

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS



**ANÁLISIS DEL RIESGO SÍSMICO ANTE CONDICIONES DINÁMICO
INCREMENTALES DEL EDIFICIO DE COMUNICACIONES DE LA
UNSAAC PARA EL 2024**

TESIS

Presentada por:

Bach. Percy Humberto Coa Suyo
ORCID: 0000-0002-0471-2975

Asesor:

Mag. José Martin Velásquez Vargas
ORCID: 0000-0002-6338-7455

Para Obtener el Grado Académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

TACNA- PERÚ
2024

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

ESCUELA DE POSTGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS**

Tesis

**"ANÁLISIS DEL RIESGO SÍSMICO ANTE CONDICIONES DINÁMICO
INCREMENTALES DEL EDIFICIO DE COMUNICACIONES DE LA
UNSAAC PARA EL 2024"**

Presentado por:

Bach. Percy Humberto Coa Suyo

**Tesis sustentada y aprobada el 23 de septiembre del 2024; ante el
siguiente jurado examinador:**

PRESIDENTA: Mtra Dina Marlene COTRADO FLORES

SECRETARIO: Dr. Genner Alvarito VILLAREAL CASTRO

VOCAL: Dr. Dennys Geovanni CALDERON PANIAGUA

ASESOR: Mag. José Martin VELÁSQUEZ VARGAS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Percy Humberto Coa Suyo, en calidad de egresado de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI N° 24718184.

Soy autor de la tesis titulada:

ANÁLISIS DEL RIESGO SÍSMICO ANTE CONDICIONES DINÁMICO INCREMENTALES DEL EDIFICIO DE COMUNICACIONES DE LA UNSAAC PARA EL 2024, con asesor: Mag. José Martin Velásquez Vargas.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 16% de similitud, asegurando que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y la falsa declaración, y que firmo la presente con

pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo 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 o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como 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, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 23 de septiembre del 2024.



Percy Humberto Coa Suyo

DNI N°: 24718184

DEDICATORIA

A mi amada esposa Milagros e hijos, fuente inagotable de motivación y fortaleza. A mis padres, por enseñarme la disciplina y el esfuerzo. A mis maestros, por cultivar en mí el deseo de aprender y transformar. Este logro es un reflejo del compromiso y la entrega hacia el conocimiento, siempre al servicio de un futuro más seguro y sostenible.

Percy Humberto

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los lamas por infundirme los valores de compasión y sabiduría, guiando mi camino académico y profesional hacia un propósito mayor: servir con conciencia y responsabilidad.

Percy Humberto

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
Declaracion jurada de autenticidad:.....	iii
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Indice de tablas.....	xii
Indice de figuras.....	xiv
Indice de apéndices	xvii
Resumen.....	xviii
Abstract	xx
Introduccion	xxii
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1 Interrogante principal.....	4
1.2.2 Interrogantes secundarias	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	7

CAPITULO II : MARCO TEORICO	9
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.1.1 Antecedentes internacionales	9
2.1.2 Antecedentes nacionales	12
2.2 BASES TEÓRICAS	16
2.2.1 Teorías de la evaluación del riesgo sísmico	16
2.2.2 Amenazas sísmicas del lugar	19
2.2.3 Peligros existentes en Cusco	24
2.2.4 Sismicidad en la ciudad del Cusco	25
2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	29
2.3.1 Riesgo sísmico en Cusco	29
2.3.3 Registros sísmicos	34
2.3.4 Diseño sísmico basado en desempeño	34
2.3.5 Análisis de la respuesta estructural.	40
2.3.6 Diseño sismorresistente según la norma peruana	43
CAPÍTULO III : MARCO METODOLOGICO	52
3.1 HIPÓTESIS	52
3.1.1 Hipótesis general	52
3.1.2 Hipótesis específicas	53
3.2 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	53
3.2.1 Identificación de la variable independiente	53
3.2.2 Identificación de la variable dependiente	54
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	55

3.4	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	55
3.5	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.6	ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	56
3.7	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	56
3.7.1	Unidad de estudio.....	56
3.7.2	Población.....	58
3.7.3.	Muestra.....	58
3.8	PROCEDIMIENTOS, TECNICAS E INSTRUMENTOS	58
3.8.1	Procedimientos.....	58
3.8.2	Técnicas.....	61
3.8.3	Instrumentos	62
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		64
4.1	DESCRIPCION DEL TRABAJO DE CAMPO	64
4.2	DISEÑO DE LA PRESENTACION DE LOS RESULTADOS.....	80
4.2.2	Respuesta estructural de la edificación	86
4.3	RESULTADOS.....	87
4.3.1	Resultados de la demanda estructural	88
4.3.2	Desempeño sísmico de la estructura	111
4.4	PRUEBA ESTADISTICA	114
4.5	COMPROBACION DE HIPOTESIS	115
4.5.1	Contraste de la hipótesis general.....	115
4.5.2	Contraste de las hipótesis específicas	118
4.4	DISCUSION DE RESULTADOS	126

CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFIA	134
APÉNDICE.....	140

INDICE DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1 Peligros identificados dentro de la provincia de Cusco.....</i>	24
<i>Tabla 2 Registro histórico de sismos en Cusco</i>	26
<i>Tabla 3 Parámetros correspondientes al riesgo sísmico en la zona del altiplano</i>	30
<i>Tabla 4 Grados de aceleración sísmica.....</i>	32
<i>Tabla 5 Niveles de desempeño esperado de la edificación.....</i>	40
<i>Tabla 6 Factores de zona.....</i>	45
<i>Tabla 7 Factor de suelos.....</i>	45
<i>Tabla 8 Factores de amplificación</i>	46
<i>Tabla 9 Factores de amplificación sísmica</i>	46
<i>Tabla 10 Categoría de las edificaciones y factor de uso.....</i>	48
<i>Tabla 11 Factor "R"- según el sistema estructural.....</i>	49
<i>Tabla 12 Irregularidades en Altura</i>	50
<i>Tabla 13 Irregularidades en Planta.....</i>	50
<i>Tabla 14 Especificaciones generales de los materiales.....</i>	67
<i>Tabla 15 Representación de los componentes estructurales</i>	68
<i>Tabla 16 Cargas vivas y muertas de la edificación.....</i>	69
<i>Tabla 17 Peso Efectivo de la Edificación</i>	72
<i>Tabla 18 Fuerza cortante mínima para diseño.....</i>	73

<i>Tabla 19 Propiedades de concreto y acero.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 20 Cuadro de plasticidad distribuida en columnas y vigas (tipo Fibra).....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 21 Creación de caso de carga por gravedad no lineal en un modelo estructural</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 22 Registros sísmicos empleados en el estudio</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 23 Grados de amenaza sísmica: Sa-T</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 24 Derivas de entrepiso X-X con grado de amenaza sísmica 04</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 25 Derivas de entrepiso Y-Y con grado de amenaza sísmica 04.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 26 Desplazamientos X-X con grado de amenaza sísmica 04</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 27 Desplazamientos Y-Y con grado de amenaza sísmica 04.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 28 Aceleraciones de piso X-X con grado de amenaza sísmica 04.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 29 Aceleraciones de piso Y-Y con grado de amenaza sísmica 04</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 30 Rotación vigas largas X-X con grado de amenaza sísmica 04.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 31 Rotación vigas largas Y-Y con grado de amenaza sísmica 04</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 32 Fuerza cortante en la base (Ton-f) con grado de amenaza sísmica 04....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 33 Promedios de Demanda Estructural Máxima - Grado de Amenaza Sísmica 04.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 34 Límites de Deformación.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 35 Derivas de la Edificación y Límites de Deformación Acorde a ATC-40..</i>	<i>113</i>

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1 Edificio de la Facultad de farmacia despues del sismo.....</i>	3
<i>Figura 2 Falla activa en la ciudad del Cusco.....</i>	20
<i>Figura 3 Principales sistemas de fallas en la región Cusco.....</i>	21
<i>Figura 4 Imagen satelital de la ciudad del Cusco mostrando la falla de Tambomachay.</i>	22
<i>Figura 5 Segmento central de la falla Tambomachay.....</i>	22
<i>Figura 6 Vista de la falla Qoricocha.....</i>	23
<i>Figura 7 Peligros de origen natural en un sismo cortical.....</i>	25
<i>Figura 8 Edificaciones en Cusco despues del sismo de 1950.....</i>	27
<i>Figura 9 Mapa de localización del epicentro e intensidades del sismo de 1986.</i>	28
<i>Figura 10 Distribución de isoaceleraciones para 10% de excedencia en 50 años... 31</i>	
<i>Figura 11 Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA para la falla Tambomachay.</i>	33
<i>Figura 12 Niveles de deterioro en edificaciones</i>	36
<i>Figura 13 Mapa de Zonificación sísmica del Perú.....</i>	44
<i>Figura 14 Vista en perspectiva de la fachada principal del edificio.....</i>	65
<i>Figura 15 Nivel de piso típico (2° al techo).....</i>	66
<i>Figura 16 Modelo computacional bloque B.</i>	70

<i>Figura 17 Espectro de respuesta de diseño – dirección XX y dirección YY.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 18 Derivas de entrepiso: análisis lineal.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 19 Desplazamientos laterales: análisis lineal.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 20 Rotula tipo fibra en columnas.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 21 Rotula plástica automática en vigas.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 22 Modelo tridimensional de la edificación con rotulas en columnas y vigas.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 23 Configuración de la histéresis tipo Takeda en concreto.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 24 Configuración de la histéresis tipo Takeda en acero.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 25 Corrección de línea base, filtrado de ruidos e intensidad de arias.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 26 Escalamiento de sismos.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 27 Determinación de los niveles de peligro sísmico.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 28 Espectros objetivo del estudio.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 29 Modelamiento dinámico incremental.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 30 Curva IDA - derivas de entrepiso.</i>	<i>107</i>
<i>Figura 31 Curva IDA – desplazamientos.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 32 Curva IDA – aceleraciones de piso.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 33 Curva IDA - rotaciones en vigas.</i>	<i>110</i>
<i>Figura 34 Análisis de varianza dirección XX.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 35 Análisis de varianza dirección YY</i>	<i>117</i>
<i>Figura 36 Prueba de correlación de Pearson dirección XX, YY.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 37 Prueba t de Student.....</i>	<i>120</i>

<i>Figura 38 Prueba de correlación de Pearson dirección XX, YY.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 39 Prueba exacta de Fisher dirección XX, YY.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 40 Ajuste para comparación directa.....</i>	<i>125</i>

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
<i>APÉNDICE 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....</i>	<i>141</i>
<i>APÉNDICE 2. INSTRUMENTOS.....</i>	<i>144</i>
<i>APÉNDICE 3. MATRIZ DE DATOS.....</i>	<i>173</i>

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño sísmico del edificio proyectado de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), planificado para ser operativo en el año 2024. Los objetivos principales incluyen la identificación de vulnerabilidades estructurales bajo cargas sísmicas, el análisis del peligro sísmico en la región, la clasificación del desempeño estructural de acuerdo con normativas internacionales, y el establecimiento de criterios de diseño post-sismo. El estudio está enfocado en garantizar la seguridad y resiliencia de las edificaciones educativas ante eventos sísmicos, con el fin de proponer estrategias de refuerzo y mejoras en las metodologías de análisis estructural, integrando las condiciones sísmicas locales.

La metodología empleada es de enfoque cuantitativo y no experimental, basada en el Análisis Dinámico Incremental (IDA), utilizando el software ETABS v18, que permite simular el comportamiento estructural ante distintos escenarios sísmicos. Se realizaron simulaciones modales y análisis dinámicos incrementales no lineales, aplicando normativas como ASCE 41-17 y FEMA P-58, además de las disposiciones de la Norma E030 para zonas sísmicas del Perú.

Los resultados muestran que, si bien el edificio presenta un riesgo sísmico moderado en sismos de baja a mediana intensidad, se identifican transiciones hacia el comportamiento inelástico a partir de una aceleración de pico del terreno (PGA) de 0.42g, lo que excede el valor esperado según la normativa. Además, se evidencian derivas máximas en niveles intermedios y desplazamientos significativos en el nivel superior, lo cual destaca la necesidad de refuerzos en estas zonas críticas.

Las principales conclusiones subrayan la importancia de un diseño sísmico basado en el desempeño, con especial atención en las características geotécnicas y sísmicas de la región. Se recomienda implementar estrategias de refuerzo estructural, realizar evaluaciones periódicas y adaptar los criterios de diseño a las exigencias sísmicas locales para mejorar la resiliencia estructural y garantizar la funcionalidad de las edificaciones educativas en Cusco una vez finalizada su construcción.

Palabras claves: evaluación sísmica, vulnerabilidad estructural, peligro sísmico, desempeño sísmico, Análisis Dinámico Incremental.

ABSTRACT

The present research aims to evaluate the seismic performance of the projected building for the Faculty of Communications at the National University of San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), scheduled to be operational in 2024. The main objectives include identifying structural vulnerabilities under seismic loads, analyzing the seismic hazard in the region, classifying the structural performance according to international standards, and establishing post-earthquake design criteria. The study focuses on ensuring the safety and resilience of educational buildings against seismic events, with the aim of proposing reinforcement strategies and improvements in structural analysis methodologies, integrating local seismic conditions.

The methodology employed is of a quantitative and non-experimental approach, based on Incremental Dynamic Analysis (IDA) using ETABS v18 software, which allows the simulation of structural behavior under different seismic scenarios. Modal simulations and nonlinear incremental dynamic analyses were performed, applying standards such as ASCE 41-17 and FEMA P-58, as well as the provisions of Peru's seismic regulations, Norma E030.

The results show that while the building presents a moderate seismic risk in low to medium-intensity earthquakes, transitions toward inelastic behavior are identified starting from a Peak Ground Acceleration (PGA) of 0.42g, which exceeds the expected value according to regulations. Additionally, maximum drifts in intermediate levels and significant displacements in the upper level were evidenced, highlighting the need for reinforcements in these critical areas.

The main conclusions emphasize the importance of a performance-based seismic design, with particular attention to the geotechnical and seismic characteristics of the region. It is recommended to implement structural reinforcement strategies, conduct periodic evaluations, and adapt design criteria to the local seismic demands to improve structural resilience and ensure the functionality of educational buildings in Cusco once construction is completed.

Keywords: Seismic evaluation, structural vulnerability, seismic hazard, seismic performance, Incremental Dynamic Analysis.

INTRODUCCION

La evaluación del desempeño sísmico de edificaciones se ha convertido en un aspecto crítico en la ingeniería estructural, particularmente en regiones sísmicamente activas como la ciudad del Cusco. El análisis detallado de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de los edificios educativos, como la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), es esencial para garantizar la seguridad de los ocupantes y la continuidad de las operaciones educativas en caso de un evento sísmico significativo.

El contexto geográfico de Cusco, inmerso en el Cinturón de Fuego del Pacífico, expone a la región a una alta actividad tectónica, lo que representa un desafío importante para la ingeniería sísmica. Los eventos sísmicos históricos han demostrado el potencial devastador de los terremotos en esta región, causando daños estructurales severos y pérdidas humanas. El sismo de 1950, por ejemplo, afectó profundamente la infraestructura de la ciudad, subrayando la necesidad de mejorar las metodologías de evaluación y reforzamiento de las edificaciones existentes.

En este escenario, la presente investigación tiene como propósito evaluar el desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC para el año 2024, utilizando el Análisis Dinámico Incremental (IDA). Esta técnica permitirá modelar el comportamiento estructural del edificio bajo diferentes escenarios sísmicos, proporcionando una visión detallada de las zonas críticas de vulnerabilidad estructural y los posibles puntos de falla. El objetivo final es establecer criterios de diseño basados en el desempeño que puedan ser implementados para reforzar la estructura y mejorar su resiliencia frente a futuros sismos

La investigación se estructura en cinco capítulos. En el primer capítulo, se presenta el planteamiento del problema, la formulación de las interrogantes de investigación, la justificación del estudio y los objetivos generales y específicos. El segundo capítulo abarca el marco teórico, en el que se analizan los conceptos clave relacionados con la evaluación del riesgo sísmico y el diseño estructural basado en el desempeño. El tercer capítulo describe la metodología de investigación utilizada, que incluye la aplicación del Análisis Dinámico Incremental, la modelación estructural y las normativas sísmicas pertinentes. En el cuarto capítulo, se presentan los resultados obtenidos del análisis de la respuesta estructural del edificio bajo diferentes escenarios sísmicos. Finalmente, el quinto capítulo discute las implicaciones de los resultados, las limitaciones del estudio y las recomendaciones para futuras investigaciones.

