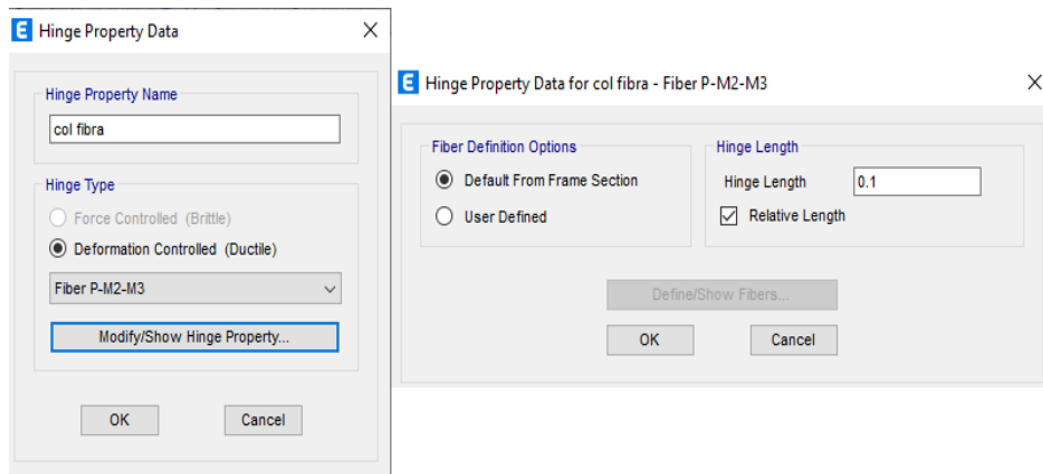
*Esfuerzo deformación del acero*



### 3.5.6.2. Definición de no Linealidad en las Columnas

Podemos apreciar en la figura 43 que se está estimando como rango de longitud plástica el 10% de la longitud de las columnas el cual se obtiene calibrando para pasar de un diagrama momento curvatura a uno de rotación plástica.

**Figura 43**  
Definición de Hinge tipo fibra para columna

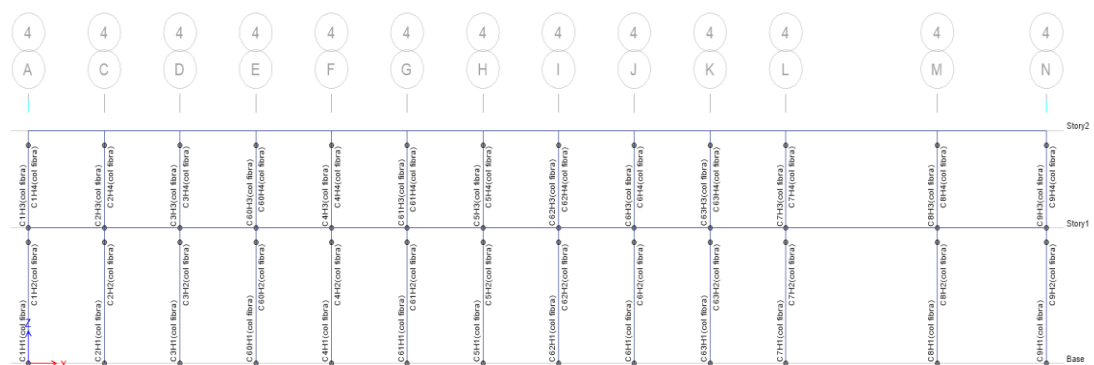


Las columnas han sido consideradas como un modelo de plasticidad distribuida tipo fibra.

En este modelo de formulación de fibra se distribuye la plasticidad mediante integraciones numéricas a través de las secciones transversales del miembro y a lo largo de la longitud del miembro.

Los parámetros de la sección transversal se integran numéricamente en secciones discretas a lo largo de la longitud del miembro, utilizando funciones de desplazamiento o interpolación de fuerza como se muestra en la figura 44 y la figura 45 donde todas las placas del primer y segundo piso han sido consideradas tipo fibra.

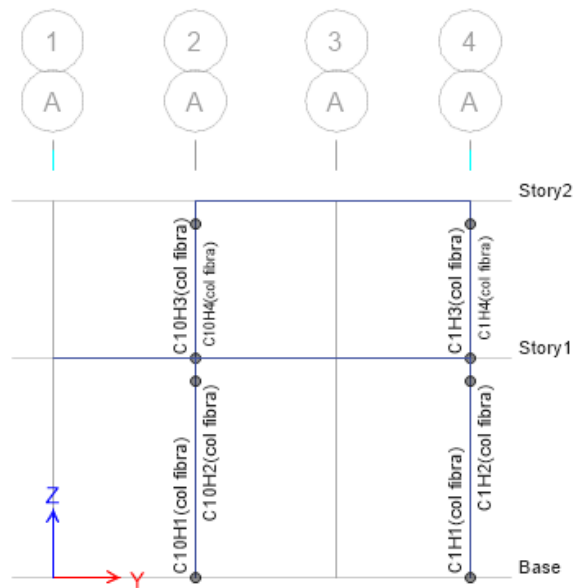
**Figura 44**  
Asignación de rotulas a las columnas planta



**Nota.** Se muestra la asignación de rotulas tipo fibra a las columnas en planta. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 45**

*Asignación de rotulas a las columnas pórtico*

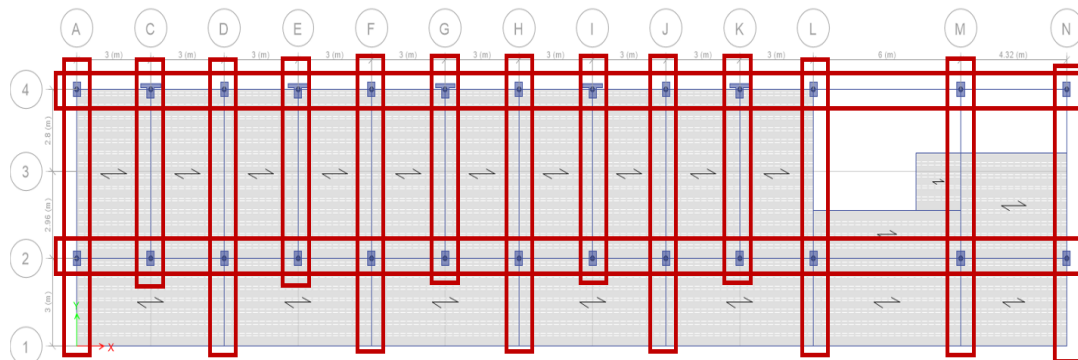


### 3.5.6.3. Definición de no Linealidad en Vigas

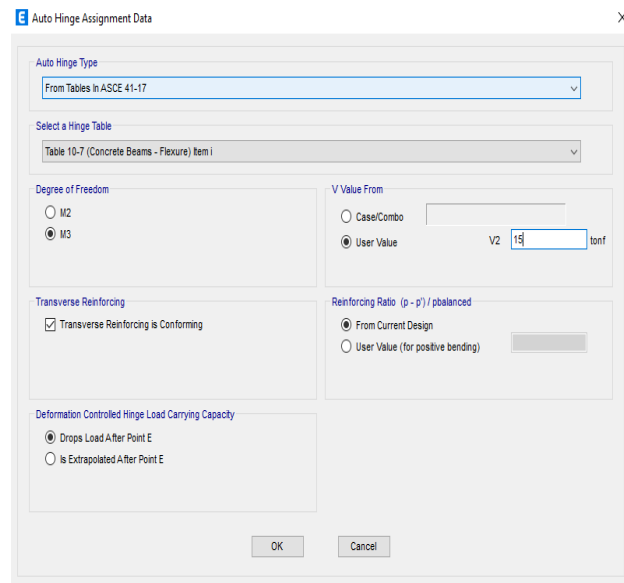
Las vigas han sido consideradas con un modelo de plasticidad concentrada tipo rótula plástica. En este modelo las deformaciones inelásticas se concentran en un punto del elemento, en el modelo se ha considerado la rótula plástica a la cara de las columnas o placas en el encuentro viga-columna. Las rótulas plásticas han sido definidas según la tabla 10-7 del ASCE-41-17, 2017, la cual está considerada en el ETABS. Se muestra en la figura 46, la figura 47 y la figura 48 las rótulas plásticas que se han colocado a todas las vigas.