Esta tesis busca contribuir al desarrollo de nuevas estrategias de mitigación y reforzamiento estructural, con el fin de mejorar la seguridad y funcionalidad de las edificaciones educativas en Cusco y otras regiones sísmicamente activas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) se encuentra en una región altamente sísmica, ubicada en la ciudad de Cusco, Perú. Esta zona, inmersa en el cinturón de fuego del Pacífico, está expuesta a una actividad tectónica intensa que representa un desafío considerable para la seguridad estructural de sus edificaciones (Benavente et al., 2004). La vulnerabilidad de estas estructuras frente a eventos sísmicos es significativa, lo que puede derivar en consecuencias graves, tales como daños materiales sustanciales, interrupción de actividades académicas y, en el peor de los casos, pérdida de vidas humanas.

El problema específico de investigación radica en la necesidad de determinar el nivel de riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC para el año 2024, utilizando técnicas avanzadas como el Análisis Dinámico Incremental (IDA) y modelos computacionales sofisticados. Esta evaluación es crucial

para comprender cómo responderá el edificio bajo condiciones sísmicas incrementales, considerando factores como la interacción entre componentes estructurales y la no linealidad de los materiales (FEMA P-58-2, 2018).

Las posibles causas que generan esta problemática incluyen la ubicación geográfica de Cusco, que se encuentra en una región caracterizada por fallas activas y sismicidad significativa, y la antigüedad y diseño de las estructuras, muchas de las cuales no han sido actualizadas para cumplir con las normativas sísmicas modernas (Mendoza, 2013). A lo largo de su historia, la región ha sido testigo de numerosos sismos devastadores, como el ocurrido en 1950, que causó daños estructurales extensos en la infraestructura de la ciudad, subrayando la necesidad de evaluaciones sísmicas precisas y actualizadas (Silgado, 1978).

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación, basado en el IDA, es respaldado por múltiples estudios que han demostrado su eficacia para proporcionar una comprensión detallada de la respuesta estructural no lineal de edificaciones complejas, particularmente en entornos educativos (Chopra, 2012; Vamvatsikos y Cornell, 2002). Esta técnica permite evaluar el comportamiento de las estructuras bajo cargas sísmicas progresivamente crecientes, ofreciendo una visión clara de los posibles puntos de falla y vulnerabilidades (ASCE 7-16, 2017).

La investigación propuesta tiene como objetivo principal llenar un vacío crítico en el conocimiento actual, proporcionando una evaluación detallada y precisa del desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC. Este estudio no solo identificará las zonas críticas de vulnerabilidad estructural, sino que también establecerá criterios de diseño que podrán ser implementados en futuras intervenciones de reforzamiento estructural, con el objetivo de mejorar la seguridad y la resiliencia de las infraestructuras educativas en Cusco (Benavente et al., 2013).

Además, los resultados de esta investigación contribuirán al desarrollo de normativas y estrategias de diseño sísmico más efectivas, basadas en una evaluación cuantitativa del riesgo. Estas normativas podrían ser aplicadas en otras regiones con condiciones sísmicas similares, ofreciendo una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la ingeniería estructural (FEMA P-58-2, 2018).

Figura 1

Edificio de la Facultad de farmacia despues del sismo.



Nota. El edificio muestra daños significativos después del sismo. Fuente: adaptado de la publicación *el sismo del 15 de agosto del 2007* (p. 17) por Pedro Chacaltana Carlos, 2007, Colegio de Ingenieros del Peru - Ica, derechos reservados.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Interrogante principal

¿Cuál es el nivel de riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, considerando la interacción entre las condiciones dinámicas incrementales, la vulnerabilidad estructural, y el peligro sísmico en la región del Cusco, y cómo estas variables influyen en el desempeño sísmico de la estructura ante eventos sísmicos?

1.2.2 Interrogantes secundarias

- a) ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad estructural del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, ante diferentes niveles de carga sísmica incremental, y cuáles son las zonas críticas de la estructura más susceptibles a fallos?
- b) ¿Cuál es la magnitud del peligro sísmico en la región del Cusco, y cómo influye este en el comportamiento sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024?
- c) ¿Cómo se desempeñará sísmicamente el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024 bajo condiciones dinámicas incrementales, y en qué medida cumple con los criterios de seguridad establecidos por las normativas sísmicas actuales?

- d) ¿Cuáles son los principales factores que determinan el desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, y cómo se pueden optimizar para mejorar su resiliencia estructural?
- e) ¿Cuál es la fuerza de cedencia y el comportamiento post-elástico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024 bajo condiciones dinámicas incrementales, y cómo estos factores influyen en la capacidad del edificio para resistir sismos severos?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación sobre el riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) es de suma importancia debido a la ubicación geográfica del Cusco, una región caracterizada por su alta actividad sísmica. Este contexto geológico impone un riesgo significativo tanto para las infraestructuras como para la seguridad de los ocupantes, particularmente en edificios de uso crítico como las instituciones educativas. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo estudios técnicos detallados que permitan evaluar y mejorar la resiliencia de las estructuras frente a eventos sísmicos, asegurando así su integridad y funcionalidad en escenarios de alta demanda sísmica.

La investigación se realiza con el objetivo de determinar el nivel de riesgo sísmico del edificio en cuestión, identificando específicamente las zonas críticas de vulnerabilidad estructural. Al entender estas vulnerabilidades, se pueden establecer medidas preventivas y estrategias de reforzamiento que optimicen el desempeño del edificio ante futuros eventos sísmicos. La necesidad de este tipo de investigación es acentuada por el historial sísmico de Cusco, donde los terremotos han tenido efectos devastadores en el pasado, afectando tanto a las infraestructuras como a la población.

Este estudio responde a la urgente necesidad de garantizar la seguridad estructural en una zona donde el riesgo sísmico es una constante, y donde cada falla en la infraestructura puede traducirse en pérdidas humanas y materiales significativas (Mendoza, 2013; Yauri, 2015).

La utilidad de esta investigación es múltiple. En primer lugar, ofrece una evaluación precisa y detallada del estado actual del edificio, lo que permite la identificación de sus puntos débiles desde el punto de vista estructural. Este diagnóstico es esencial para la planificación de intervenciones de reforzamiento que no solo aseguren la integridad del edificio durante un sismo, sino que también garanticen su funcionalidad posterior, un aspecto crítico para la continuidad operativa de la institución educativa. Además, los resultados obtenidos contribuirán al desarrollo de normativas y estándares de diseño más seguros y eficientes, aplicables no solo en Cusco, sino también en otras regiones con condiciones sísmicas similares. Este enfoque técnico proporciona un marco para la mejora continua de las prácticas de ingeniería sísmica en contextos de alto riesgo (Benavente et al., 2013).

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para mejorar la seguridad y resiliencia de las infraestructuras educativas en Cusco, una región históricamente vulnerable a los efectos destructivos de los sismos. Al evaluar y proponer el reforzamiento de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC, no solo se protege la vida de los estudiantes y personal, sino que también se asegura la preservación y continuidad de una institución educativa fundamental para la comunidad local. Asimismo, este estudio establece un precedente para futuras investigaciones en la región, promoviendo un enfoque proactivo en la gestión del riesgo sísmico. Las medidas de mitigación sugeridas podrían reducir significativamente el impacto de futuros terremotos, aportando así a la protección de las infraestructuras críticas y mejorando la resiliencia de la comunidad frente a desastres naturales (Chopra, 2012; FEMA P-58-1, 2018).

En resumen, esta investigación es crucial para garantizar que las edificaciones en Cusco, especialmente aquellas con funciones críticas como la educación, puedan resistir y operar de manera efectiva después de un sismo. Al minimizar los riesgos y mejorar la resiliencia estructural, se contribuye a la seguridad y bienestar de la comunidad, y se asegura la continuidad de los servicios educativos en escenarios de desastre.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el nivel de riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, frente a condiciones dinámicas incrementales, utilizando herramientas de análisis sísmico y normativas técnicas aplicables.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Identificar las zonas críticas de vulnerabilidad estructural del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024 ante cargas sísmicas incrementales, utilizando análisis no lineal dinámico y modelos computacionales.
- b) Analizar el peligro sísmico que enfrenta el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024, a través del estudio de registros sísmicos históricos y datos geotécnicos del sitio, y establecer el valor específico de la aceleración sísmica esperada (g).

- c) Clasificar el nivel de desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024 bajo condiciones dinámicas incrementales, utilizando simulaciones y modelado avanzado, de acuerdo con los estándares de desempeño estructural (Ocupación Inmediata, Daño controlado, Seguridad de vida, Seguridad limitada, y Estabilidad estructural).

- d) Establecer los criterios de diseño necesarios para garantizar la funcionalidad y seguridad post-sismo del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024, considerando los resultados obtenidos del análisis de desempeño sísmico.

- e) Determinar los umbrales de comportamiento elástico y plástico de la estructura del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024, bajo condiciones dinámicas incrementales, para prever su respuesta ante eventos sísmicos severos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la tesis titulada *Evaluación de métodos de estimación de Análisis Dinámico Incremental a partir de análisis estático no-lineal* (Chumpitaz, 2021), Juan Héctor Chumpitaz Martínez se centró en evaluar la eficacia de métodos recientes para estimar curvas de Análisis Dinámico Incremental (IDA) a partir de resultados obtenidos mediante análisis estático incremental, conocido como *push-over*. La investigación destaca la importancia de contar con una base de datos robusta de registros sísmicos diversos, un aspecto clave para realizar un IDA de manera efectiva y representativa. Los hallazgos sugieren que los métodos simplificados, como el SPO2IDA y el ICE4RISK, presentan limitaciones debido a la rigidez en la selección de registros

sísmicos. No obstante, se indica que el ICE4RISK tiene potencial para ser más flexible y ampliar su aplicabilidad, mientras que el SPO2IDA requiere ajustes en su formulación empírica para mejorar su utilidad (Chumpitaz, 2021). En relación con la tesis en desarrollo, orientada hacia la evaluación del desempeño sísmico en edificaciones educativas, ambas investigaciones comparten el uso del IDA para evaluar el comportamiento sísmico de las estructuras. Sin embargo, mientras el estudio de Chumpitaz se enfoca en métodos simplificados, la investigación actual pretende abordar vacíos identificados, tales como la falta de modelos que incorporen variables como la histéresis y la modelación de rótulas plásticas. Así, la tesis en curso busca corregir estas deficiencias mediante el uso de modelos inelásticos avanzados y la consideración de una gama más amplia de registros sísmicos para reflejar mejor las condiciones locales de las edificaciones (Chumpitaz, 2021). Finalmente, se espera que la investigación contribuya significativamente a mejorar la seguridad y resiliencia de las edificaciones educativas ante futuros eventos sísmicos.

Por otro lado, En la tesis titulada *Análisis Estático no Lineal y Análisis Dinámico no Lineal del Hospital de Vielha*, Peralta Álvarez (2012) comparó dos métodos de análisis estructural: el análisis estático no lineal y el análisis dinámico no lineal, aplicados a la estructura del Hospital de Vielha. Este hospital, con una estructura asimétrica, representa un edificio de especial importancia, lo que añade complejidad a su análisis sísmico. El estudio también evaluó la vulnerabilidad y el riesgo sísmico del hospital, así como el daño estructural en función del ángulo de entrada del terremoto. Las conclusiones de Peralta Álvarez (2012) revelaron que el método clásico *pushover* resulta deficiente cuando se aplica a estructuras asimétricas, como se demostró al comparar los resultados con el análisis dinámico no lineal. Además, se subrayó la importancia de mejorar las técnicas de análisis estático no lineal en 3D, especialmente para edificios de importancia crítica, como aquellos con geometrías irregulares o altura considerable, que no deben modelarse con metodologías clásicas simplificadas. Estas conclusiones resaltan la necesidad de seguir perfeccionando las metodologías de

análisis para estructuras complejas, como la del Hospital de Vielha. En cuanto a la tesis en desarrollo, ambas investigaciones comparten un enfoque en la evaluación de la resistencia estructural frente a eventos sísmicos mediante análisis no lineal. Tanto en el estudio de Peralta Álvarez como en la investigación actual, se aborda la importancia de la asimetría estructural y la mejora de las metodologías para evaluar el riesgo sísmico. Aunque los edificios estudiados son distintos, ambos trabajos se centran en la vulnerabilidad sísmica y la respuesta estructural. Los vacíos identificados en el estudio de Peralta Álvarez incluyen una evaluación limitada del daño en elementos individuales, la falta de parámetros cuantificables de desempeño y las restricciones en la representación de la capacidad sísmica global. La tesis en desarrollo pretende no solo llenar estos vacíos, sino también mejorar las metodologías existentes y proporcionar una guía práctica para la evaluación y mitigación del riesgo sísmico en instituciones educativas.

Finalmente, En la tesis titulada *Evaluación del Desempeño Sísmico de Hospitales Aislados y Convencionales a Través de un Análisis de Fragilidad*, Ferj Vargas (2024) evaluó el desempeño sísmico de hospitales con sistemas de aislamiento sísmica en comparación con hospitales convencionales, utilizando un análisis comparativo de su comportamiento estructural durante eventos sísmicos. La investigación desarrolló métodos de Análisis Dinámico Incremental y generó curvas de fragilidad para caracterizar la vulnerabilidad estructural. Un aspecto clave de este trabajo fue su contribución a la seguridad pública, proporcionando información valiosa para mejorar el diseño y la construcción de hospitales, garantizando su funcionalidad durante y después de un sismo severo. Además, la tesis ofreció herramientas útiles para la toma de decisiones por parte de ingenieros y planificadores urbanos, contribuyendo al conocimiento en ingeniería sísmica, especialmente en infraestructuras críticas como los hospitales. Las conclusiones subrayaron que los hospitales con sistemas de aislamiento sísmica mostraron un mejor desempeño comparado con las estructuras convencionales, sugiriendo que estos sistemas pueden ser efectivos para mejorar la

resiliencia de infraestructuras críticas (Ferj Vargas, 2024). El análisis identificó diferencias significativas en la demanda sobre componentes no estructurales, esenciales para la operatividad post-sismo de los hospitales. Asimismo, las curvas de fragilidad proporcionaron una herramienta valiosa para evaluar la vulnerabilidad sísmica y estimar pérdidas económicas. Ferj Vargas recomendó que futuros diseños hospitalarios en zonas sísmicamente activas consideren la inclusión de sistemas de aislación sísmica y adopten un enfoque integral que contemple tanto la estructura como los elementos no estructurales. Esta investigación contribuye significativamente al conocimiento en ingeniería sísmica, ofreciendo datos que pueden mejorar las normativas y prácticas de diseño en la construcción de hospitales. En relación con la tesis en desarrollo, ambas investigaciones comparten un enfoque en el análisis del desempeño estructural frente a eventos sísmicos mediante métodos de Análisis Dinámico Incremental, aunque se centran en diferentes infraestructuras críticas. Ambas tesis destacan la evaluación del riesgo sísmico y la importancia de la continuidad operativa, siendo relevantes para la mejora de las normativas en infraestructuras críticas, como hospitales y edificios esenciales para la gestión de emergencias (Ferj Vargas, 2024).