**Figura 46**

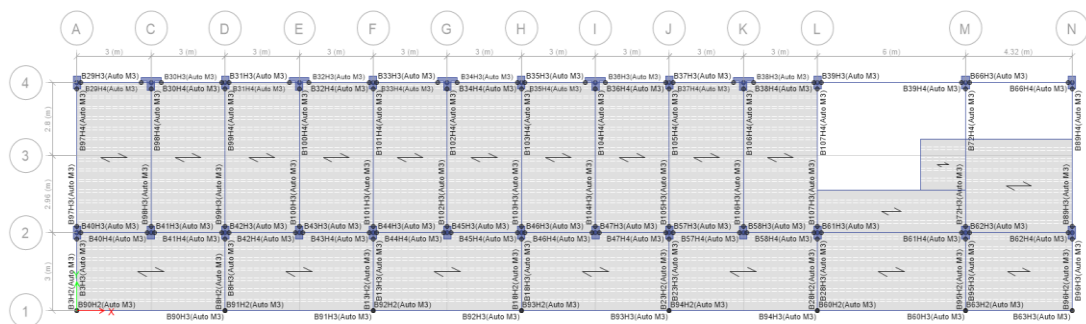
*Vigas de la estructura*



**Figura 47**  
Definición de rotulas para vigas



**Figura 48**  
Rotulas asignadas a las vigas



*Nota.* Se muestran las rotulas asignadas a las vigas. Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.6.4. Creación de Caso de Carga no Lineal por Gravedad

El procedimiento de análisis estático no lineal trata de tres análisis, uno por carga gravitacional y los otros dos por cargas laterales (dirección “X” e “Y”). En un primer acto trabajan las cargas gravitacionales en la estructura generándose las primeras deformaciones, luego continúa trabajando las cargas laterales que se amplifican poco a poco, en un solo sentido hasta que aparece la denominada rótula plástica, seguidamente aparece en la estructura una repartición de rigidez, así mismo continúa el proceso iterativo alcanzando que la edificación falle.

Se definen las cargas de gravedad carga muerta y carga viva actuando en la estructura antes de someter a la estructura a las fuerzas laterales como se muestra en la figura 49 caso de carga no lineal. Para el caso la acción causada por las cargas de gravedad.

**Figura 49**

*Caso de carga no lineal*

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1.1
Load Pattern	Live	0.5

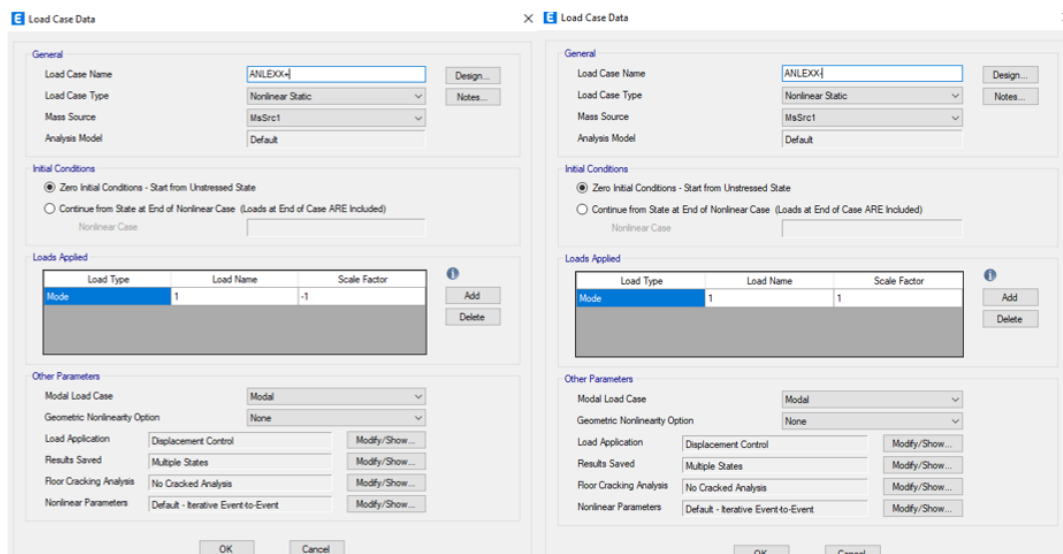
### 3.5.6.5. Creación de Caso de Carga no Lineal

Para la creación de caso de carga no lineal para cargas laterales monotónicas, en el procedimiento Pushover se estiman las demandas sísmicas mediante un análisis no lineal estático de la estructura sometida a una distribución de fuerzas.

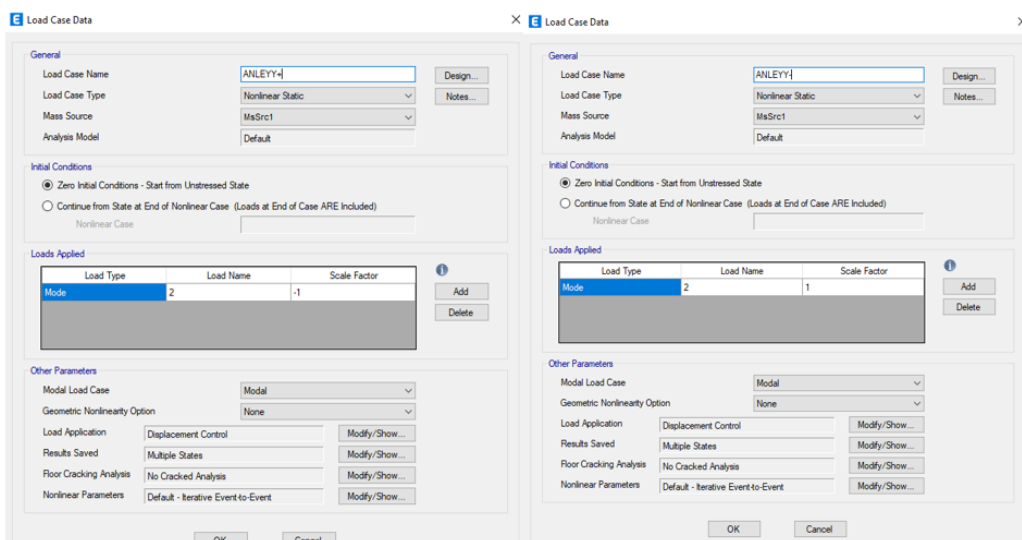
Se ha definido el caso de carga Pushover en el software ETABS v 19 con una distribución de fuerzas acorde a los modos fundamentales y el control de desplazamiento en el nudo más cercano al centro de masa acorde a la sección 7.4.3.1 y 7.4.3.2 del (ASCE-41-17, 2017).

El patrón de cargas a considerar será acorde a la forma del modo fundamental en la dirección a considerar según el ASCE 41-17. Para la dirección XX como se muestra en la figura 50 corresponde el Modo 1 y para la dirección YY como se muestra en la figura 51 que le corresponde el Modo 2.

**Figura 50**  
*Creación de cargas laterales sentido X*



**Figura 51**  
*Creación de cargas laterales sentido Y*



Los parámetros de convergencia y tolerancia son los utilizados para el control de la solución no lineal. Se han modificado los parámetros de control con el fin de satisfacer el equilibrio en cada paso y tener valores estables y concisos en el rango no lineal. Además, para obtener los parámetros de control ha sido necesario realizar varias corridas del modelo para ajustar los parámetros con el fin de no exigir demasiada demanda computacional y al mismo tiempo obtener un resultado confiable. Los parámetros de control finales se presentan en la tabla 14.