2.1.2 Antecedentes nacionales

En la tesis titulada *Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio de Muros Estructurales de Mediana Altura en Base a Desplazamientos y Costos de Reparación Probables*, Pérez Neyra y Torres Balbín (2022) analizaron la respuesta sísmica de un edificio de diez pisos con muros estructurales ubicado en Lima. El estudio evaluó el comportamiento del edificio en términos de desplazamientos bajo un enfoque determinista y estimó los costos de reparación probables adoptando un enfoque probabilista, considerando diversos niveles de riesgo sísmico. El objetivo fue realizar una evaluación exhaustiva de la integridad estructural, abordando tanto la seguridad

sísmica como la proyección de los costos de reparación en caso de daños. Las conclusiones de la investigación subrayan la importancia de ajustar los modelos matemáticos para reducir la incertidumbre en la estimación de la respuesta estructural. Los modelos rígidos utilizados permitieron simular con precisión la respuesta no lineal de los elementos de concreto armado, con desviaciones mínimas respecto a los datos experimentales. Desde el punto de vista de los desplazamientos, la estructura cumplió con los objetivos de rendimiento, superando las expectativas de la normativa sísmica peruana. No obstante, se cuestionó la metodología por no abordar el daño específico en elementos individuales ni proporcionar medidas cuantificables del daño. Además, se resaltó la necesidad de analizar la capacidad sísmica de los edificios para prevenir daños y pérdidas económicas en futuros sismos, destacando la importancia de garantizar la seguridad estructural (Pérez Neyra y Torres Balbín, 2022). La tesis en desarrollo se relaciona con este estudio en su enfoque sobre el análisis del comportamiento sísmico, aunque difiere en las metodologías. Mientras que el trabajo de Pérez Neyra y Torres Balbín se concentra en los desplazamientos y costos de reparación, la investigación actual se enfoca en el Análisis Dinámico Incremental (IDA) no lineal para evaluar el riesgo sísmico. Los vacíos identificados en el estudio incluyen una evaluación limitada del deterioro en componentes individuales, la falta de criterios medibles de rendimiento y la omisión de incertidumbres en la predicción del comportamiento estructural. La tesis en curso abordará estas carencias mediante el uso del IDA, estableciendo criterios de rendimiento medibles y creando modelos numéricos avanzados que mejoren la precisión en la predicción del comportamiento sísmico, formulando recomendaciones para mejorar la seguridad de edificios educativos.

En la tesis titulada *Pérdidas por sismo en edificaciones educativas: Metodología para la evaluación del riesgo sísmico en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú*, Velásquez Vargas (2022) desarrolló una metodología enfocada en estimar el riesgo sísmico y las posibles pérdidas económicas en las edificaciones del campus de la PUCP. El objetivo principal fue establecer un marco

metodológico para la evaluación del riesgo sísmico, proporcionando herramientas útiles para la gestión y mitigación del riesgo en entornos educativos. Las conclusiones de Velásquez Vargas subrayan la efectividad de las curvas de fragilidad para estimar pérdidas por sismo, permitiendo considerar las incertidumbres tanto en la demanda sísmica como en la respuesta estructural. Se destacó que estas curvas son especialmente útiles para evaluar grupos de edificios con características estructurales similares, y que la metodología es particularmente relevante para edificaciones construidas bajo normas anteriores a 1997, donde se podrían proponer refuerzos estructurales evaluados a través de las curvas de fragilidad (Velásquez Vargas, 2022). La relación entre esta tesis y la investigación en curso, centrada en la evaluación del riesgo sísmico y la capacidad de respuesta del edificio de comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), se encuentra en su enfoque compartido en la seguridad sísmica de edificaciones educativas en Perú. Mientras que la tesis de Velásquez Vargas aborda una metodología general para el campus de la PUCP, la investigación actual se enfoca en un caso específico, sugiriendo que los métodos y hallazgos de la primera pueden ser adaptados al contexto del edificio en Cusco. La metodología de Velásquez Vargas, que incluye evaluación visual rápida de vulnerabilidades, generación de curvas de fragilidad y estimación de pérdidas, puede ser empleada en la tesis en desarrollo para evaluar la respuesta estructural del edificio de la UNSAAC bajo condiciones sísmicas incrementales. Ambas investigaciones, al situarse en el contexto peruano, comparten similitudes en cuanto a normativas de construcción, características sísmicas y tipologías estructurales, lo que facilita la transferencia de conocimiento y métodos entre ellas. Además, ambas tesis identifican vacíos de conocimiento en la evaluación de la respuesta sísmica de edificaciones educativas en Perú, destacando la necesidad de estudios más específicos en estructuras críticas y contribuyendo al fortalecimiento del campo de la seguridad sísmica en infraestructuras educativas.

Finalmente, En la tesis titulada *Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio Aislado con Irregularidad Torsional*, Meza Tintaya (2015) investigó el

comportamiento sísmico de una edificación con base aislada y con irregularidad torsional en la superestructura, evaluando su desempeño dentro de los límites de la norma técnica peruana de aislamiento sísmico E.031. El objetivo principal fue validar si el uso de aisladores de base en edificios con demandas de torsión permite un desempeño sísmico adecuado, verificando las restricciones de irregularidad torsional establecidas por la normativa. Las conclusiones del estudio indican que los aisladores de base pueden proporcionar un desempeño sísmico adecuado en edificaciones con demandas torsionales, siempre y cuando se respeten los límites normativos. Se destacó la necesidad de considerar la respuesta no lineal de la superestructura para una evaluación precisa del comportamiento durante eventos sísmicos. A través del Análisis Dinámico Incremental (IDA), se obtuvieron datos relevantes sobre las rotaciones inelásticas en columnas y las derivas de entrepiso, lo que permitió una evaluación detallada del desempeño sísmico de la estructura. Además, se subrayó la importancia de cumplir con las normativas peruanas vigentes en el diseño y evaluación de edificaciones aisladas, para garantizar su seguridad y resistencia ante sismos (Meza Tintaya, 2015). La relación entre esta tesis y la investigación en desarrollo se encuentra en su interés compartido por entender cómo las estructuras responden a eventos sísmicos bajo condiciones dinámicas específicas. Ambas investigaciones resaltan la importancia de considerar la no linealidad de los materiales y estructuras, así como la necesidad de contar con bases de datos sísmicos adecuadas para el análisis de la amenaza sísmica. La tesis en desarrollo busca no solo ampliar los hallazgos de Meza Tintaya, sino también contribuir a un conocimiento más detallado del comportamiento sísmico en distintos tipos de estructuras, fortaleciendo la capacidad para reducir riesgos sísmicos en el ámbito educativo y otros sectores.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Teorías de la evaluación del riesgo sísmico

2.2.1.1 Riesgo sísmico en edificaciones

El riesgo sísmico en edificaciones se define como la probabilidad de que ocurran daños, pérdidas o impactos negativos como resultado de un terremoto en una determinada área geográfica. Según FEMA P-58-1 (2018), este riesgo se determina combinando la amenaza sísmica y la vulnerabilidad de las estructuras, infraestructuras y población expuesta a un evento sísmico.

Para una evaluación efectiva del riesgo sísmico, es fundamental considerar los siguientes componentes:

a) Amenaza sísmica

La amenaza sísmica implica comprender la actividad sísmica histórica, la sismicidad actual, y la probabilidad de que ocurran terremotos de diversas magnitudes en una región específica. Esto también incluye la estimación de la aceleración del suelo esperada en un evento sísmico (FEMA P-58-1, 2018).

b) Vulnerabilidad estructural y no estructural

La vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de las edificaciones y sistemas de infraestructuras ante fuerzas sísmicas. Esto abarca desde la resistencia de las estructuras hasta la calidad de la construcción y la presencia de elementos no estructurales susceptibles a daños (FEMA P-58-1, 2018).

c) Capacidad de recuperación

Evaluar la capacidad de recuperación de la comunidad y de las estructuras después de un terremoto. Esto incluye la disponibilidad de recursos, los planes de emergencia, la infraestructura de respuesta y la capacidad de reconstrucción.

d) Exposición

Se refiere a la identificación y cuantificación de los elementos en riesgo, como la población, las edificaciones y los activos críticos en la región, incluyendo su distribución geográfica y la importancia relativa de cada infraestructura (ASCE 7-16, 2017).

e) Capacidad de Recuperación

La capacidad de recuperación se enfoca en la disponibilidad de recursos y planes de emergencia, la infraestructura de respuesta y la capacidad para la reconstrucción tras un sismo. Esta capacidad es clave para minimizar el impacto a largo plazo de los eventos sísmicos (NIST GCR 10-917-5, 2010).

f) Medidas de mitigación

Implementar estrategias de mitigación es esencial para reducir la vulnerabilidad de las estructuras y mejorar la resiliencia comunitaria. Esto puede incluir desde el diseño sísmico adecuado hasta el refuerzo de estructuras existentes y la planificación urbana y de emergencias (FEMA P-58-1, 2018).

g) Gestión del riesgo

La gestión del riesgo sísmico involucra la identificación de riesgos, evaluación de impactos potenciales, planificación de medidas de prevención, preparación para emergencias y recuperación post-desastre. Este proceso es continuo y requiere la colaboración de gobiernos, instituciones académicas y comunidades locales (ASCE 7-16, 2017).

2.2.1.2 Análisis Dinámico Incremental en edificaciones

El Análisis Dinámico Incremental (IDA, por sus siglas en inglés) es un método avanzado utilizado en la ingeniería estructural para evaluar el comportamiento de edificaciones ante cargas dinámicas, como las generadas por un terremoto. Según el NIST GCR 10-917-5 (2010), este método implica la aplicación progresiva de cargas dinámicas para simular la respuesta no lineal de la estructura.

Este enfoque es particularmente útil para estructuras complejas, ya que permite capturar la interacción entre distintos componentes estructurales bajo cargas sísmicas crecientes. El ASCE 7-16 (2017) destaca la importancia del modelado tridimensional de la estructura, considerando factores como la distribución de rigidez, los efectos P-Delta y la torsión accidental. A medida que se incrementan las cargas, el Análisis Dinámico Incremental proporciona información detallada sobre posibles puntos de falla, deformaciones, desplazamientos y la capacidad de carga de la estructura (FEMA P-58-2, 2018).

Aunque el IDA es computacionalmente intensivo, sus resultados ofrecen una comprensión exhaustiva del comportamiento estructural, permitiendo a los ingenieros diseñar edificaciones más seguras y resistentes a los sismos (ASCE 7-16, 2017).

2.2.1.3 Análisis Dinámico Incremental en edificaciones educativas

En el contexto de edificaciones educativas, el Análisis Dinámico Incremental juega un papel crucial en la evaluación de la seguridad y resiliencia estructural. Según Yamin y Rincon (2017), este proceso comienza con el modelado estructural detallado, seguido de la definición de cargas sísmicas específicas y su aplicación al modelo estructural. El análisis dinámico considera la interacción entre la masa, la rigidez estructural y la respuesta dinámica del suelo.

El análisis incremental permite evaluar la respuesta de la estructura en diferentes niveles de carga, identificando la formación de rótulas plásticas y el comportamiento inelástico de los elementos estructurales. Esta evaluación es fundamental para determinar si la edificación cumple con los criterios de diseño y resistencia sísmica establecidos, garantizando así la seguridad de los ocupantes y la continuidad operativa de las actividades educativas (Yamin y Rincon, 2017).

2.2.2 Amenazas sísmicas del lugar

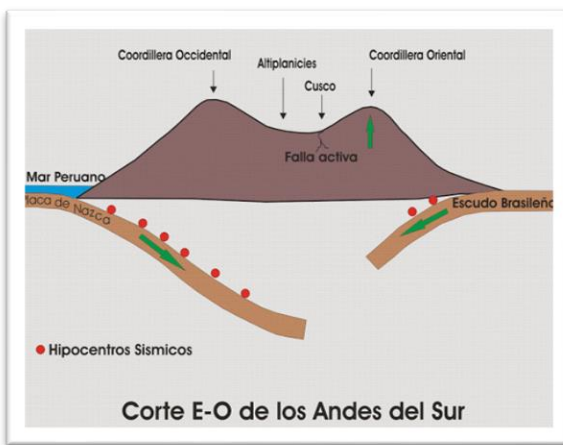
2.2.2.1 Sismos en Cusco

El Perú se encuentra en una zona de alta sismicidad, influenciada por el Cinturón de Fuego del Pacífico. Los sismos en Cusco se diferencian de los registrados en la costa peruana debido a su origen tectónico, relacionado principalmente con fallas normales activas en la región de la cordillera oriental y altiplánica. Estos sismos, denominados intraplaca, son eventos con fallas superficiales que pueden causar significativos daños en la región (Mendoza, 2013).

La actividad sísmica en Cusco está vinculada a la presencia de fallas geológicas, como la falla Tambomachay, que ha mostrado actividad reciente y ha liberado energía en forma de sismos de magnitud pequeña a moderada. Esta falla, junto con otras como la falla Qoricocha, representa una amenaza significativa para la región, dada su capacidad de generar sismos de magnitud considerable (Benavente, 2010).

Figura 2

Falla activa en la ciudad del Cusco.



Nota. Corte E-O de los Andes del Sur, mostrando la ubicación de la falla activa en la región de Cusco y los hipocentros sísmicos asociados. Fuente: adaptado de *Sismos en la región Cusco-Perú* [fotografía] por Marco Antonio Mendoza Peña, 2013, Blogger (sismosencusco.blogspot.com).

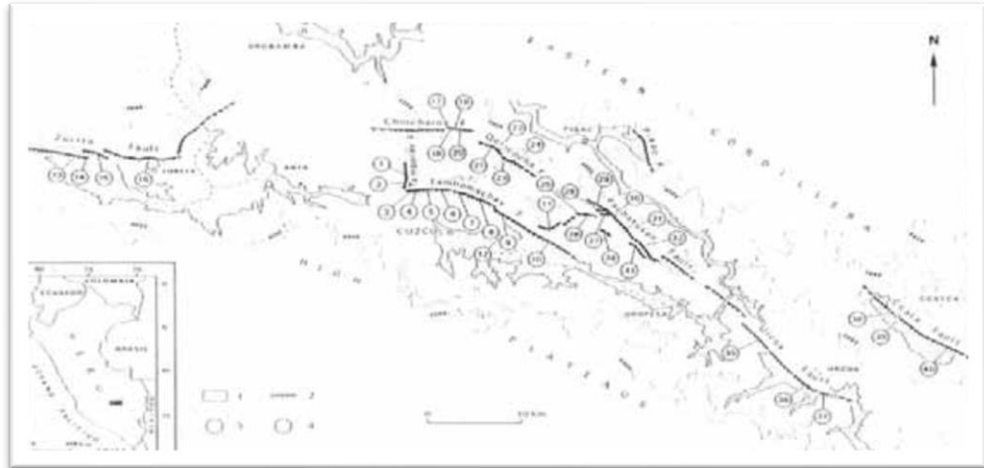
2.2.2.2 Fallas Activas en Cusco

El levantamiento de la cordillera oriental, causado por el desplazamiento del escudo brasileiro bajo los Andes, ha generado fallas activas en la región. Las principales

fallas cuaternarias, como Zurite, Chincheros, Tambomachay y Qoricocha, se alinean de norte a sur, representando estructuras de deformación dinámica y frágil que han mostrado actividad sísmica reciente (Yauri, 2015).

Figura 3

Principales sistemas de fallas en la región Cusco.



Nota. Mapa que muestra los principales sistemas de fallas, Fuente: adaptado de la publicación *Escenario de riesgo sísmico y movimiento en masa producido por la reactivación de la falla Tambomachay* (p. 19), por Sheila Yauri Condo 2015, CEPIG-INDECI.

2.2.2.3 Falla Tambomachay

La falla Tambomachay es una estructura activa que se extiende por 20 km y ha liberado energía a través de sismos de magnitud moderada. Esta falla es responsable de la reciente sismicidad superficial en el área de Cusco y representa un riesgo significativo para la región (Cabrera, 1988; Benavente et al., 2010).

Figura 4

Imagen satelital de la ciudad del Cusco mostrando la falla de Tambomachay.



Nota. La imagen destaca la ubicación de la falla de Tambomachay en la región de Cusco. Fuente: Adaptado de la publicación *Neo tectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco* (p. 50), por Benavente et al., 2013, INGEMET.

Figura 5

Segmento central de la falla Tambomachay.