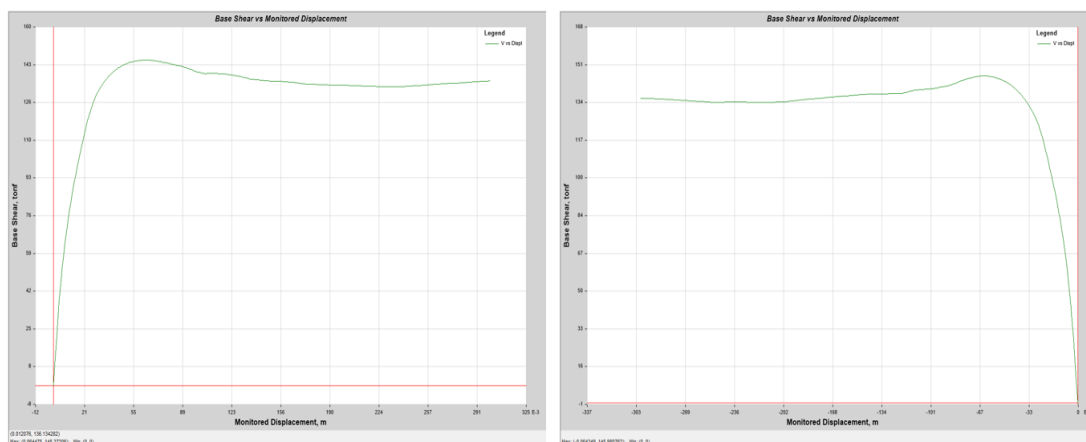
**Tabla 14***Parámetros de control de solución no lineal*

Parámetros	Solución
Control de solución no lineal	500
Número máximo de pasos nulos	10
Número mínimo de estados guardados	300
Número máximo de estados guardados	500
Control paso a paso de evento a evento	Activado
Iteración lineal y no lineal	Activado
Iteraciones máximas de rigidez constante	20
Iteraciones máximas Newton-Raphson	50
Tolerancia en la convergencia	0,01

### 3.5.6.6. Curva de Capacidad de la Estructura Global

Se han obtenido las curvas de capacidad Cortante basal vs Desplazamiento del último nivel en las direcciones XX e YY en ambos sentidos: positivo y negativo, según la convención de direcciones y sentidos asumida en el modelo.

En todos los casos, la curva de capacidad muestra un desplazamiento final, el cual corresponde al límite de convergencia del cálculo numérico y no necesariamente representa el límite de capacidad de la estructura. En las figuras 52 y 53 se muestran las curvas de capacidad obtenidas.

**Figura 52***Curvas de capacidad en la dirección XX*

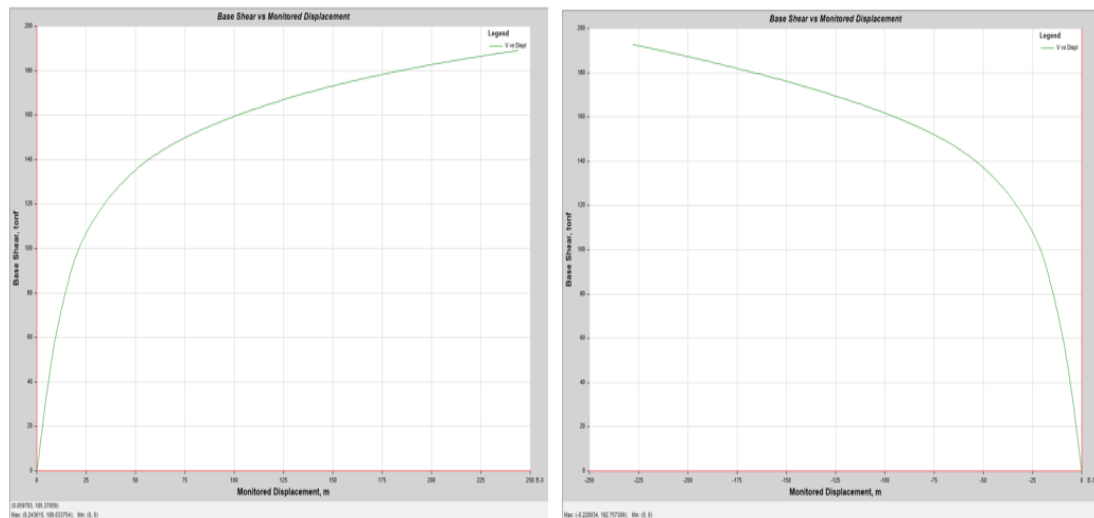
(a) Curva de capacidad XX positivo

(b) Curva de capacidad XX negativo



**Figura 53**

*Curvas de capacidad en la dirección YY*



(a) Curva de capacidad YY positivo

(b) Curva de capacidad YY negativo

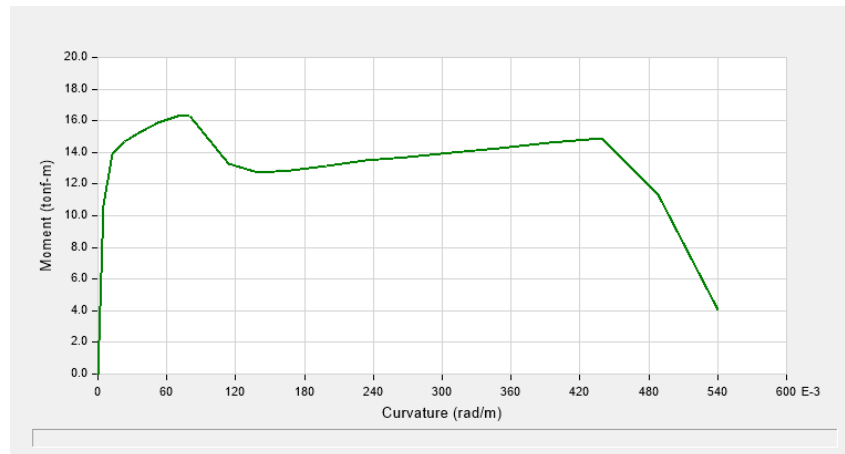
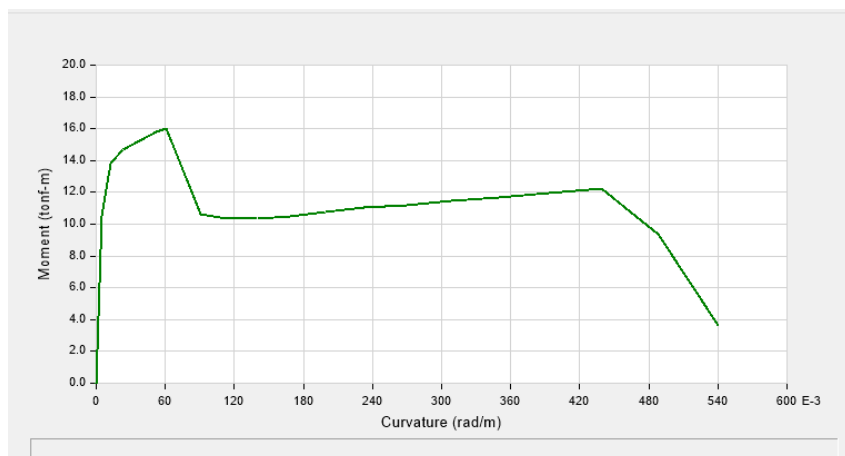
### 3.5.6.7. Punto de Desempeño para el Sismo de Diseño

El punto de desempeño de la estructura se determina mediante el procedimiento descrito en FEMA 440. En cuanto a la demanda sísmica, esta se obtiene a partir del espectro de diseño de la norma E.030 de diseño sismo resistente. Así mismo, se debe mencionar que el procedimiento de corrección del punto de desempeño que propone FEMA solo se aplica cuando la intersección entre el espectro elástico y la curva de capacidad está más allá del límite elástico.

Para determinar si aplica el procedimiento de corrección de FEMA, se debe determinar en qué zonas se interceptan las curvas elásticas de demanda sísmica y las curvas de capacidad.

### 3.5.6.8. Verificación de los Elementos Estructurales

En las siguientes figuras se muestran los diagramas momento curvatura de las secciones de las vigas que se analizan manualmente, las cuales han sido obtenidas a partir de las dimensiones, refuerzo y diagramas constitutivos de los materiales, en la figura 54 se muestra el diagrama momento curvatura para vigas portantes y en la figura 55 se muestra el diagrama momento curvatura para vigas no portantes.

**Figura 54***Diagrama momento curvatura para vigas portantes***Figura 55***Diagrama momento curvatura para vigas no portantes*

### 3.5.6.9. Vulnerabilidad Sísmica

Para determinar la vulnerabilidad sísmica se efectuó la sectorización de la curva de capacidad, se usó la curva que tiene en el eje horizontal, el desplazamiento del último nivel y en el eje vertical la cortante basal. Para ello, se debe de transformar la curva de capacidad espectral (desplazamiento espectral vs aceleración espectral) a la curva de capacidad (desplazamiento del techo vs cortante basal) y sobre esta curva de capacidad se hace la sectorización de la curva.

Para la sectorización de la curva se usa el criterio del documento Visión 2000: Performance Based Seismic Engineering of Buildings, tomando el punto de máximo desplazamiento del edificio como punto de colapso y el punto de fluencia efectiva acorde a la representación bilineal de la curva de capacidad.

La representación bilineal se grafica a través de un par de rectas, la primera que sigue la pendiente de la parte elástica y la segunda la cual une el último punto de la curva con el objetivo de la parte elástica, considerando que obedezca la armonía de energía (En el área entre la curva de capacidad y la segunda línea, se compense el área superior y el área inferior a la línea). El desplazamiento inelástico se reparte en diferentes segmentos proporcionales na 0.3, 0.3, 0.2 y 0.2 hasta el punto de fraccionarlo y dividido en 4 tipos de desempeño, funcionales, los cuales son los siguientes: resguardo de la vida, cerca de colapso y colapso respectivamente.

La representación bilineal se grafica a través de un par de rectas, la primera que sigue la pendiente de la parte elástica y la segunda la cual une el último punto de la curva con el objetivo de la parte elástica, considerando que obedezca la armonía de energía (En el área entre la curva de capacidad y la segunda línea, se compense el área superior y el área inferior a la línea). El desplazamiento inelástico se reparte en diferentes segmentos proporcionales 0.3, 0.3, 0.2 y 0.2 hasta el punto de fraccionarlo y dividido en 4 tipos de desempeño, funcionales, los cuales son los siguientes: resguardo de la vida, cerca de colapso y colapso respectivamente. Se identifica al desempeño de la edificación como se encuentre dentro del sector en el cual se encuentre el último punto de la curva de desempeño.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Vulnerabilidad Sísmica mediante el Análisis Pushover

#### 4.1.1. Resultado de Ficha de Inspección

En la figura 56 se muestra el resultado de la ficha de inspección realizada para recolectar datos del Hospital de la Solidaridad.

**Figura 56**

*Resultado de la ficha de inspección*

FICHA DE INSPECCIÓN MODULO A				
RESPONSABLES	Bach, Heidy Geovanna Pilco Apaza,			
	Bach, Renato Alonso Portugal Tacora			
FECHA DE INSPECCIÓN	21/04/2022			
GENERALIDADES				
NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN	Hospital de la Solidaridad			
DIRECCIÓN	Av, Manuel Odría s/n			
NUMERO DE PISOS	02			
MODULO	A			
MEDICIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES				
COLUMNAS				
ELEMENTO	CANTIDAD	MEDIDAS		
		LADO 01(m)	LADO 02(m)	Longitud (m)
PRIMER PISO				
C-1	21	0,3	0,5	4,0
C-2	5	AREA		0,216
SEGUNDO PISO				
C-1	21	0,3	0,5	4,0
C-2	5	AREA		0,216
VIGAS				
ELEMENTO	CANTIDAD	MEDIDAS		
		LADO 01(m)	LADO 02(m)	Longitud (m)
PRIMER PISO				
VP-101	20	0,3	0,5	3,00
	3	0,3	0,5	6,00
	3	0,3	0,5	4,32
	13	0,3	0,5	5,75
	8	0,3	0,5	3,00
	5	0,3	0,5	6,00
VS-201	1	0,25	0,2	6,00
	2	0,25	0,2	1,70
	1	0,25	0,2	4,32
SEGUNDO PISO				
VP-101	20	0,3	0,5	3,00
	2	0,3	0,5	6,00
	2	0,3	0,5	4,32
	13	0,3	0,5	5,75
LOSAS ALIGERADAS				
ELEMENTO	CANTIDAD	MEDIDAS		
		LADO 01(m)	LADO 02(m)	espedor (m)
PRIMER PISO				
Aligerado e=0,20cm	10	5,75	3,00	0,2
	7	6,00	3,00	0,2
	1	0,90	6,00	0,2
	1	1,70	1,70	0,2
	1	3,10	4,32	0,2
SEGUNDO PISO				
Aligerado e=0,20cm	10	5,75	3,00	0,2
	1	5,75	6,00	0,2
	1	5,75	4,32	0,2

#### 4.1.2. Ensayo no Destructivo de Esclerometría

Se obtuvo la resistencia a compresión de los elementos estructurales, apreciamos en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Resistencia del concreto en campo*

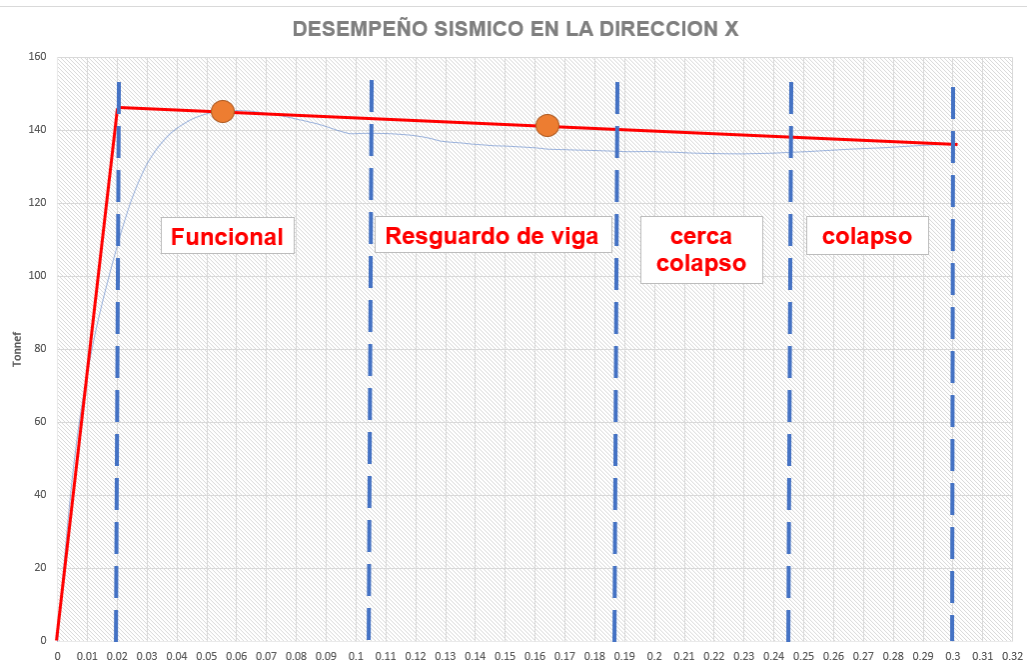
Características	Resistencia del concreto
Sobrecimiento armado	$F'c=175 \text{ kg/cm}^2$
Columnas	$F'c=209,2 \text{ kg/cm}^2$
Columnas de amarre	$F'c=175 \text{ kg/cm}^2$
Vigas	$F'c=209,2 \text{ kg/cm}^2$

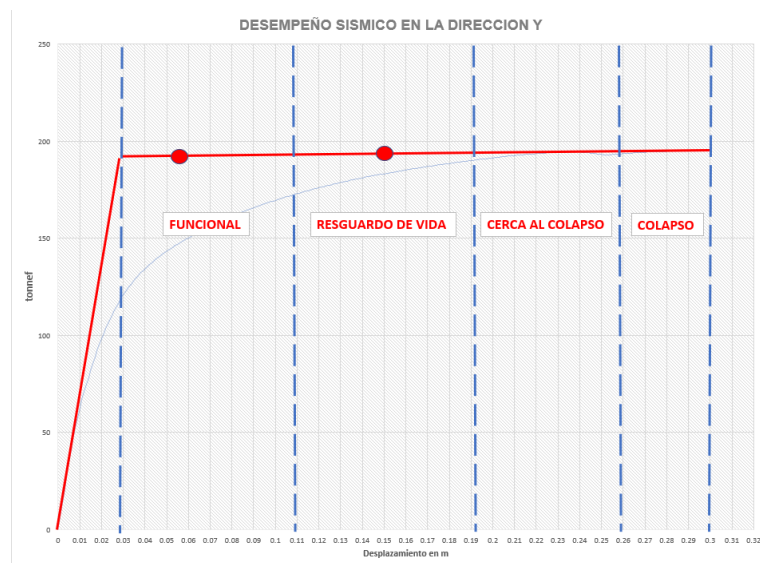
#### 4.1.3. Desempeño de la Estructura

En la figura 57 y la figura 58 se muestra la sectorización de las curvas de capacidad con el desempeño esperado de la estructura para sismo de diseño y sismo máximo, obtenidas según el criterio de Visión 2000: Performance Based Seismic Engineering of Buildings.

**Figura 57**

*Desempeño de la estructura en la dirección X*



**Figura 58***Desempeño de la estructura en la dirección Y*

*Nota.* Se muestra desempeño de la estructura en la dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

De las figuras precedentes se comprende que la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover es de resguardo de vida (RV).