Nota. Fotografía del segmento central de la falla Tambomachay, Ubicada en la región de Cusco. Fuente: Adaptado de la publicación *Neo tectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco* (p. 52), por Benavente et al., 2013, INGEMET.

2.2.2.4 Falla Qoricocha

Ubicada al norte de la falla Tambomachay, la falla Qoricocha se reactivó en 1986, generando un sismo de magnitud 5.4. Esta falla tiene el potencial de causar sismos de hasta 6.5 grados, lo que subraya la necesidad de monitoreo y evaluación constante para mitigar los riesgos asociados (Justo y Michel, 1988; Carlotto, 1987).

Figura 6

Vista de la falla Qoricocha



Nota. La imagen muestra una vista panorámica de la falla Qoricocha en la región de Cusco. Fuente: Adaptado de la publicación *Neo tectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco* (p. 61), por Benavente et al., 2013, INGEMET.

2.2.3 Peligros existentes en Cusco

La ciudad de Cusco enfrenta múltiples peligros, incluyendo aquellos de origen geodinámico, geotécnico, geológico y sísmico. Estos peligros han sido detalladamente estudiados y documentados por el INGEMMET y otras instituciones, lo que proporciona un marco para la gestión y mitigación de riesgos en la región (Benavente et al., 2004; Yauri, 2015).

Tabla 1

Peligros identificados dentro de la provincia de Cusco

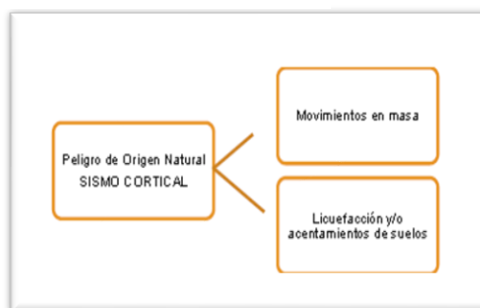
Peligro	Descripción	Origen
Peligro Climático	Erosión de riberas, inundaciones y nivel freático alto.	Precipitaciones pluviales, sólidas intensas (diciembre-abril).
Peligro Geodinámico	Deslizamientos de taludes, flujos de lodo y derrumbes.	Cambios en la topografía de la zona, filtraciones de agua, erosión, entre otros.
Peligro Geotécnico	Asentamientos de suelos.	Suelos de baja calidad.
Peligro Geológico Estructural	Fallas geológicas.	Desplazamiento relativo de bloques; en este estudio se considera la falla Tambomachay.
Peligro Sísmico	Amplificación sísmica.	Sismos de magnitud elevada en la ciudad del Cusco.

Nota. Datos obtenidos del *Estudio del Mapa de Peligros de la Ciudad del*

Cusco, 2004. Fuente: Proyecto Ciudades Sostenibles.

Figura 7

Peligros de origen natural en un sismo cortical.



Nota. Diagrama que muestra los peligros asociados a un sismo cortical; adaptado de la publicación *Escenario de Riesgo Sísmico y Movimiento en Masa Producido por la Reactivación de la Falla Tambomachay, Provincia de Cusco* (p. 22), por Sheila Yauri Condo, 2015, CEPIG-INDECI.

2.2.4 Sismicidad en la ciudad del Cusco

Cusco ha registrado numerosos eventos sísmicos desde la era colonial, con algunos de los más devastadores ocurriendo en 1950, 1986 y 2014. Estos sismos han causado daños significativos a las edificaciones, subrayando la necesidad de un análisis sísmico continuo y la implementación de medidas de mitigación para proteger tanto a la población como a las infraestructuras (Mendoza, 2013; Silgado, 1978).

En la tabla 2 se presenta el registro cronológico de la actividad sísmica expresada en los relatos de los cronistas que recogieron información de la actividad sísmica (Mendoza, 2013)

Tabla 2*Registro histórico de sismos en Cusco*

FECHA	POBLACION	FECHA	POBLACION
1581	Yanaoca.	31/10/1947	Quillabamba.
1590	Cusco.	10/01/1948	Cusco.
31-03-1650	Cusco.	10/10/1948	Marcahuasi.
17-09-1707	Ccapi.	06/11/1948	Cusco.
1717	Quiquijana.	10/01/1949	Cusco.
11-02-1746	Urcos.	15/04/1949	Cusco.
22-04-1804	Cusco.	21/05/1950	Cusco.
07-09-1823	Cusco.	26/02/1952	Cusco.
18-09-1832	Cusco.	06/07/1952	Cusco.
16-11-1832	Cusco.	26/08/1952	Cusco.
27-03-1870	Cusco.	30/03/1953	Cusco.
10-17-1870	Santo tomas.	16/03/1954	Cusco.
23/01/1905	Cusco.	05/05/1954	Cusco.
17/05/1928	Cusco.	07/08/1954	Marcapata.
05/03/1938	Acopia.	07/01/1955	Yanaoca.
06/03/1938	Tinta.	20/02/1955	Yanaoca.
23/06/1939	Pomacanchi.	19/06/1955	Anta.
18/09/1941	Cusco.	08/11/1961	Acos.
30/01/1943	Yanaoca.	08/05/1965	Urcos.
01/02/1944	Cusco.	03/06/1980	Mollepata.
21/02/1946	Cusco.	05/04/1986	Cusco.
17/04/1946	Marcahuasi.	06/07/1991	Livitaca.
30-05 1946	Cusco.	19/02/1992	Chinchaypugio.
03/06/1947	Yanaoca.	08/08/2003	Capacmarca

Nota. Esta tabla muestra un registro histórico de sismos ocurridos en la región de

Cusco. Fuente: Sismos en la región Cusco – Perú, 2013, Blogger

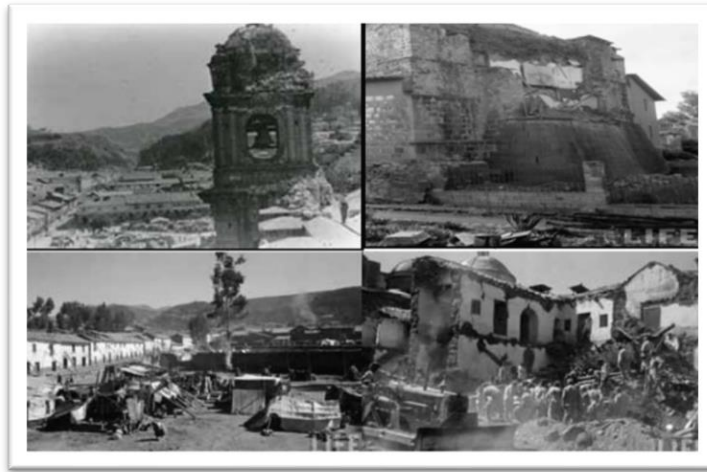
(sismosencusco.blogspot.com).

2.2.4.1 Sismo de 21 de mayo de 1950

Fue uno de los más grandes y recientes sismos, tiene una magnitud de 7.0 Mw e intensidad de VII en la escala de Mercalli Modificada, ocasiono el 50% de daños en viviendas de construcción precaria, 120 muertos y 275 heridos (Silgado, 1978), en este evento se produjo la licuefacción de suelos levantando el nivel freático al sur de la cuenca del Cusco, con niveles de 40 cm en la superficie (Silgado, 1952b).

Figura 8

Edificaciones en Cusco despues del sismo de 1950.



Nota. Edificaciones donde se muestra los daños causados por el sismo de 1950.

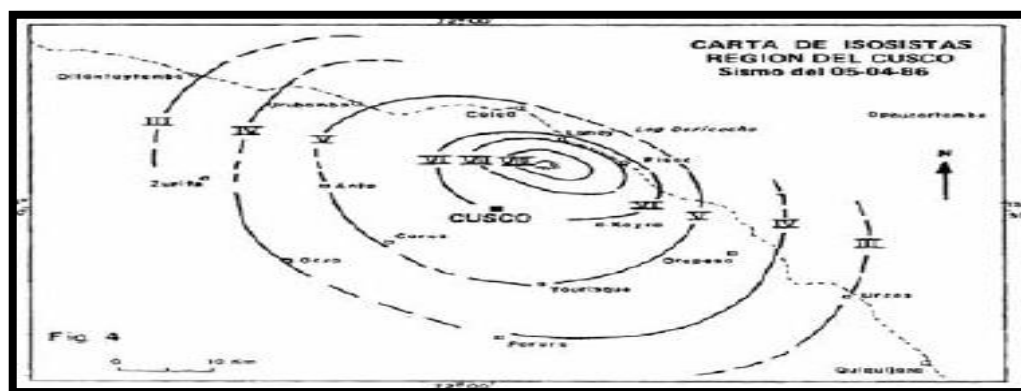
Fuente: Adaptado de la publicación *Escenario de Riesgo Sísmico y Movimiento en Masa Producido por la Reactivación de la Falla Tambomachay, Provincia de Cusco* (p. 27), por Sheila Yauri Condo, 2015, CEPIG-INDECI.

2.2.4.2 Sismo del 05 de abril de 1986

Yauri (2015), describe que el sismo tuvo una magnitud de 5.4 Mw, con un foco superficial e intensidad entre IV y VI en la escala de Mercalli Modificada, el epicentro fue localizado a 8 km al NE de la ciudad del Cusco (Cabrera-Sebrier,1998), fue generado por la reactivación de la falla Qoricocha, presento una longitud de 3 km y desplazamiento de hasta 10 cm, con extensión en dirección Norte-Sur y causó la muerte de 7 personas, 80 heridos y aproximadamente 13,000 damnificados (p 28).

Figura 9

Mapa de localización del epicentro e intensidades del sismo de 1986.



Nota. Carta de isosistas de la región del Cusco. Fuente: Adaptado de la publicación *Escenario de Riesgo Sísmico y Movimiento en Masa Producido por la Reactivación de la Falla Tambomachay, Provincia de Cusco* (p. 29), por Sheila Yauri Condo, 2015, CEPIG-INDECI.

2.2.4.3 Sismo del 27 de septiembre del 2014

Yauri (2015), indica que a las 21:35 horas, se produjo un sismo de magnitud 5.1 MI, ubicado a 7 km al SO de Paruro a una profundidad de 8 km las intensidades fueron de V-VI en Paruro y II-III en Cusco, produjo mayor daño en la comunidad de Misca distrito de Paruro, se produjo daños a cuatro instituciones educativas dos en Misca y dos en Cusibamba (MINEDU) (p 29).

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

En el presente apartado, se introducen y definen los conceptos clave que son fundamentales para la comprensión del estudio realizado en el contexto de la evaluación sísmica en la región de Cusco. Estos conceptos no solo proporcionan una base teórica sólida para el análisis, sino que también permiten un entendimiento claro de los elementos específicos y las metodologías utilizadas en la investigación.

2.3.1 Riesgo sísmico en Cusco

Este concepto aborda las particularidades del riesgo sísmico en la región de Cusco, considerando factores geológicos, históricos y estructurales que influyen en la vulnerabilidad y exposición de las edificaciones ante eventos sísmicos.

2.3.2.1 Peligrosidad sísmica

Cusco se encuentra en una zona considerada de elevada peligrosidad sísmica por la interacción de algunos fenómenos naturales junto con los de un sismo, que provoque que se aumente el nivel de peligro hacia las edificaciones construidas en la ciudad del Cusco.

Benavente et al., (2004) indica que existe información referida a riesgo sísmico en la región, en el documento “Riesgo Sísmico en la Zona del Altiplano”. Esta información se basa en datos sísmicos instrumentales, datos sísmicos históricos, registros de movimientos fuertes, datos geotécnicos y geofísicos, los que usando el modelo probabilístico de Poisson han sido procesados para obtener la aceleración, velocidad y desplazamiento máximos esperados para periodos de retorno de 30,50 y 100 años. Esta información se encuentra en mapas de curvas que abarcan los departamentos de Cusco y Puno (p. 17).

Los parámetros correspondientes se describen en la tabla 3

Tabla 3

Parámetros correspondientes al riesgo sísmico en la zona del altiplano

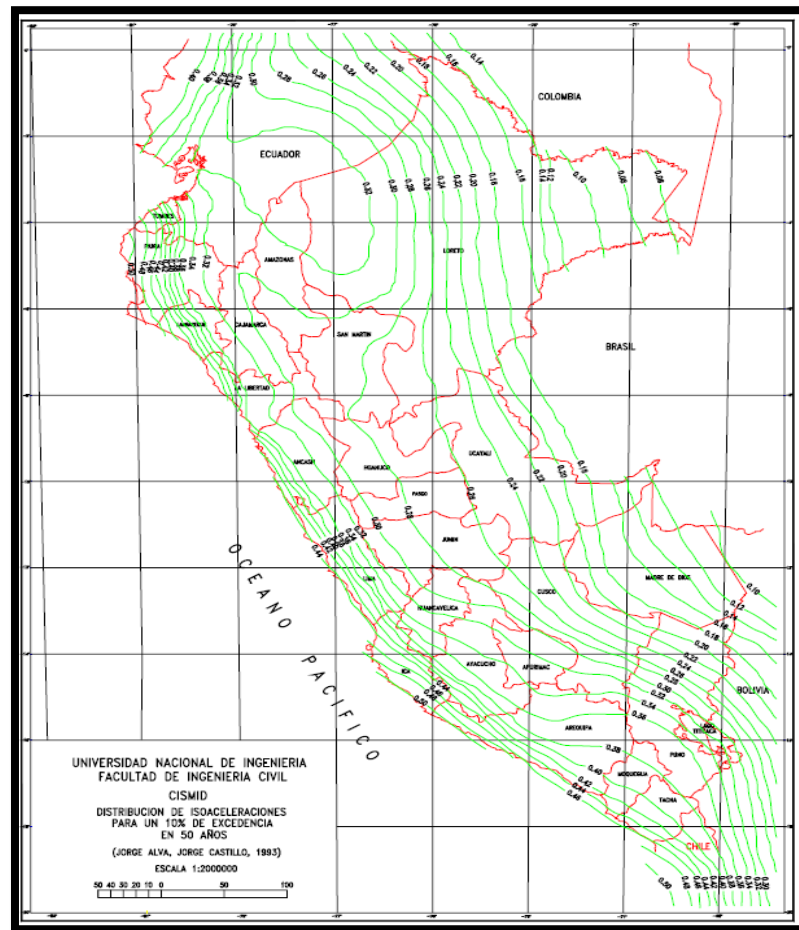
	Aceleración (unidades de la gravedad)			Velocidad (cm/seg)			Desplazamiento (cm)		
	30 años	50 años	100 años	30 años	50 años	100 años	30 años	50 años	100 años
Parámetros	0.137	0.17	0.21	5.8	7	9.5	2.05	2.4	3.3

Nota. Datos obtenidos del *Estudio del Mapa de Peligros de la Ciudad del*

Cusco,2004. Fuente: Proyecto Ciudades Sostenibles.

Figura 10

Distribución de isoaceleraciones para 10% de excedencia en 50 años.



Nota. Mapa mostrando la distribución de isoaceleraciones sísmicas en Perú. Fuente: Obtenido de la publicación *Peligro Sísmico en el Perú* (p. 18), por Jorge E. Alva Castillo y Otros, 1993.

2.3.2.2 Amplificación sísmica

Al ocurrir una relajación súbita o liberación de la energía en un sismo, esta inicia por debajo de la superficie del terreno y se propagan por los distintos niveles

estratigráficos teniendo características de amplitud y aceleración que cambian según llegan a los diferentes niveles.

Cuando las ondas sísmicas llegan al material blando que cubre a la corteza terrestre que denominamos suelo, se produce una disminución en el parámetro de aceleración, pero un incremento en la amplitud registrada de la onda sísmica que llega a la superficie. Este incremento en la amplitud se denomina *amplificación sísmica* (Alarcón, Gómez y Enrique, 1998).

2.3.2.2.1 Amplificación sísmica en Cusco

La amplificación sísmica está totalmente relacionada a la estratigrafía de las diferentes zonas en la ciudad del Cusco, según la guía de metodología: *Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción de Masa* (Ojeda, 2001) los resultados calculados muestran un interesante comportamiento de los valores de máxima aceleración en las zonas circundantes a las fallas (Benavente et al, 2013).