## 4.2. Parámetros Sísmicos y Espectro de Diseño

### 4.2.1. Parámetros Sísmicos

En la tabla 16 se muestran los parámetros sísmicos considerados para realizar el modelado.

**Tabla 16***Parámetros sísmicos*

Características	Parámetros
Z: Factor de Zona	0,45
U: Factor de uso o importancia	1,50
S: Factor de amplificación del suelo	1,05
$T_p$ : Periodo que define la plataforma del factor C(s)	0,40
$T_x$ : Periodo natural en la dirección X(s)	0,510
$T_y$ : Periodo natural en la dirección y(s)	0,470
$C_x$ : Factor de amplificación sísmica en x	1,96
$C_y$ : Factor de amplificación sísmica en y	2,13
$R_x$ : Coeficiente de reducción sísmico en x	8,00
$R_y$ : Coeficiente de reducción sísmico en y	8,00

#### 4.2.2. Espectro de Diseño

A continuación, se muestra la figura 59 y la figura 60 con el espectro de diseño para cada una de las direcciones del módulo en general, a fin de realizar el análisis sísmico del bloque.

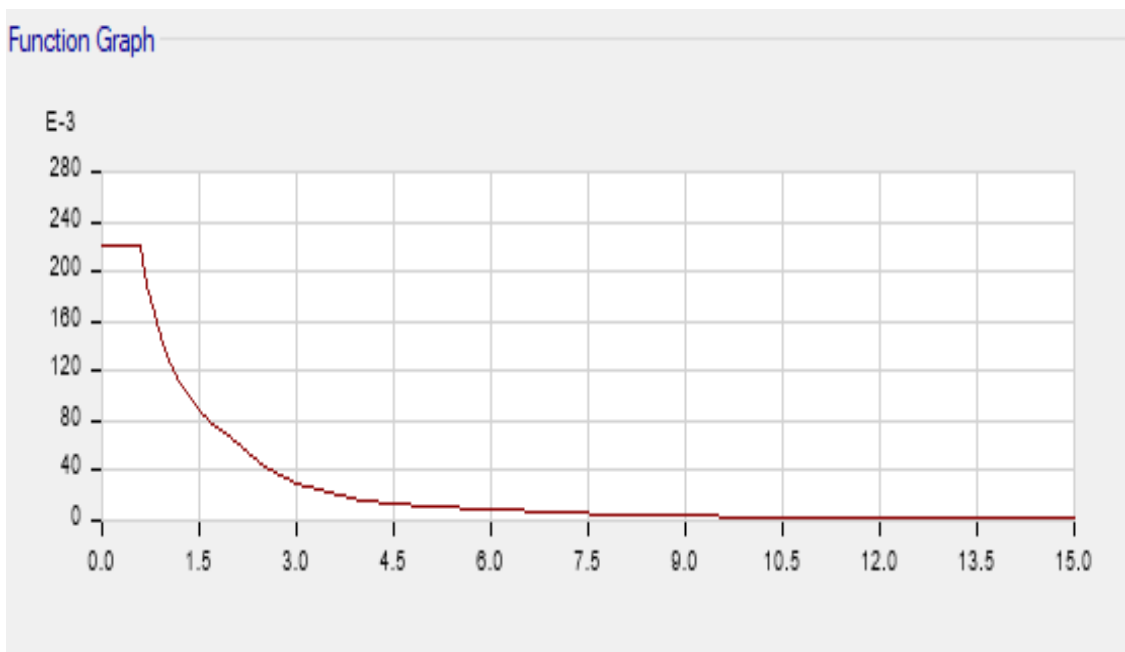
**Figura 59**

*Espectro de diseño en X*



**Figura 60**

*Espectro de diseño en Y*



### 4.3. Verificación de las Irregularidades y Distorsiones

#### 4.3.1. Verificación de Irregularidades

##### 4.3.1.1. Verificación de Irregularidad en Planta

Se muestra la tabla 17 y la tabla 18 de la verificación de irregularidad torsional.

**Tabla 17**

*Verificación de irregularidad torsional en X*

Story	Output Case	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Verificación
					<1.3
Story2	SismoDinMaxX	0,003473	0,003301	1,052	ok
Story1	SismoDinMaxX	0,011433	0,010628	1,076	ok

**Tabla 18**

*Verificación de irregularidad torsional en Y*

Story	Output Case	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Verificación
					<1.3
Story2	SismoDinMaxY	0,00633	0,00553	1,145	ok
Story1	SismoDinMaxY	0,013146	0,011294	1,164	ok

##### 4.3.1.2. Verificación de Irregularidad en Altura

Se muestra la tabla 19 y la tabla 20 de la verificación de irregularidad en piso blando.

**Tabla 19**

*Verificación de irregularidad piso blando en X*

Story	Output Case	Shear X tonf	Drift X m	Stiff X tonf/m	70%	verificación
Story2	SismoDinMaxX	46,2658	0,003301	14015,355	9810,7485	ok
Story1	SismoDinMaxX	114,8208	0,010628	10803,933		ok



**Tabla 20***Verificación de irregularidad piso blando en Y*

Story	Output Case	Shear Y tonf	Drift Y m	Stiff Y tonf/m	70%	verificación
Story2	SismoDinMaxY	66,6418	0,005727	11637,027	8145,9189	ok
Story1	SismoDinMaxY	141,4639	0,010552	13406,835		ok

**4.3.1.3. Verificación de Irregularidad por Peso**

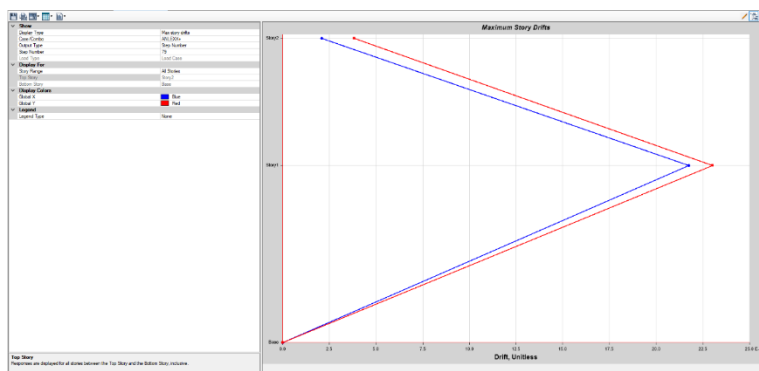
En la tabla 21 se muestra la verificación de irregularidad por peso o masa

**Tabla 21***Verificación de irregularidad por peso*

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s <sup>2</sup> /m	Mass Y tonf-s <sup>2</sup> /m	verificación
Story1	D1	42,8847	42,8847	No aplica en azoteas
Story2	D2	22,2408	22,2408	

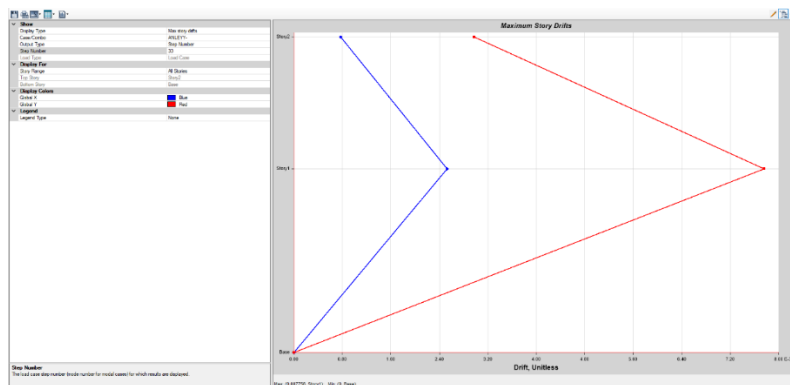
**4.3.2. Distorsión de Entrepiso**

De la intersección de la curva de capacidad con el espectro presentados en las figuras 61 y figuras 62, obtenemos el desplazamiento máximo según el teorema de FEMA 440, sin embargo, recordamos que asignamos un step de 0,01 en el software por lo cual podemos hacer el siguiente análisis:

**Figura 61***Distorsión entrepiso para sismo raro sentido X*

**Figura 62**

*Distorsión entrepiso para sismo raro sentido Y*



Observamos que el sentido X alcanzó una distorsión entrepiso producto del sismo raro de 0.023 mientras en el sentido Y estaría alcanzando 0.0078.

#### 4.4. Punto de Desempeño Sísmico

Se muestran las figuras 63, figura 64, figura 65 y la figura 66 donde están las intersecciones entre el espectro elástico del sismo de diseño y las curvas de capacidad en las direcciones XX e YY.