Tabla 4

Grados de aceleración sísmica

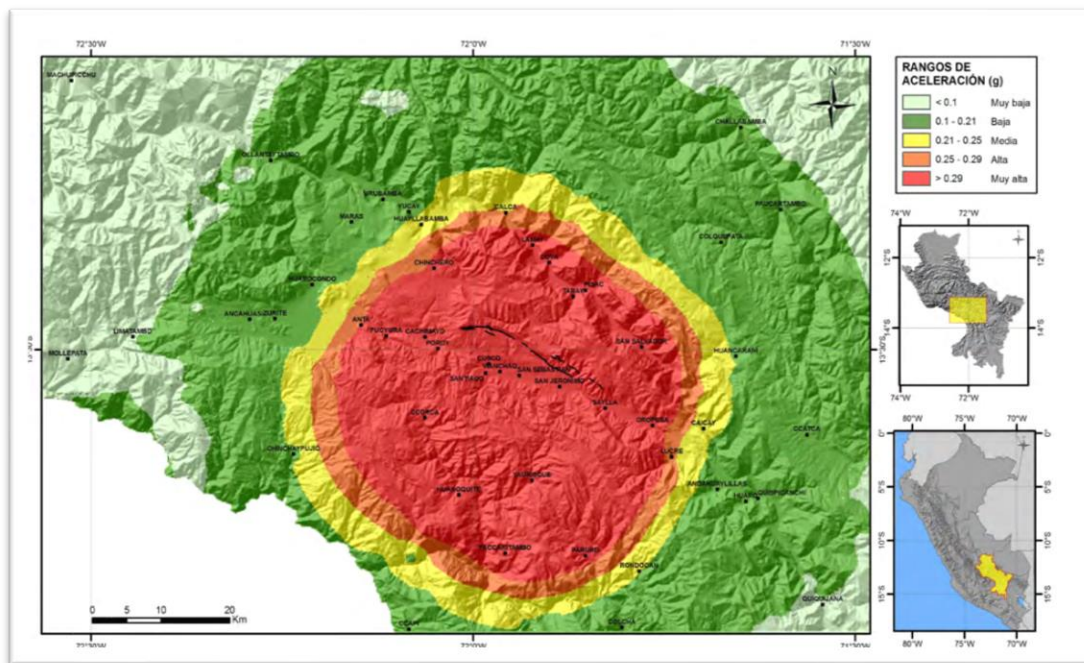
ACELERACIÓN	GRADO
<0.1	Muy Baja
0.1-0.21	Baja
0.21-0.25	Media
0.25-0.29	Alta
>0.29	Muy Alta

Nota. Obtenido de la publicación *Neo tectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco* (p. 200), por Benavente et al., 2013, INGEMET.

Tomando en cuenta estos parámetros, se propone para la ciudad de Cusco el mapa de aceleración de pico del terreno (PGA), evaluando para ello factores como: tipo de suelo (obtenido en función de sus edades, cenozoicas y cuaternarias) y distancia con respecto a la falla Tambomachay. La Figura 11, muestra el mapa de aceleraciones del suelo para la ciudad de Cusco y alrededores, cuyos valores alcanzan hasta los 0.29 g, valor que es catalogado como Muy Alto (Benavente et al, 2013).

Figura 11

Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA para la falla Tambomachay.



Nota. Obtenido de la publicación Neo tectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco (p. 201), por Benavente et al., 2013, INGEMET.

2.3.3 Registros sísmicos

Los registros sísmicos son datos obtenidos mediante instrumentos de medición especializados, como los acelerógrafos, que capturan el movimiento del suelo durante un evento sísmico. Estos registros proporcionan información detallada sobre las características del terremoto, incluyendo parámetros clave como la magnitud, la duración y las variaciones en la aceleración del suelo a lo largo del tiempo. En el campo de la ingeniería sísmica, estos datos son cruciales para el análisis y diseño de estructuras sismorresistentes, ya que permiten una evaluación precisa de la respuesta estructural bajo condiciones sísmicas reales.

Según Chopra (2012), los registros sísmicos desempeñan un papel fundamental en la calibración y validación de modelos analíticos y numéricos utilizados en el análisis sísmico de edificaciones. Estos modelos son esenciales para predecir cómo una estructura responderá ante un terremoto y para asegurar que cumpla con los estándares de seguridad establecidos. Además, Vamvatsikos y Cornell (2002) destacan que los registros sísmicos pueden ser escalados a diferentes niveles de intensidad para realizar estudios de desempeño sísmico, como el Análisis Dinámico Incremental (IDA). Este enfoque permite obtener una visión más completa del comportamiento estructural bajo diversos escenarios sísmicos, lo que es vital para diseñar edificaciones que puedan resistir una amplia gama de condiciones sísmicas.

2.3.4 Diseño sísmico basado en desempeño

El diseño sísmico basado en desempeño es un enfoque que busca garantizar que las edificaciones en Cusco, y en general, cumplan con ciertos niveles de desempeño durante y después de un sismo, asegurando su funcionalidad y minimizando los daños de acuerdo con criterios específicos de seguridad y uso.

2.3.4.1 Definición del diseño sísmicos basado en desempeño

La actividad sísmica en las últimas décadas en regiones altamente sísmicas ha resultado en una serie de pérdidas humanas y materiales. Aunque las normas de diseño sismorresistente han reducido significativamente estas pérdidas, aún persisten percepciones erróneas sobre el comportamiento de las edificaciones que cumplen con estos códigos. En muchos casos, se han registrado fallas estructurales que resultaron en pérdidas inesperadas, evidenciando la necesidad de un enfoque más detallado y predictivo.

El diseño sísmico basado en desempeño (Performance-Based Seismic Design, PBSD) proporciona una metodología para predecir y mitigar los daños causados por sismos. Este enfoque no se limita a nuevas construcciones; las edificaciones existentes también pueden ser evaluadas y adaptadas para cumplir con objetivos de desempeño específicos. El PBSD permite diseñar y analizar edificaciones con un comportamiento predecible y confiable bajo la acción de un sismo, asegurando así su seguridad y funcionalidad (Chopra, 2012).

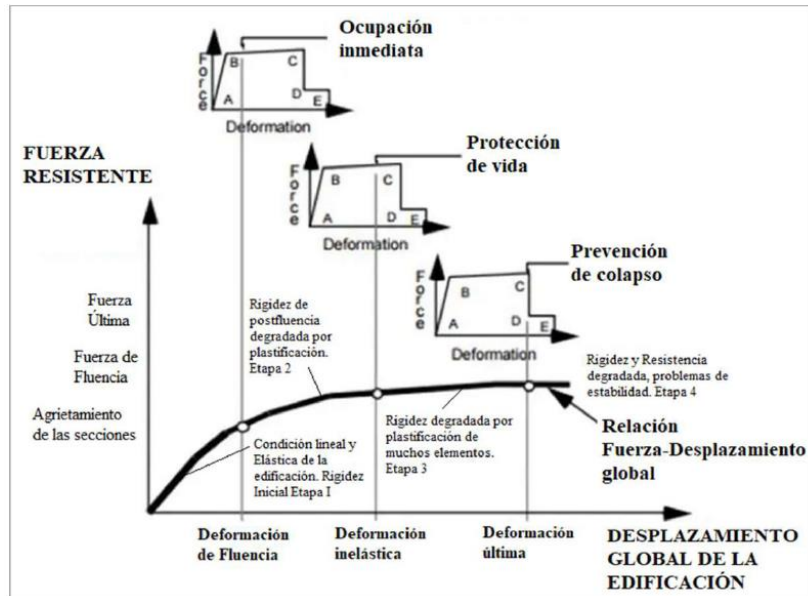
2.3.4.2 Objetivos de desempeño

Los objetivos de desempeño en el diseño sísmico se refieren al comportamiento esperado de una estructura, considerando tanto los sistemas estructurales como no estructurales. Estos objetivos establecen el comportamiento sísmico deseado al combinar el nivel máximo de daño admisible (nivel de desempeño) con una amenaza sísmica específica (movimiento sísmico).

El desempeño sísmico de una estructura debe seleccionarse para diferentes niveles de amenaza sísmica, teniendo en cuenta factores como la ocupación, la importancia de la edificación y otros criterios relevantes (ASCE 7-16, 2017).

Figura 12

Niveles de deterioro en edificaciones



Nota. Gráfico que muestra la relación entre la fuerza resistente y el desplazamiento global de la edificación en diferentes etapas de deformación, Fuente: *Adaptación de FEMA 356-2004.*

En la figura 12, se muestra en el eje horizontal el desplazamiento global de la edificación considerando las deformaciones de fluencia, inelástica y última y en el eje vertical es la fuerza resistente donde se describe la fuerza de fluencia, fuerza última y aplastamiento de las secciones.

2.3.4.3 Niveles de desempeño

El nivel de desempeño describe el estado límite de daño en una edificación, considerando tres aspectos clave: (a) los posibles daños físicos en componentes estructurales y no estructurales; (b) la amenaza a la seguridad de los ocupantes; y (c) la funcionalidad de la edificación después de un sismo.

2.3.4.3.1 Niveles de desempeño propuesto por ATC-40

Los niveles de desempeño definidos por el Applied Technology Council (ATC-40, 1996) establecen una clasificación para el sistema estructural basada en los posibles estados de daño de la edificación.

a) **SP-1 Inmediata Ocupación**

La capacidad del sistema para soportar cargas verticales y laterales se mantiene prácticamente sin cambios. El daño estructural es mínimo, el riesgo para la vida es insignificante, y el edificio sigue siendo completamente funcional.

b) **SP-2 Daño Controlado**

Este nivel corresponde a condiciones de daño que oscilan entre la ocupación inmediata y la seguridad estructural. No existe un riesgo significativo para la vida, aunque podrían ocurrir lesiones.

c) SP-3 Seguridad

La estructura puede haber sufrido daños importantes, pero la mayoría de los elementos estructurales permanecen intactos. Sin embargo, existe un peligro para la vida de los ocupantes, y los costos de reparación pueden ser elevados.

d) SP-4 Seguridad Limitada

Este nivel representa un estado de daño severo, con un alto peligro para los ocupantes y una posible afectación a la estabilidad estructural.

e) SP-5 Estabilidad Estructural

La estructura está al borde del colapso parcial o total. Aunque los componentes de carga vertical conservan suficiente resistencia para evitar el colapso inmediato, el daño es grave y la rigidez y resistencia lateral están significativamente reducidas, poniendo en riesgo a los ocupantes y transeúntes.

f) SP-6 No Considerado

Este nivel no se refiere al desempeño estructural, sino a condiciones de evaluación sísmica que incluyen solo componentes no estructurales.

2.3.4.4 Nivel de amenaza sísmica

El nivel de amenaza sísmica corresponde al movimiento del terreno, influenciado por factores como la ubicación de la edificación, fallas geológicas existentes, y las características geológicas del sitio. Estos factores determinan la

magnitud de la amenaza sísmica y cómo podría afectar el desempeño de la edificación. Para establecer una metodología práctica del diseño basado en desempeño, es necesario considerar una serie de eventos sísmicos discretos que representen un rango de severidad para el desempeño particular de la estructura. A estos movimientos se les denomina movimientos sísmicos de diseño, y sus parámetros dependen de la sismicidad de la zona (FEMA P-58-1, 2018).

2.3.4.4.1 Propuesta del ATC-40

Según el ATC-40 (1996), se utilizan tres niveles de movimiento sísmico para diseñar estructuras.

a) Sismo de servicio (SE)

Un nivel de movimiento del suelo con un 50% de probabilidades de ser superado en 50 años. Estos sismos se consideran frecuentes y pueden ocurrir varias veces durante la vida útil de la estructura.

b) Sismo de diseño (DE)

Un nivel de movimiento del suelo con una probabilidad del 10% de ser superado en 50 años, correspondiente a un sismo poco común, de intensidad moderada a severa, que se espera ocurra al menos una vez durante la vida útil de la estructura.

c) Sismo máximo (ME)

Un nivel de movimiento del suelo con una probabilidad del 2% al 5% de ser superado en 50 años. Este nivel corresponde al movimiento máximo del suelo que se espera en la ubicación de la estructura y se utiliza en el diseño de estructuras esenciales.

Tabla 5*Niveles de desempeño esperado de la edificación*

Nivel del Movimiento del Terreno	Niveles de desempeño de la edificación			
	Operacional	Inmediata Ocupación	Seguridad Vital	Estabilidad Estructural
Servicio (SS)				
Diseño (SD)			X	
Máximo (SM)				X

Nota. Adaptación de *ATC 40 – 1996*.

2.3.5 Análisis de la respuesta estructural.

Para lograr una respuesta estructural óptima en edificaciones sometidas a cargas sísmicas, es fundamental considerar la distribución de las fuerzas y los desplazamientos inducidos por los movimientos del suelo, así como los diferentes parámetros de desempeño asociados. Estos análisis deben abordar tanto las demandas sísmicas como la capacidad de la estructura para soportarlas. A continuación, se describen los principales procedimientos de análisis utilizados.

2.3.5.1 Análisis lineal.

2.3.5.1.1 Análisis estático lineal (LSP)

El análisis estático lineal, también conocido como LSP (Linear Static Procedure), se utiliza para determinar las fuerzas sísmicas y su distribución a lo largo de la altura del edificio, así como las fuerzas internas y los desplazamientos resultantes. Este método implica la aplicación de fuerzas pseudosísmicas a un modelo elástico

lineal de la estructura, con el fin de calcular las respuestas estructurales a un nivel de peligro sísmico seleccionado (Chopra, 2012). El objetivo principal de este análisis es obtener desplazamientos, ya que son indicadores más precisos de daño en la región no lineal, en comparación con las respuestas de fuerza. Aunque las fuerzas internas calculadas mediante este método tienden a ser superiores a las reales debido a la respuesta inelástica de la estructura, estas son evaluadas utilizando criterios de aceptación que incluyen factores de modificación y procedimientos alternativos para considerar la capacidad inelástica esperada (ASCE 7-16, 2017).

2.3.5.1.2 Análisis dinámico Lineal (LDP)

El análisis dinámico lineal, o LDP (Linear Dynamic Procedure), se utiliza para determinar las fuerzas sísmicas, su distribución en la estructura, y las fuerzas internas y desplazamientos resultantes mediante un análisis elastodinámico lineal. Este proceso incluye la realización de un análisis del espectro modal utilizando un espectro de respuesta elástico no modificado, lo que permite considerar la respuesta no lineal esperada. Similar al LSP, este método produce desplazamientos cercanos al máximo esperado en un nivel de riesgo sísmico seleccionado, aunque con fuerzas internas generalmente superiores a las obtenidas en estructuras que se comportan de manera elástica. Las fuerzas internas calculadas son evaluadas según criterios de aceptación que contemplan factores de modificación y métodos analíticos alternativos para reflejar las respuestas inelásticas esperadas (FEMA P-58-1, 2018).

2.3.5.2 Análisis no lineal.

2.3.5.2.1 Análisis estático no lineal (NSP)

El análisis estático no lineal, o NSP (Nonlinear Static Procedure), implica la creación de un modelo matemático que incorpora las características de carga-

deformación no lineales de cada componente estructural. Este modelo se somete a cargas laterales crecientes de manera monótona, representando las fuerzas de inercia generadas durante un terremoto hasta alcanzar un desplazamiento específico conocido como desplazamiento objetivo o punto de rendimiento. Las fuerzas internas calculadas a través de este método son más cercanas a las reales, ya que el modelo considera la respuesta inelástica de los materiales. Aunque este procedimiento evita muchos de los errores inherentes a los métodos lineales y permite una estimación más precisa de las demandas inelásticas, no es capaz de representar con total exactitud los cambios en la respuesta dinámica y los patrones de carga inercial a medida que disminuye la rigidez estructural (Chopra, 2012). Por esta razón, la normativa sugiere que cuando se utiliza este análisis en estructuras con una respuesta significativa en modos superiores, se debe complementar con un análisis dinámico lineal para verificar la validez del diseño (ATC-40, 1996).

2.3.5.2.2 Análisis dinámico no lineal (NDP)

El análisis dinámico no lineal, o NDP (Nonlinear Dynamic Procedure), requiere un modelo matemático detallado de la estructura que incorpore las características de carga-deformación no lineales de cada componente. Este modelo es sometido a fuerzas sísmicas utilizando registros de aceleración de movimientos del suelo, lo que permite obtener fuerzas y desplazamientos en función del tiempo. A diferencia del NSP, las respuestas se determinan mediante un análisis tiempo-historia, lo que proporciona una representación más precisa de la respuesta inelástica de la estructura bajo condiciones sísmicas reales. Los cálculos de respuesta son altamente sensibles a los detalles de los registros sísmicos utilizados, por lo que es recomendable emplear múltiples registros para el análisis (ASCE 7-16, 2017). Aunque este método es más preciso, su complejidad computacional lo hace menos práctico para fines de diseño cotidiano, siendo más comúnmente empleado en situaciones donde es crucial comprender el comportamiento no lineal extremo de la estructura.

2.3.6 Diseño sismorresistente según la norma peruana

La Norma Técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) establece las condiciones mínimas necesarias para que las edificaciones diseñadas bajo sus requisitos cuenten con un comportamiento sísmico acorde al concepto del proyecto. Esta normativa se aplica tanto al diseño de nuevos edificios como a la evaluación, refuerzo y rehabilitación de edificaciones existentes que hayan sido dañadas por un terremoto (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2019).

2.3.6.1 Filosofía del diseño sismorresistente actual

La filosofía central del diseño sismorresistente consiste en evitar pérdidas humanas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad. Sin embargo, la norma reconoce que, aunque es posible cumplir con estos objetivos durante sismos de diseño, ante sismos de máxima intensidad esperada, la prioridad es evitar el colapso de la edificación, aun si ello implica aceptar daños significativos (MVCS, 2019).

2.3.6.2 Norma de diseño sismorresistente E.030

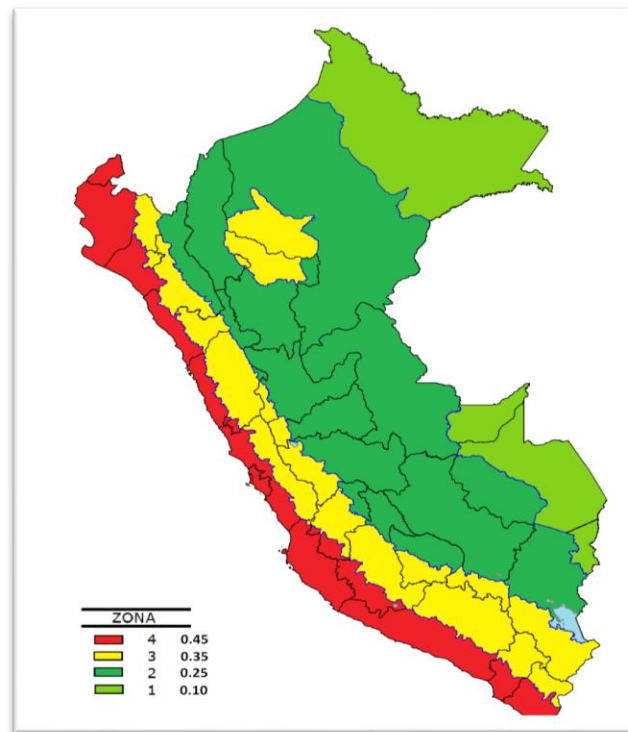
2.3.6.2.1 Zonificación

Según la norma E.030 (2019), Perú se divide en cuatro zonas sísmicas, clasificadas de alta a baja sismicidad. Este factor se basa en la máxima aceleración horizontal esperada en un suelo rígido, con un 10% de probabilidad de ser excedida en un período de 50 años. El mapa de zonificación sísmica muestra que la ciudad de Cusco se encuentra en la Zona 2, lo que implica un nivel de sismicidad moderado. Los factores

de zonificación se encuentran detallados en la tabla de la normativa, y están expresados en función de la gravedad (MVCS, 2019, p. 7).

Figura 13

Mapa de Zonificación sísmica del Perú.



Nota. En el mapa podemos verificar que Cusco se ubica en la zona 2. Fuente: obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 7), Por Ministerio de Vivienda construcción y Saneamiento, 2019.

En la tabla 6 se presenta los valores comparativos de los factores de zonificación. dichos factores están en función de la gravedad.

Tabla 6*Factores de zona*

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Nota. Obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 7), por Ministerio de Vivienda construcción y Saneamiento, 2019.

2.3.6.2.2. Condiciones geotécnicas

Toda edificación está cimentada en un suelo cuyas características influyen directamente en la propagación del movimiento sísmico. Los diferentes estratos de suelo por debajo del nivel de cimentación tienen propiedades que modifican la aceleración sísmica al pasar a través de ellos hasta llegar a la base de la edificación. La norma técnica E.030 considera este fenómeno y lo refleja en la tabla correspondiente a factores de suelos (MVCS, 2019, p. 11).

Tabla 7*Factor de suelos*

Suelo Zona	Factor de Suelos "S"			
	S0	S1	S3	S4
Z4	0.8	1	1.05	1.1
Z3	0.8	1	1.15	1.2
Z2	0.8	1	1.2	1.4
Z1	0.8	1	1.6	2

Nota. Obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 11), por Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2019.

Los parámetros para definir el espectro tenemos los siguientes. TP y TL.

Tabla 8

Factores de amplificación

	Período "TP" y "TL" según el Perfil de Suelo			
	Perfil de Suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp(S)	0.3	0.4	0.6	1
Tl(S)	0.4	2.5	2	1.6

Nota. Obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 11), por Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2019.

2.3.6.2.3 Factor de amplificación sísmica

Las estructuras están sujetas a las amplificaciones sísmicas que ocurren debido a las variaciones en los estratos del suelo desde el origen del movimiento sísmico. El factor de amplificación se calcula en función de los periodos para definir la plataforma y el inicio de la zona del espectro con desplazamiento constante. Estos parámetros son esenciales para determinar el comportamiento dinámico de la estructura ante un evento sísmico (MVCS, 2019, p. 12).

Tabla 9

Factores de amplificación sísmica

Factor de Amplificación Sísmica	
Condición	Factor de Amplificación (C)
$T < T_p$	$C = 2.5$
$T_p < T < T_L$	$C = 2.5 * T_p / T$
$T > T_L$	$C = 2.5 * (T_p * T_L) / T^2$

Nota. Obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 12), por Ministerio de Vivienda construcción y Saneamiento, 2019.

2.3.6.2.4 Categoría de las edificaciones y factor de uso

El objetivo de desempeño o diseño sismorresistente se determina en función de la categoría y el uso de la estructura. La normativa reciente establece que las edificaciones de categoría A1, ubicadas en zonas sísmicas 3 y 4, deben contar con aislamiento sísmico en la base. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable puede decidir si utiliza o no aislamiento sísmico; en caso de no hacerlo, el valor del factor de uso (U) debe ser como mínimo 1.5 (MVCS, 2019, p. 13).

Tabla 10*Categoría de las edificaciones y factor de uso*

Categoría	Descripción	Factor
	A1 Establecimientos de salud del Sector Salud	1
A Edificaciones Esenciales	A2 Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como	1.5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros	1.3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes	1
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares	2

Nota. Obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 13), por Ministerio de Vivienda construcción y Saneamiento, 2019.

2.3.6.2.5 Factor de reducción de fuerzas sísmicas

Las fuerzas laterales de diseño especificadas en los códigos sísmicos son menores que las requeridas para mantener una estructura dentro del rango elástico durante un sismo severo. La Norma E.030 introduce el Factor de Reducción de Fuerzas Sísmicas (R), que se utiliza para ajustar las fuerzas de diseño considerando la capacidad de la estructura para disipar energía a través de la ductilidad y la sobre resistencia. Este factor se determina en función del tipo de sistema estructural y material de la estructura. Las tablas correspondientes de la normativa presentan estos valores y consideran también las diferentes irregularidades estructurales que pueden presentarse (MVCS, 2019, p. 16).

Tabla 11

Factor "R"- según el sistema estructural

Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción
Concreto Armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3

Nota. Obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 16),

por Ministerio de Vivienda construcción y Saneamiento, 2019.

También se incluyen los factores que involucran las diferentes irregularidades que puede presentar la estructura:

Tabla 12*Irregularidades en Altura*

Irregularidad Estructural en Altura	Factor de Irregularidad (Io)
Irregularidad de rigidez - Piso Blando	0.75
Irregularidad de resistencia - Piso Débil	0.75
Irregularidad extrema de rigidez	0.5
Irregularidad extrema de resistencia	0.5
Irregularidad de Masa o Peso	0.9
Irregularidad Geométrica vertical	0.9
Discontinuidad en los sistemas resistentes	0.8
Discontinuidad estructural de los sistemas resistentes	0.6

Nota. Obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 17),

por Ministerio de Vivienda construcción y Saneamiento, 2019.

Tabla 13*Irregularidades en Planta*

Irregularidad Estructural en Planta	Factor de Irregularidad (Ip)
Irregularidad Torsional	0.75
Irregularidad Torsional Extrema	0.6
Esquinas Entrantes	0.9
Discontinuidad del Diafragma	0.85
Sistemas no paralelos	0.9

Nota. Obtenido del *Reglamento Nacional de Edificaciones Normativa E030* (p. 18),

por Ministerio de Vivienda construcción y Saneamiento, 2019.

2.3.6.2.6 Análisis dinámico tiempo historia

El análisis dinámico tiempo-historia puede emplearse como un procedimiento adicional a los establecidos en las cláusulas 28 y 29 de la norma. Este tipo de análisis requiere un modelo matemático detallado de la estructura para considerar directamente el comportamiento histerético de los componentes. La respuesta estructural se determina integrando directamente las ecuaciones de equilibrio a partir de un conjunto de aceleraciones del suelo (MVCS, 2019).

2.3.6.2.7 Registros de aceleraciones

Para el análisis sísmico, la norma E.030 exige el uso de al menos tres conjuntos de registros de aceleración del suelo, cada uno con dos componentes en direcciones ortogonales. Estos registros deben incluir pares seleccionados de componentes de aceleración horizontal y un evento de actualización. Si no se dispone del número requerido de registros reales, se permite el uso de registros ficticios para completar el conjunto necesario. Las historias de aceleración se deben escalar de manera que el valor promedio del espectro de pseudoaceleración resultante no sea inferior al espectro de diseño en el intervalo de periodos de $0,2T$ a $1,5T$ (MVCS, 2019).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1 HIPÓTESIS

3.1.1 Hipótesis general

Si se aplican condiciones dinámicas incrementales al edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, entonces se identificará que el nivel de riesgo sísmico es moderado, lo que permitirá validar que la estructura puede mantener una operatividad segura durante un evento sísmico.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Si se analizan las características estructurales del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC bajo condiciones dinámicas incrementales en 2024, entonces se determinará que la vulnerabilidad estructural es moderada.
- b) Si se integran los registros sísmicos históricos y los estudios geotécnicos del sitio, entonces se establecerá que el peligro sísmico para el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024 excederá los 0.25g.
- c) Si se evalúa el desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC mediante simulaciones avanzadas en 2024, entonces se clasificará como operativo, cumpliendo con los estándares mínimos de seguridad post-sismo.
- d) Si se consideran las normas de diseño sísmico y los resultados del análisis de desempeño, entonces se diseñará un objeto enfocado en la seguridad del edificio ante condiciones dinámicas incrementales en 2024.
- e) Si se comparan las fuerzas en la cedencia y en el diseño de la estructura bajo condiciones dinámicas incrementales en 2024, entonces se demostrará que la fuerza en la cedencia superará en un 20% la fuerza de diseño original.

3.2 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

3.2.1 Identificación de la variable independiente

Condiciones dinámicas incrementales

3.2.1.1 Dimensiones independientes

- **Aceleración máxima:** Es el valor más alto de la aceleración sísmica registrada en un punto específico durante un evento sísmico.

3.2.2 Identificación de la variable dependiente

Riesgo sísmico

3.2.2.1 Dimensiones dependientes.

- **Vulnerabilidad sísmica:** La susceptibilidad del edificio a sufrir daños bajo las condiciones sísmicas determinadas.
- **Peligro sísmico:** La probabilidad de que ocurra un evento sísmico en una región específica y su potencial destructivo.
- **Nivel de desempeño:** Evaluación del comportamiento estructural del edificio ante diferentes niveles de intensidad sísmica.
- **Objetivo de desempeño:** Metas específicas que la estructura debe alcanzar en términos de seguridad y funcionalidad post-sismo.
- **Fuerza cedente:** La fuerza en la cual la estructura comienza a experimentar deformaciones plásticas.
- **Fuerza de diseño:** La carga para la cual la estructura fue originalmente diseñada y construida.

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo cuantitativa y no experimental. Se enfoca en la evaluación del desempeño sísmico de una edificación educativa mediante el Análisis Dinámico Incremental (IDA). Este enfoque permite identificar y cuantificar la vulnerabilidad estructural, el peligro y el desempeño sísmicos del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC bajo diferentes escenarios sísmicos. La metodología incluye la recopilación de datos sísmicos históricos, el uso de software especializado para modelación estructural y la ejecución de análisis no lineales incrementales, proporcionando una evaluación exhaustiva del riesgo sísmico.

3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación de esta tesis es descriptivo-correlacional. Se describe detalladamente el comportamiento sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC, evaluando su desempeño estructural bajo diferentes escenarios sísmicos. Además, se exploran las correlaciones entre variables clave como la vulnerabilidad estructural, el peligro sísmico y la fuerza en la cedencia, proporcionando una comprensión profunda de cómo estas variables interactúan y afectan la respuesta del edificio ante eventos sísmicos.

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es no experimental y correlacional. Se basa en la observación y análisis de datos históricos sísmicos y las características estructurales del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC. Utilizando software especializado para la modelación estructural, se realiza un Análisis Dinámico Incremental (IDA) para evaluar el desempeño sísmico del edificio. El diseño

correlacional permite explorar las relaciones entre variables como la vulnerabilidad estructural, el peligro sísmico y el desempeño estructural, proporcionando una comprensión profunda de cómo estas variables interactúan y afectan la respuesta del edificio ante eventos sísmicos.

3.6 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

El ámbito de la investigación es geográfico y se centra en la ciudad de Cusco, Perú, específicamente en el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). La investigación se lleva a cabo en el contexto sísmico de la región, evaluando la vulnerabilidad y desempeño estructural del edificio bajo diferentes escenarios sísmicos.

El tiempo social de la investigación abarca desde la recolección de datos históricos sísmicos hasta la realización de análisis y simulaciones estructurales. Esta investigación es relevante en el contexto actual debido a la necesidad de mejorar la seguridad sísmica de las infraestructuras educativas en Cusco y proyecta sus resultados para futuras mejoras en el diseño y construcción de edificios en regiones sísmicamente activas.

3.7 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.7.1 Unidad de estudio

La unidad de estudio de la investigación es el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Este edificio, ubicado en la ciudad del Cusco, es objeto de análisis para evaluar su desempeño sísmico y determinar su vulnerabilidad estructural y capacidad de resistencia ante eventos sísmicos.

- **Descripción física:** El edificio de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) es una estructura de 8 niveles y 1 semi sótano. Este edificio alberga aulas, talleres de televisión y radio, gabinetes de informática, un salón de usos múltiples, una biblioteca y áreas docente-administrativas. El sistema estructural está compuesto por columnas, muros de corte y vigas de concreto armado, diseñado para resistir fuerzas verticales (cargas gravitacionales) y laterales (acción sísmica).
- **Localización:** El edificio está ubicado en la ciudad de Cusco que es una región con alta actividad sísmica, lo que hace crucial la evaluación de la resistencia y comportamiento sísmico de las estructuras allí situadas.
- **Historial sísmico:** La ciudad de Cusco ha experimentado varios sismos significativos a lo largo de su historia. Entre los eventos más notables se encuentran los sismos del 31 de marzo de 1650 y del 21 de mayo de 1950, que causaron importantes daños en la ciudad. Además, el sismo del 05 de abril de 1986 tuvo una magnitud de 5.4 Mw y causó daños considerables, destacando la necesidad de una construcción sísmicamente resiliente.
- **Normativas y códigos:** El diseño y evaluación sísmica del edificio se basan en normativas internacionales y nacionales. Entre las normas utilizadas se incluyen: ACI 318-19 para el diseño de concreto estructural; ASCE 41-17 para la evaluación sísmica y refuerzo de edificios existentes y Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) de Perú, que proporciona directrices específicas para el diseño y construcción en zonas sísmicas, incluyendo la normativa E030 para diseño sísmico y otros factores de seguridad estructural.