**Figura 63**

*Espectro elástico en la dirección X +*

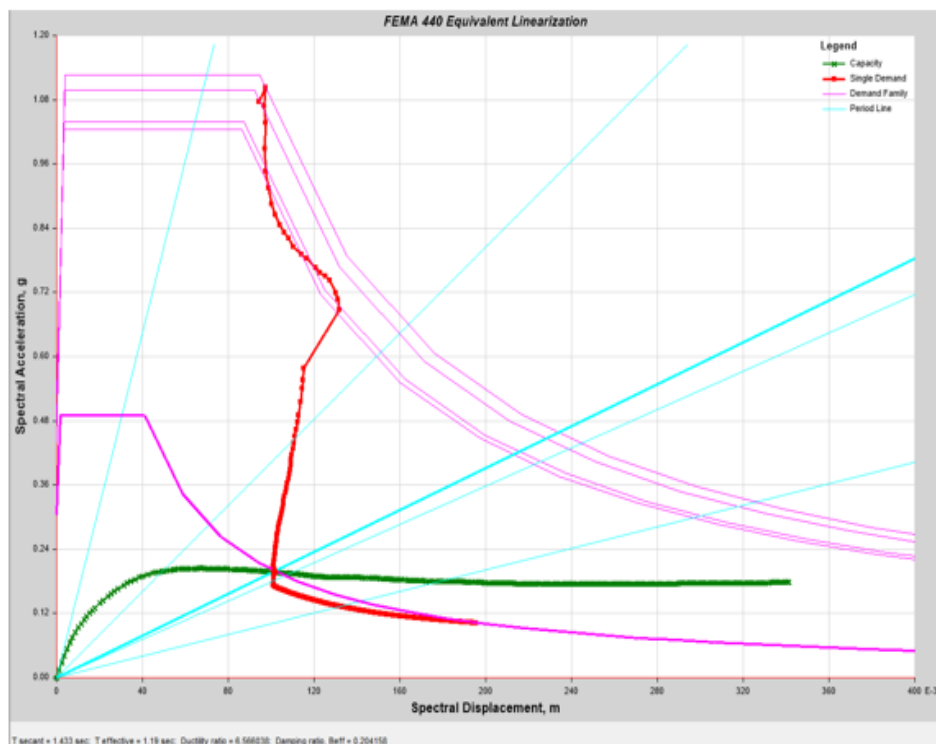


Figura 64

Espectro elástico en la dirección X -

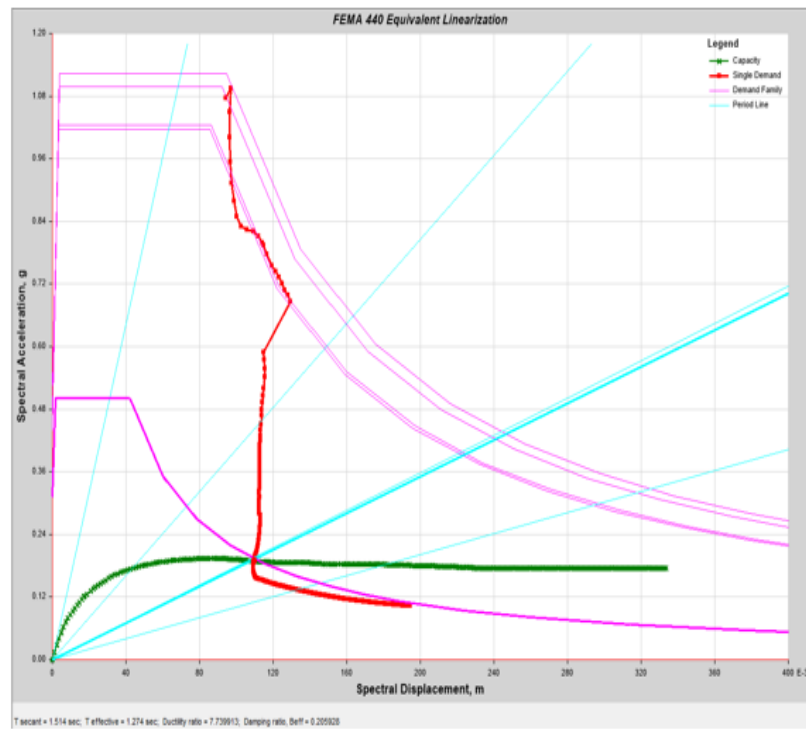
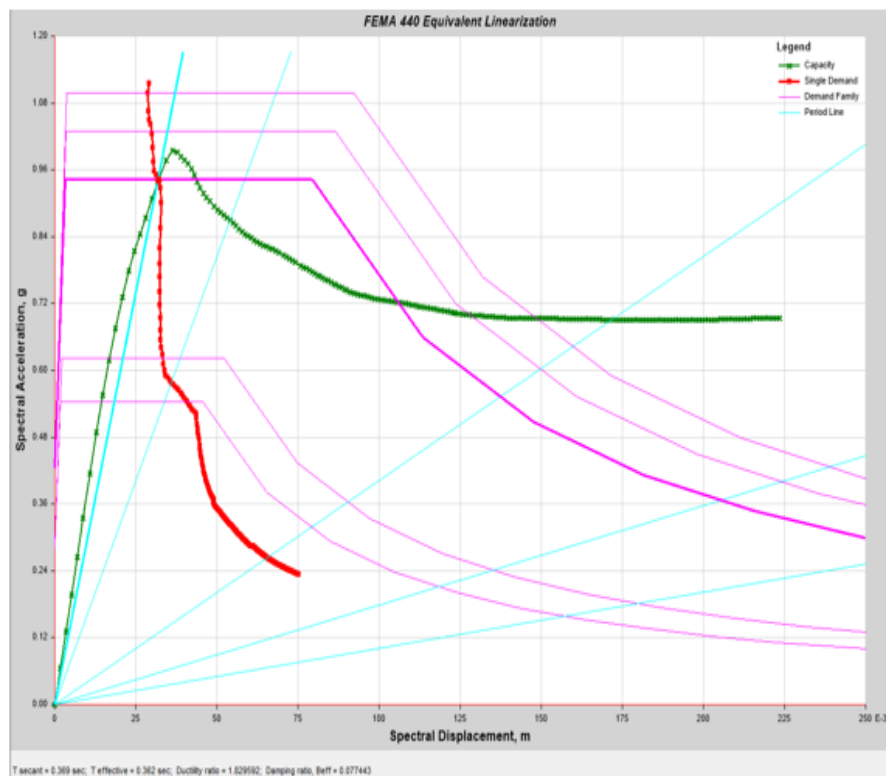


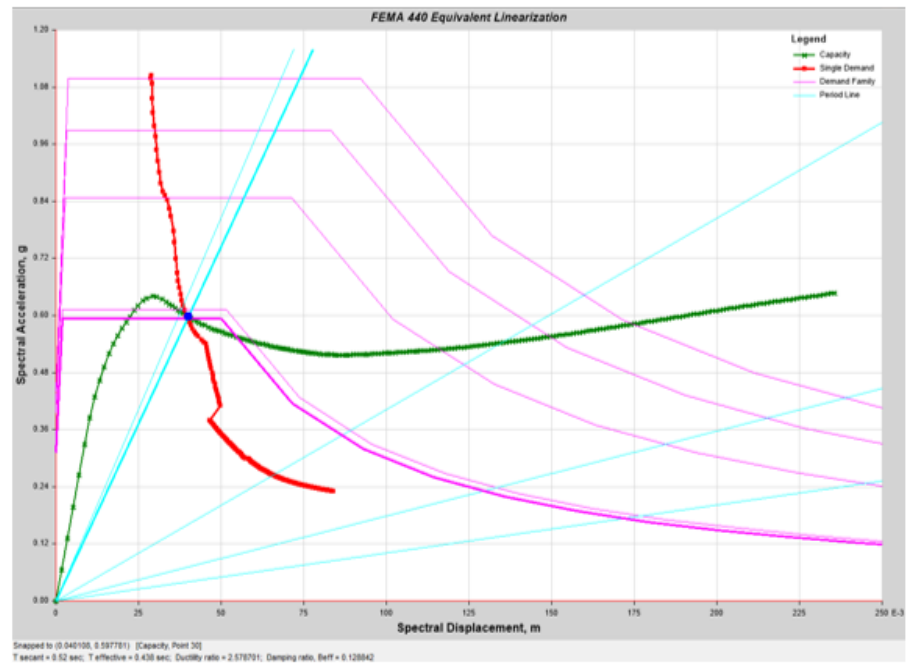
Figura 65

Espectro elástico en la dirección Y +



**Figura 66**

*Espectro elástico en la dirección Y –*



En las figuras se observa que todas las curvas de capacidad se interceptan con el espectro elástico en una zona que está más allá del límite elástico. Por lo tanto, es necesario obtener el punto de desempeño considerando un incremento del amortiguamiento según el procedimiento que especifica FEMA 440.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Con respecto a la hipótesis específica 1, se planteó que: “los parámetros sísmicos y espectro de diseño identificados del Hospital de la Solidaridad son aceptables”, al haber determinado los parámetros sísmicos y por lo tanto el espectro de diseño habiéndose tomado en consideración la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018 del Hospital de la Solidaridad se tiene que no se cumple la distorsión de entre piso, el cual no quiere decir que la evaluación está mal ya que es una aproximación por el método lineal de la normativa E030 que nos hace estimar, sin embargo en un método más aceptable no lineal FEMA 440 que se realizó más próximo a la realidad nuestros elementos están teniendo buen comportamiento.