3.7.2 Población

La población se refiere a todas las edificaciones educativas en Cusco, que potencialmente comparten características similares en términos de diseño estructural y exposición a riesgos sísmicos. Esto incluye no solo el edificio específico de la Facultad de Comunicaciones, sino también otras infraestructuras educativas en la misma región.

3.7.3. Muestra

La muestra seleccionada corresponde al edificio de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), el cual se encuentra actualmente en proceso de construcción. Este edificio ha sido elegido por conveniencia del autor, considerando su accesibilidad, disponibilidad de información y relevancia dentro del contexto educativo de la región, así como por la necesidad de una evaluación predictiva, que ayude a anticipar el comportamiento estructural y a diseñar edificaciones más seguras y resilientes antes de su construcción.

3.8 PROCEDIMIENTOS, TECNICAS E INSTRUMENTOS

3.8.1 Procedimientos

A continuación, describimos los procedimientos para el cumplimiento del marco metodológico.

3.8.1.1 Recopilación de datos

Para llevar a cabo esta investigación, se ha realizado una exhaustiva recopilación de datos. En primer lugar, se han recopilado registros sísmicos históricos de las zonas cercanas a la región del Cusco. Estos datos proporcionan un contexto fundamental sobre la actividad sísmica en la zona y permiten una mejor comprensión de los posibles impactos sísmicos en la estructura estudiada.

Además, se han documentado meticulosamente las características físicas y estructurales del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Este proceso incluyó la revisión de planos arquitectónicos y estructurales, así como la identificación de las especificaciones de los materiales utilizados en la construcción. La información obtenida a partir de esta documentación es crucial para la creación de un modelo estructural preciso y para la evaluación del comportamiento sísmico del edificio.

3.8.1.2 Modelación y simulación estructural

Para esta investigación, se ha llevado a cabo la creación de un modelo estructural detallado del edificio mediante la utilización de software especializado Etabs V18. Este software permite la construcción de modelos tridimensionales precisos que representan fielmente las características físicas y estructurales del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC.

Una vez creado el modelo, se ha realizado un análisis modal con el objetivo de determinar las propiedades dinámicas de la estructura. Este análisis es esencial para identificar los periodos de vibración y las formas modales, que son fundamentales para comprender cómo responde la estructura a las fuerzas sísmicas.

Además, se ha implementado un Análisis Dinámico Incremental (IDA), el cual consiste en la realización de análisis no lineales incrementales. Este método permite

evaluar el comportamiento estructural del edificio bajo diferentes niveles de demanda sísmica, proporcionando una visión detallada de cómo la estructura puede responder a eventos sísmicos de diversas magnitudes.

3.8.1.3. Evaluación del desempeño sísmico

En esta investigación, se han establecido criterios de desempeño basados en normativas reconocidas para evaluar la capacidad y la respuesta sísmica del edificio. Estos criterios de desempeño proporcionan un marco de referencia para clasificar el comportamiento estructural del edificio bajo diferentes escenarios sísmicos, asegurando que la evaluación se realice de acuerdo con estándares internacionales.

Además, se han generado curvas de capacidad, las cuales representan la relación entre la demanda sísmica y la capacidad estructural del edificio. Estas curvas son esenciales para entender cómo la estructura puede soportar diferentes niveles de carga sísmica y ayudan a identificar los puntos críticos en los que la capacidad estructural puede verse comprometida. La generación de estas curvas permite una evaluación detallada y precisa del desempeño sísmico del edificio.

3.8.1.4 Análisis de resultados

En esta investigación, uno de los aspectos clave ha sido el cálculo de los desplazamientos máximos y las derivas de entrepiso. Este procedimiento se ha llevado a cabo utilizando técnicas de análisis de resultados de simulación, lo que permite determinar cómo se comporta la estructura ante cargas sísmicas dinámicas para evaluar los desplazamientos y determinar si se mantiene dentro de los límites permisibles para evitar daños significativos.

Paralelamente, se ha realizado una evaluación de las fuerzas internas y los momentos en las vigas críticas de la edificación. Este procedimiento ha involucrado el

análisis de los esfuerzos a los que están sometidos estos componentes durante un sismo, utilizando técnicas que garantizan la identificación precisa de los puntos de mayor rotación y potencial debilidad en la estructura.

Finalmente, se ha llevado a cabo una evaluación de la vulnerabilidad estructural del edificio, con el objetivo de identificar zonas críticas que podrían verse comprometidas durante un evento sísmico. Este procedimiento ha incluido la evaluación de la capacidad y la demanda sísmica. Esta evaluación es fundamental para garantizar la seguridad y la integridad del edificio en condiciones sísmicas adversas.

3.8.2 Técnicas

En el desarrollo de esta investigación, se ha implementado la modelación computacional mediante el uso de software especializado, lo que ha permitido simular de manera precisa el comportamiento estructural del edificio bajo diferentes condiciones. Este enfoque ha sido fundamental para comprender cómo responde la estructura a las cargas dinámicas aplicadas y para prever su desempeño en situaciones reales.

Para evaluar las propiedades dinámicas y el desempeño estructural bajo cargas sísmicas incrementales, se han utilizado métodos como el análisis modal y el Análisis Dinámico Incremental no lineal. Estos métodos han proporcionado información detallada sobre los periodos de vibración, las formas modales, y la capacidad de la estructura para soportar diferentes niveles de demanda sísmica, lo cual es crucial para garantizar su estabilidad y seguridad.

Además, se ha utilizado la generación de curvas IDA (Incremental Dynamic Analysis) como técnica para representar cómo varía el desempeño estructural a medida que se incrementa la intensidad sísmica. Estas curvas proporcionan una visión detallada

del comportamiento no lineal de la estructura, destacando los puntos en los que la capacidad estructural puede verse comprometida.

Las técnicas mencionadas han sido vitales para validar los resultados de la simulación y asegurar que las conclusiones obtenidas son consistentes y reflejan con precisión el comportamiento real de la estructura bajo eventos sísmicos.

3.8.3 Instrumentos

En esta investigación se han utilizado diversos instrumentos para garantizar un análisis estructural preciso y detallado del edificio en estudio. Uno de los principales recursos empleados es el software de modelación ETABS v18, el cual ha sido fundamental para el análisis, diseño y modelado de sistemas estructurales. Este software permite la creación de un modelo tridimensional detallado de la estructura, capturando todas las características esenciales necesarias para el estudio sísmico.

Para la simulación de eventos sísmicos, se seleccionaron 07 pares de registros sísmicos representativos de la zona de Cusco, incluyendo registros como Caravelí XX, Espinar YY, Sullana XX, Ayaviri YY, entre otros. Estos registros fueron cuidadosamente elegidos para reflejar las condiciones sísmicas específicas de la región y proporcionar datos realistas para el análisis.

Además, se utilizaron software de tratamiento de señales sísmicas como SeismoSignal y SeismoMatch. Estos programas fueron empleados para la corrección de la línea base, el filtrado de ruidos, el ajuste espectral y el escalamiento de sismos. Estas herramientas permitieron simular diferentes niveles de intensidad sísmica, proporcionando un rango completo de escenarios para evaluar la respuesta estructural.

En cuanto a la instrumentación virtual, se establecieron puntos de control mediante nodos y elementos vigas en los niveles críticos de la estructura. Estos puntos de control fueron esenciales para registrar datos durante las simulaciones, incluyendo la medición de derivas de entrepiso, desplazamientos absolutos y aceleraciones de piso.

También se recurrió a datos geotécnicos y estructurales detallados, que incluyeron planos arquitectónicos y estructurales con información sobre dimensiones, secciones transversales y especificaciones de materiales. Además, se definieron las propiedades mecánicas del concreto y acero de acuerdo con las normativas ACI 318-19 y ASTM A-36, asegurando que los materiales utilizados en el modelo reflejan con precisión las características del edificio real.

Finalmente, la investigación se basó en normativas de referencia como la ASCE 41-17, que proporciona directrices para la evaluación y refuerzo sísmico de edificios existentes, y la FEMA P-58, que ofrece un marco para la evaluación del riesgo sísmico y el desempeño de estructuras bajo diferentes niveles de intensidad sísmica. Estas normativas fueron cruciales para orientar la evaluación del desempeño estructural y garantizar que el análisis cumpla con los estándares internacionales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 DESCRIPCION DEL TRABAJO DE CAMPO

Para el Análisis Dinámico Incremental de la edificación, se desarrolló un modelo tridimensional detallado de la estructura utilizando software especializado en análisis estructural. Se definieron con precisión las propiedades de los materiales y se aplicaron cargas sísmicas incrementales, simulando la respuesta del edificio ante diferentes intensidades sísmicas. Además, se incluyeron no linealidades geométricas y de material, garantizando una representación precisa del comportamiento estructural. Los resultados obtenidos permitieron evaluar la capacidad y resistencia del edificio en distintos escenarios sísmicos acorde a los objetivos de la investigación.

A continuación, se describe cada fase realizada.

4.1.1 Características del edificio de estudio

La propuesta contempla la construcción de un pabellón de 8 niveles y 1 semi sótano para la Facultad de Comunicación Social e Idiomas, que incluirá aulas, talleres de televisión y radio, gabinetes de informática, salón de usos múltiples, biblioteca y área docente-administrativa.

Figura 14

Vista en perspectiva de la fachada principal del edificio.



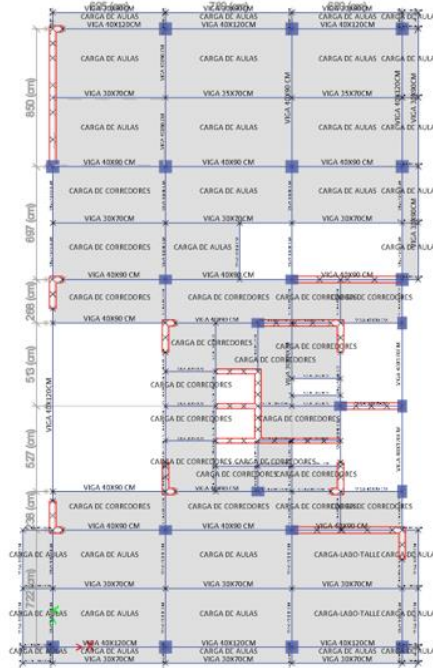
Nota. Elaboración propia.

El proyecto estructural se centra en el bloque B (ver Fig. 14). Se diseñó un sistema estructural de columnas, muros de corte y vigas de concreto armado, basado en pórticos. Considerando que Cusco es una zona sísmica, se utilizaron vigas de entrepiso de 30 cm de base y 80 cm de peralte, y columnas con espesores de 40 cm, adaptadas a la distribución arquitectónica. La configuración estructural está diseñada para resistir fuerzas verticales (cargas gravitacionales) y laterales (acción sísmica), conforme al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). El sistema estructural

tridimensional incluye placas de corte, columnas y vigas, cumpliendo con los requisitos normativos.

Figura 15

Nivel de piso típico (2° al techo)



Nota. Imagen obtenida de software Etabs V18 *Computers and Structures inc.*

La tabla 14 exhibe las características mecánicas de resistencia de los materiales utilizados. Existe una distinción entre los valores de diseño y los valores probables o esperados. Los valores de diseño se utilizan para realizar el análisis elástico de primer orden, mientras que los valores probables se emplean en el análisis inelástico de segundo orden.

Tabla 14*Especificaciones generales de los materiales*

Elementos	fc/fy (kg/cm ²) Valor de diseño
Losas y Vigas de cimentación	350
Vigas, Columnas, Losas y Placas	280
Acero de Refuerzo	4200
Módulo de Poisson	u = 0.15
Peso específico del Concreto Simple	2300
Peso específico del Concreto Reforzado	2400
Módulo de Elasticidad del acero	E = 2100000

Nota. Elaboración propia; es importante señalar que los valores de las propiedades de los materiales, tales como la resistencia a compresión del concreto (**f'c**) y el límite elástico del acero de refuerzo (**fy**), indicados en la Tabla 14, se basan en los planos estructurales del proyecto y no en ensayos físicos. Estos valores se utilizan en la fase de diseño para realizar el análisis estructural, conforme a lo establecido en la **Norma E060: Concreto Armado** del Reglamento Nacional de Edificaciones y otras normativas aplicables, como el **ACI 318-19**. Los ensayos de los materiales se llevarán a cabo durante la ejecución de la obra, según los procedimientos de control de calidad establecidos en las normativas nacionales.

4.1.2 Creación del modelo lineal de la edificación en estudio

El modelo computacional estructural se desarrolló utilizando el software ETABS V18. Este modelo incluye tanto la estructura del Bloque B y un semisótano. La Tabla 15 detalla los tipos de elementos utilizados para representar las placas, columnas, vigas y losas del techo.

Tabla 15*Representación de los componentes estructurales*

Elemento	Representación	Justificación
Placas	Elemento Shell Thin	Captura de manera precisa las deformaciones por corte en estructuras sin aberturas y con relación longitud/espesor < 10 , garantizando un modelado eficiente.
Columnas – Vigas	Elemento Frame	Ideal para modelar columnas y vigas, capturando deformaciones y esfuerzos por corte, torsión, sollicitaciones axiales y flexión biaxial de manera eficiente.
Losas	Elemento Membrana	Se utiliza para modelar losas, despreciando la rigidez fuera del plano y permitiendo transferir el 100% de la carga vertical a las vigas.

Nota. Elaboración propia.

En la tabla que se presenta a continuación, se detallan los valores de las cargas verticales que la estructura sostiene, las cuales se clasifican en cargas permanentes y variables. Por una parte, las cargas muertas incluyen el peso inherente de los elementos tanto estructurales como no estructurales. La tabla 16 muestra las cargas muertas tomadas en consideración. Por otra parte, la carga viva se refiere a la carga distribuida en los distintos espacios y contemplada en la normativa E020.

Tabla 16*Cargas vivas y muertas de la edificación*

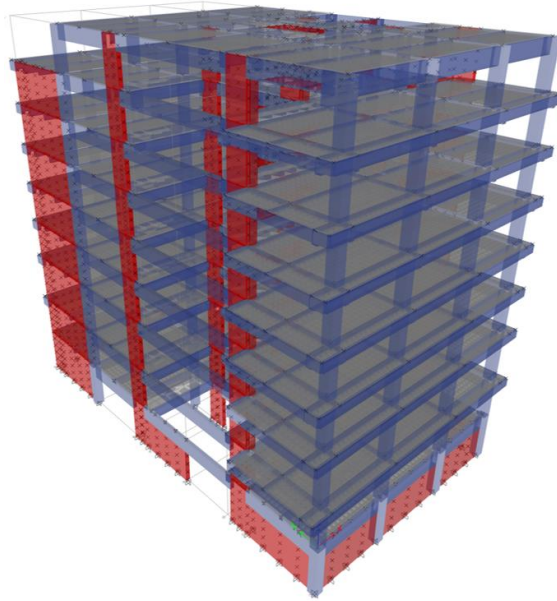
Elementos	Peso específico/Peso por unidad de área
Losas aligeradas de 0.25 metros	350 kg/m ²
Pisos terminados de 0.05 m	100 kg/m ²
Tabiques de ladrillo de cabeza	1450 kg/m ²
Elementos de concreto simple	2.30 tn/m ³
Elementos de concreto armado	2.40 tn/m ³
Sobrecarga aulas	250 kg/m ²
Sobrecarga corredores	400 kg/m ²
Sobrecarga techo	100 kg/m ²
Sobrecarga unidades de ladrillo techo	120 kg/m ²
Sobrecarga falso piso acabado	150 kg/m ²

Nota. Elaboración propia; Los valores de sobrecargas han sido calculados y establecidos de acuerdo con las disposiciones de la **Norma E020: Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) de Perú**, la cual regula las cargas muertas y vivas aplicables en edificaciones, garantizando el cumplimiento de los estándares nacionales para el diseño estructural.