Navarro (2014), en su investigación de la evaluación del desempeño de movimiento sísmico de la infraestructura del Hospital particular de la ciudad de Jaén en la provincia de Jaén del departamento de Cajamarca consiguió verificar las especificaciones en el cual consiguió aquellos valores de incremento de movimiento sísmico en el caso de cada periodo (T), seguidamente el valor obtenido de la aceleración espectral para poder ser añadido al software, en el cual el creador consigue un espectro de diseño distinto al de la presente investigación debido a los distintos valores de zonificación.

En cuanto a la hipótesis específica 2, se propuso que: “El Hospital de la Solidaridad no presenta ninguna irregularidad y cumple con las distorsiones límites” y efectivamente al realizar el modelamiento estructural del Hospital de la Solidaridad se pudo evidenciar que no existe irregularidad alguna ni en la altura ni en la planta, así mismo se considera que cumple con las distorsiones determinadas límites por la Norma Peruana E030 Diseño-sismo resistente.

Huaman (2016), en su investigación “Predicción Del comportamiento sísmico por desplazamiento mediante el análisis no lineal en las edificaciones de la Universidad Cesar Vallejo – Chiclayo” para realizar su modelamiento estructural se empleó el software SAP 2000 en el cual se consideró realizar un reconocimiento en la planta sobre las irregularidades, así mismo se evidenció que hay irregularidad en planta, seguidamente se evidenció que las distorsiones sobrepasan el valor predeterminado de 0.007 entre ambos sentidos exceptuando el primer nivel en el sentido Y, sentido en el cual si cumple con el parámetro límite.

Con respecto a la hipótesis específica 3, se planteó que: “Los desplazamientos y cortante basal del punto de desempeño sísmico muestran una adecuada conducta frente a la demanda sísmica” y efectivamente todas las curvas de capacidad se interceptan con el espectro elástico en una zona que está más allá del límite elástico.

Por lo tanto, es necesario obtener el punto de desempeño considerando un incremento del amortiguamiento según el procedimiento que especifica FEMA 440.

Almirón y Yndigoyen (2019), en su investigación “Evaluación estructural y propuesta de reforzamiento en el Centro de Salud Leoncio Prado, de la ciudad de Tacna.” Consiguieron para un sismo de ocurrencia eventual un desempeño completamente operacional, en el caso de un sismo de ocurrencia o tipo raro un nivel de desempeño considerado operacional y en el caso de una edificación tipo esencial tal como se clasifica el Centro de Salud Leoncio Prado, de la ciudad de Tacna, un desempeño de tipo seguridad de vida, a través de un sismo clasificado como muy raro.

## CONCLUSIONES

La vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022 es media, ya que el nivel de desempeño es de resguardo de la vida (RV) presentando un daño considerable a ciertos elementos estructurales. Se considera cierta reducción en la rigidez y la resistencia de la composición del sistema estructural que resiste las cargas laterales. La composición estructural continúa siendo funcional y ciertos elementos no estructurales presentan un daño regular.

Los parámetros sísmicos y espectro de diseño identificados del Hospital de la Solidaridad no cumplen los lineamientos en base a la E030 (ver tabla 22-Parámetros sísmicos) y (ver figura 70 – espectro de diseño en base a la norma E030 2018, donde se tiene que Z: Factor de zona = 0.45, U: Factor de uso = 1.50, S: Factor de amplificación del suelo = 1.05,  $T_p$ : Periodo = 0.40,  $T_x$ : Periodo natural en x = 0.51,  $T_y$ : Periodo natural en y = 0.47,  $C_x$ : Factor de amplificación sísmica en x = 1.96,  $C_y$ : Factor de amplificación sísmica en y = 2.13 y R: Coeficiente de reducción = 8.

El Hospital de la Solidaridad no presenta ninguna irregularidad y cumple con las distorsiones límites, ya que se realizó si la verificación de irregularidad en planta e Irregularidad en altura en base a lo estipulado en el artículo N°20 de la norma E030 2018 y para la distorsión de entrepiso para sismo se realizó mediante la intersección de la curva de capacidad con el espectro presentado, del cual se obtuvo el desplazamiento máximo según el teorema de FEMA 440 cumpliendo con las distorsiones límites.

Los desplazamientos y cortante basal en el punto de desempeño sísmico muestran cierta conducta adecuada frente a la demanda sísmica ya que las curvas de capacidad se interceptan con el espectro elástico en una zona que está más allá del límite elástico, obteniéndose el punto de desempeño considerando un incremento del amortiguamiento según el procedimiento que especifica FEMA 440.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a los profesionales de instituciones públicas y privadas llevar a cabo el “análisis estático no lineal” efectuando el empleo de la metodología Pushover, con mayor tendencia en hospitales e instituciones educativas, planteado a través del comité VISION 2000 para establecer un comportamiento sísmico de una edificación y analizar su vulnerabilidad.

Se recomienda a los proyectistas determinar la resistencia del concreto mediante ensayos no destructivos en la estructura de edificaciones esenciales que presenten un tiempo de vida antiguo y se encuentren operativos en el presente, para poder realizar evaluaciones estructurales.

Se recomienda a los ingenieros civiles y a los constructores de obra establecer y dosificar adecuadamente el concreto armado al momento de ejecutar un proyecto de edificación.

Se recomienda a los futuros investigadores interpretar adecuadamente y cumplir con los parámetros mínimos del reglamento peruano con la finalidad de efectuar la metodología de esta, con mayor relevancia en ésta que es una región con un peligro sísmico muy presente como lo es la zona costera del Perú.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kunnath, S., Park, Y. & Reinhorn, A. . (1987). *IDARC: Inelastic damage analysis of reinforced concrete frame shear-wall structures*. New York: State University of New York.
- Aguiar. (2002). *Sistema de Computación CEINCI3 para evaluar daño sísmico en los países bolivarianos*. Quito: Centro de Investigaciones Científicas.
- Aguiar, R. (2003). *Análisis sísmico por desempeño*. Quito: Centro de Investigaciones científicas.
- Aguiar, R., Mora, D. y Rodriguez, M. (2015). Diagrama momento-curvatura y momento rotación para elementos de hormigón armado y acero con ASCE/SEI 41 y sistema de computación CEINCI-LAB. *Ciencia*, 17(2), 191-228.
- Aguilar, A., Palazzo, G. y Rodríguez, Y. (2021). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un conjunto de edificios educacionales en Ecuador.
- Alcántara, K., y Nalvarte, C. (2016). Desempeño estructural aplicando la norma ATC-40 para el refuerzo del pabellón monoblock del Instituto nacional de salud del niño (Breña-Lima). Lima: Universidad de San Martín de Porres.
- Almirón, E. y Yndigoyen, D. (2019). *Evaluación estructural y propuesta de reforzamiento en el Centro de Salud Leoncio Prado, de la ciudad de Tacna*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Ambrosini, D., Curadelli , O. y Taberero, H. (2021). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios escolares típicos de la provincia de Mendoza.
- Arias, C. y Castañeda, G. (2019). *Evaluación estructural del reservorio R-15 de la ciudad de Tacna para determinar su vulnerabilidad sísmica*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Arreola, R. (2011). Efecto de la deformación en frío sobre las propiedades mecánicas de los aceros: DIN 32CRMOV12 10, AISI 4340 y AISI 8620. México: Instituto politécnico Nacional.
- ASCE/SEI 41-17. (2017). *Evaluación sísmica y reacondicionamiento de edificios existentes*. Virginia: Sociedad Estadounidense de ingenieros civiles.
- Barbat, H. (1998). *El riesgo sísmico en el diseño de edificios*. Madrid: Calidad Siderúrgica S.R.L.
- Bernal, Y., Condori, C., Ishizawa, O., Ordaz, M., Tavera, H. y Zeballo, A. (2014). *Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú*. Lima: Ministerio del ambiente.

- Bommer, J., Salazar, W. y Samayoa, R. (1998). *Riesgo sísmico en la región metropolitana de San Salvador*. El Salvador: Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente.
- Bonett, D. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cajan, N. y Falla, X. (2020). *Vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Benedetti - Petrini de las edificaciones categoría C descritas en la norma E.030 de nueve sectores de la ciudad de Reque, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque*. Reque: Universidad de San Martín de Porres.
- Calcina, R. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de once pisos utilizando análisis estático y dinámico no lineal*. Tacna: Universidad privada de Tacna.
- Chávez, J., Hurtado, E., Meléndez, M., y Sinchi, S. (2013). *Análisis estático no lineal de una estructura aporricada esencial*. Lima: Universidad peruana de ciencias aplicadas.
- Chino, R. (2021). *Evaluación estructural mediante esclerometría para determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas autoconstruidas en la ciudad de Tacna, 2021*. Tacna: Universidad César Vallejo.
- Deierlein, G., Reinhorn, A. & Willford, M. (2010). *Nonlinear structural analysis for seismic design*. (4).
- Estrella, J. y Ochoa, Á. (2021). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica del mercado municipal del balneario de Pucusana mediante el análisis estático no lineal "Pushover"*. Lima: Universidad Peruana de ciencias aplicadas.
- Fajardo, C. (2012). *Evaluación estructural de una de las edificaciones del hospital Edgardo Rebagliati Martins usando el método del espectro de capacidad*. Lima: Universidad nacional de ingeniería.
- Philco, H. y Mamani, C. (2021). *Vulnerabilidad sísmica en las edificaciones escolares públicas del distrito de Ciudad Nueva, Tacna 2021*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- García, L., Loor, E. y Palma, W. (2021). *Vulnerabilidad sísmica en viviendas de zona rural: El caso Santa Marianita – Manta – Ecuador*. *INGENIAR*, 4(7).
- García, M. (2015). *Evaluación estructural post-sismo de edificios con contraviento restringidos contra pandeo ubicado en suelo firme*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Giraldo, F. y Ordoñez, V. (2017). *Análisis del pabellón de laboratorio de la facultad de ingeniería minas civil ambiental mediante el método no lineal estático en*

- el distrito de Lircay, de la provincia de Angaraes, región de Huancavelica.*  
Huancavelica: Universidad nacional de Huancavelica.
- Hernández, M. (2010). *Análisis no lineal estático Pushover base teórica y aplicación usando el programa ETABS.* High level engineering.
- Huaman, J. (2016). *Predicción Del comportamiento sísmico por desplazamiento mediante el análisis no lineal en las edificaciones de la Universidad Cesar Vallejo - Chiclayo .* Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Instituto Geofísico del Perú. (Mayo de 2018). *Ministerio del Ambiente.* Obtenido de <https://www.gob.pe/minam>
- Instituto nacional de defensa de la competencia y de la protección de la propiedad. (2013). *Norma Técnica Peruana 339.181 método de ensayo para determinar el número de rebote del concreto endurecido (esclerometría) (2 ed.).* Lima: INDECOPI.
- Kunnath, Reinhom & Lobo. (1992). *IDARC V3.0: A program for the Inelastic damage analysis of reinforced concrete structures.* New York: State university of New York.
- Marín, F. (2015). *Análisis de la vulnerabilidad estructural mediante el método de Hirosawa del pabellón A de la clínica San José – Cusco.* Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Ministerio de Salud. (2005). *El terremoto y maremoto del sur del Perú, 2001 lecciones para el futuro.* Lima: Oficina general de defensa nacional.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.020 Cargas.* Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.060 Concreto Armado.* Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.030 Diseño Sismoresistente.* Lima.
- Mora y Aguiar. (2015). *Modelación de diagrama momento-curvatura y momento rotación en secciones de acero estructural.* Quito: Universidad de fuerzas armadas.
- Navahandi, H. (2015). *Pushover analysis of retrofitted reinforced concrete buildings.*
- Navarro, E. (2014). *Evaluación del desempeño sísmico del edificio hospital privado Jaén de la ciudad de Jaén Cajamarca.* Jaén: Universidad nacional de Cajamarca.
- Nishant, R. & Siddhant, R. (2015). Non-linear static analysis (Pushover analysis) a review. 3(7).

- Ottazzi, G. (2011). *Apuntes del Curso Concreto Armado I*. Lima: Fondo Editorial PUCP.
- Palomino, J. y Rosario, S. (2021). *Estimación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de albañilería confinada, mediante técnicas de minería de datos, en el sector Pueblo Libre, Jaén – 2020*. Jaén: Universidad nacional de Jaén.
- Pareja, N. (2012). Estudio del comportamiento sísmico lineal y no lineal de pórticos metálicos resistentes a momentos. Lima: Universidad nacional de ingeniería.
- Park, R. y Paulay, T. (1980). *Estructuras de Concreto Reforzado*. Limusa-México.
- Poma, J. (2018). *Software educativo para la automatización del análisis no lineal estático pushover en estructuras de concreto armado*. Lima: Pontificia universidad católica del Perú.
- Safina, S. (2002). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales, análisis de su contribución al riesgo sísmico. Barcelona: Universidad politécnica de Cataluña.
- Sanjuán, C. (2013). *Resistencia del hormigón mediante esclerómetro o índice de rebote*. Obtenido de Patología Rehabilitación Construcción: <https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-o-indice-de-rebote-1/>
- Vision 2000. (1995). *A framework for performance based structural engineering*. California: Structural engineers association of California.

## ANEXO

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Independiente</b>	<b>Indicadores de la Variable Independiente</b>	<b>Tipo de investigación:</b> La investigación será de tipo aplicada.
¿Cuál será la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022?	Determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022.	La vulnerabilidad sísmica mediante el análisis Pushover del Hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022 es media.	Análisis Pushover	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patrón de cargas laterales. (escala: Tonf)</li> <li>• Cargas gravitacionales (escala: Tonf)</li> <li>• Rótulas plásticas (escala: Adimensional)</li> <li>• Curvas de capacidad (escala: Tonelada fuerza / Metro)</li> </ul>	<b>Nivel de Investigación:</b> El nivel de investigación será integrativo.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Variables Dependientes</b>	<b>Indicadores de la Variables Dependiente</b>	<b>Población:</b> Hospital de la Solidaridad.
¿Cuáles son los parámetros sísmicos y espectro del diseño del hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022?	Identificar los parámetros sísmicos y espectro de diseño del hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022.	los parámetros sísmicos y espectro de diseño identificados del Hospital de la Solidaridad son aceptables.			<b>Muestra:</b> Muestra por conveniencia el bloque A del hospital de la Solidaridad de la ciudad de Tacna.
				Escala de medición:	

<p>¿Cuáles son las irregularidades y distorsiones del hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022?</p>	<p>Verificar las irregularidades y distorsiones del hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022.</p>	<p>El Hospital de la Solidaridad no presenta ninguna irregularidad y cumple con las distorsiones límites.</p>	<p>Vulnerabilidad sísmica</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerabilidad sísmica Alta</li> <li>• Vulnerabilidad sísmica Media</li> <li>• Vulnerabilidad sísmica Baja</li> </ul>	<p><b>Técnicas de recolección de datos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visitas de campo</li> <li>• Ensayos no destructivos</li> <li>• Mediciones</li> </ul>
<p>¿Cómo afectan los desplazamientos y la cortante basal del punto de desempeño sísmico al hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022?</p>	<p>Verificar los desplazamientos y la cortante basal del punto de desempeño sísmico del hospital de la Solidaridad, Tacna, 2022.</p>	<p>Los desplazamientos y cortante basal del punto de desempeño sísmico muestran una adecuada conducta frente a la demanda sísmica.</p>			<p><b>Instrumentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planos obtenidos.</li> <li>• Ficha de evaluación de medidas.</li> <li>• Fotografías.</li> <li>• Planos.</li> <li>• Esclerómetro.</li> </ul>