La figura 16 muestran la vista 3D del modelo estructural del bloque B desarrollado en el software Etabs V18.

Figura 16

Modelo computacional bloque B.



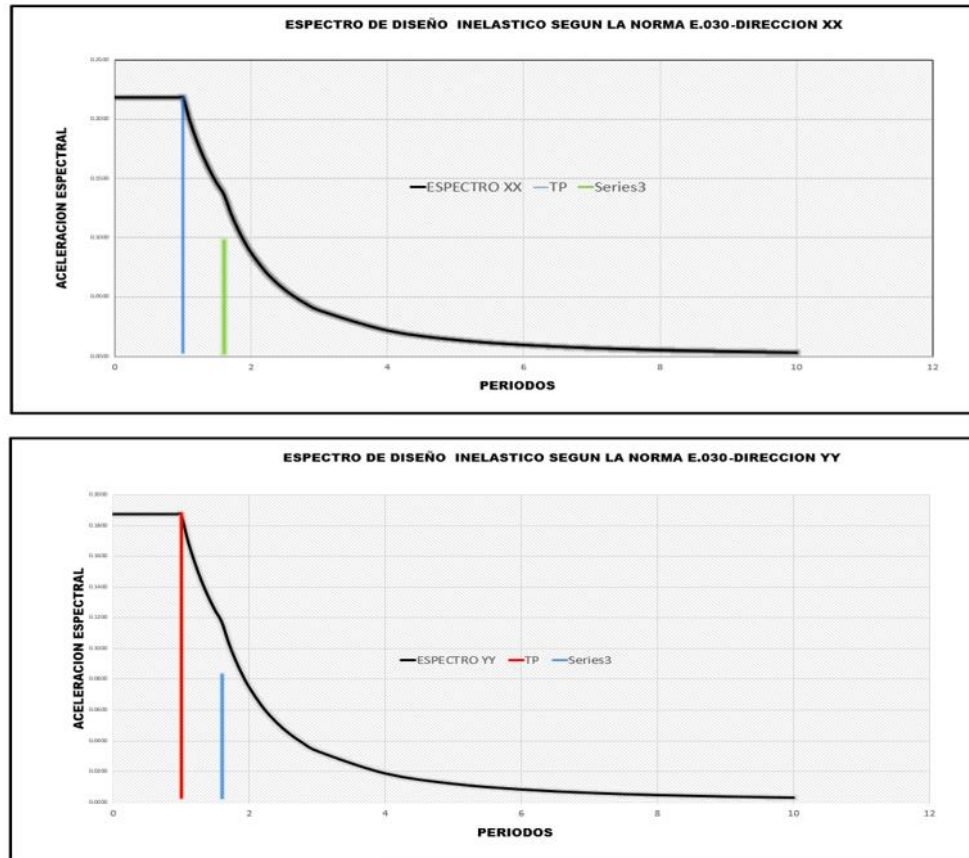
Nota: Imagen obtenida de software Etabs V18 *Computers and Structures inc.*

4.1.3 Análisis estático – dinámico lineal.**4.1.3.1 Caracterización del peligro sísmico**

El peligro sísmico se define mediante espectros de respuesta obtenidos de eventos sísmicos específicos. Las ordenadas espectrales utilizadas en el análisis elástico (figuras 17) se derivaron de los parámetros sísmicos establecidos en la norma E.030 de Diseño Sismorresistente.

Figura 17

Espectro de respuesta de diseño – dirección XX y dirección YY



Nota: Elaboración propia

4.1.3.2 Evaluación del comportamiento estructural

El análisis estático lineal y el análisis dinámico lineal se llevaron a cabo de manera independiente en las direcciones ortogonales principales. A continuación, se presentan las consideraciones del análisis.

- **El peso sísmico:** Se define como la combinación del peso total de la carga permanente y la mitad del peso de la carga variable, ya que se trata de una estructura de categoría A.
- **Análisis modal espectral dinámico:** Se utilizó el criterio de combinación CQC y se tomó en cuenta una excentricidad accidental del 0%, ya que no se encontraron irregularidades en la distribución de la planta y la altura.
- **Desplazamientos horizontales:** Los desplazamientos laterales se calcularon multiplicando los resultados del análisis lineal por 0.75 veces el coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas ($R=6$).
- **Fuerza cortante en la base:** Se aplicó el 80% de la fuerza calculada basada en las fuerzas estáticas equivalentes.

Tabla 17*Peso Efectivo de la Edificación*

Nivel	Carga	Suma de Peso (Tn)	Peso por Nivel (Tn)	Altura (m)
Nivel 09	Peso sísmico	1306.07	1306.07	4
Nivel 08	Peso sísmico	2775.84	1469.78	4
Nivel 07	Peso sísmico	4130.95	1355.11	4
Nivel 06	Peso sísmico	5507.15	1376.19	4
Nivel 05	Peso sísmico	6855.1	1347.96	4
Nivel 04	Peso sísmico	8216.37	1361.26	4
Nivel 03	Peso sísmico	9693.48	1477.11	4
Nivel 02	Peso sísmico	11014.9	1321.42	4
Nivel 01	Peso sísmico	12652.28	1637.38	4.6
		Peso Total	12652.28	36.6

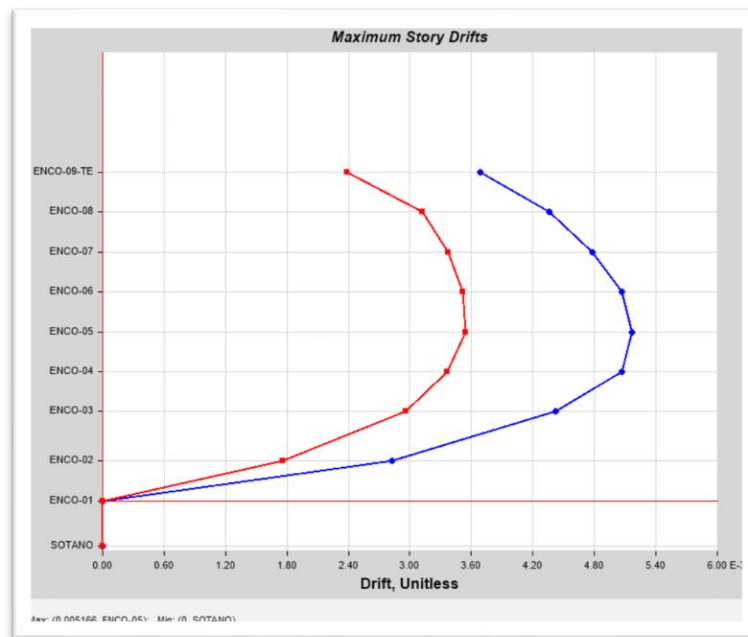
Nota. Elaboración propia.

Tabla 18*Fuerza cortante mínima para diseño*

	Cortante Estático (Tn)	Cortante Estático (80%) (Tn)	Cortante Dinámico (Tn)	Factor de Escala (Tn)
Dirección X	2767.69	2214.15	1615.96	1.37
Dirección Y	2372.3	1897.84	1478.72	1.283

Nota: Elaboración propia

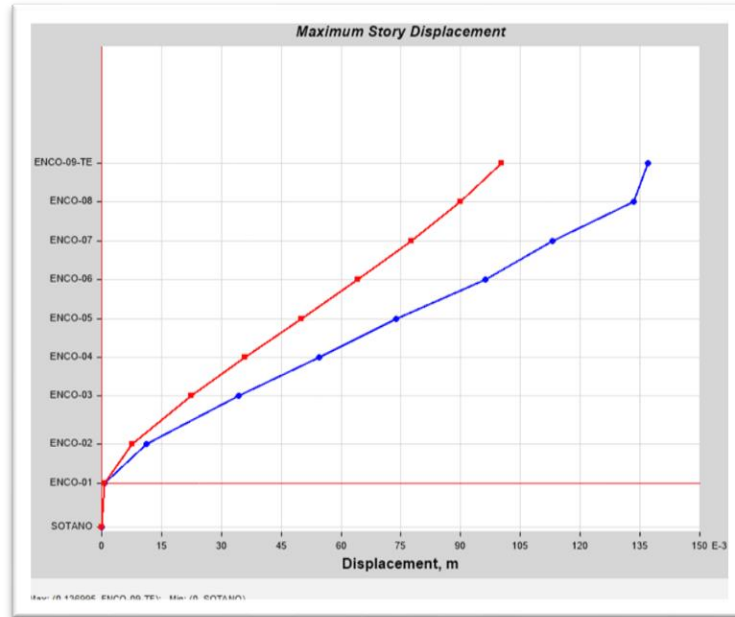
Las figuras 18 y 19 muestran los movimientos horizontales y desplazamientos de los entrepisos en cada piso del edificio. El valor máximo de las desviaciones se observa en el quinto nivel y en la dirección X.

Figura 18*Derivas de entrepiso: análisis lineal.*

Nota. Imagen obtenida de software *Etabs V18 Computers and Structures inc.*

Figura 19

Desplazamientos laterales: análisis lineal.



Nota: Imagen obtenida de software *Etabs V18 Computers and Structures inc.*

4.1.4 Creación del modelo no lineal

4.1.4.1 Definición de materiales

Para la determinación de las propiedades no lineales de los materiales de concreto y aceros utilizados en el modelo estructural. El objetivo es ajustar el modelo de análisis lineal o de primer orden previo a uno no lineal, esencial para capturar con precisión el comportamiento real de la estructura bajo cargas extremas.

Tabla 19*Propiedades de concreto y acero*

Propiedad	Concreto	Acero
Resistencia	f'_c de 280 kg/cm ² y 350 kg/cm ² , ajustable según normas ASTM	ASTM A615 Grado 60
Endurecimiento	Puede aumentar su resistencia un 20% después de un año	No aplicable
Modelos de Comportamiento	Incluye estados confinados y no confinados, siguiendo recomendaciones de Mander	Comportamiento plástico, endurecimiento y posterior ablandamiento
Deformación Última	4% (0.004) según Mander	Deformación última especificada para el modelo plástico
Histéresis y No Linealidad	Incluidos en el modelo para evaluar daño y deformaciones	Incluidos en el modelo para evaluar fluencia, endurecimiento y ablandamiento

Nota. Elaboración propia.

4.1.4.2 Modelos de plasticidad para elementos estructurales

Para el presente estudio se ha considerado el enfoque de plasticidad distribuida, En este modelo, la no linealidad se distribuye a lo largo de todo el elemento estructural. Un enfoque común dentro de este modelo es el "tipo fibra", donde el comportamiento de cada fibra de concreto y acero dentro de la sección transversal se evalúa individualmente. Este método ofrece una representación más detallada del comportamiento estructural, pero requiere mayor capacidad computacional.

Tabla 20

Cuadro de plasticidad distribuida en columnas y vigas (tipo Fibra)

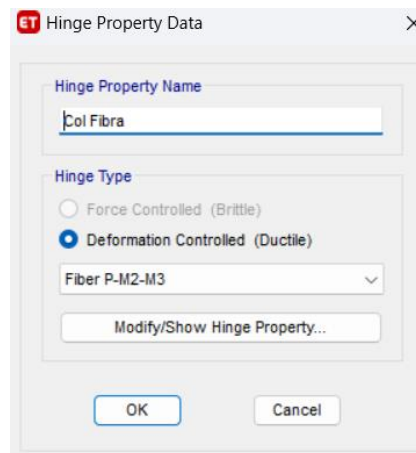
Aspecto	Columnas	Vigas
Modelo Utilizado	Tipo Fibra	Rótula Plástica Concentrada
Descripción	La no linealidad se distribuye a lo largo de toda la sección de la columna, evaluando cada fibra de concreto y acero individualmente.	La no linealidad se concentra en rótulas plásticas ubicadas en los extremos de las vigas.
Precisión del Modelo	Alta precisión debido a la evaluación detallada de cada fibra.	Menor precisión comparado con el tipo fibra, pero adecuado para el análisis general de vigas.

Nota. Elaboración propia.

En la figura 20 y 21 se describe la configuración para el modelado de las rotulas en el software Estructural Etab V18.

Figura 20

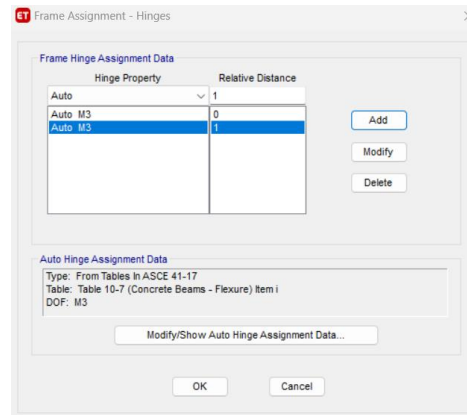
Rotula tipo fibra en columnas



Nota. Imagen obtenida de software *Etabs V18 Computers and Structures inc.*

Figura 21

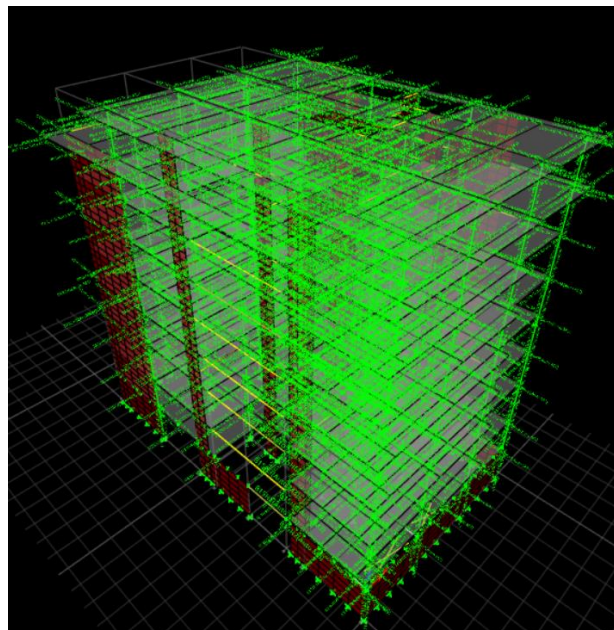
Rotula plástica automática en vigas.



Nota. Imagen obtenida de software *Etabs V18 Computers and Structures inc.*

Figura 22

Modelo tridimensional de la edificación con rotulas en columnas y vigas.



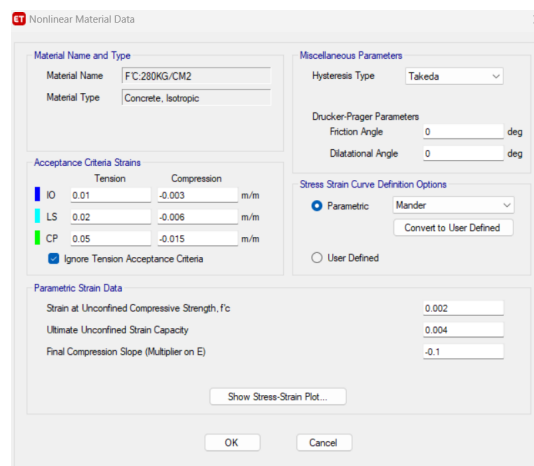
Nota. Imagen obtenida de software *Etabs V18 Computers and Structures inc.*

4.1.4.3 Efecto cíclico en elementos estructurales

El estudio del efecto cíclico en elementos estructurales mediante modelos concentrada y tipo fibra, con un enfoque particular en el modelo de Takeda, proporciona una comprensión detallada del comportamiento no lineal y la energía disipada bajo cargas cíclicas en concreto y acero.

Figura 23

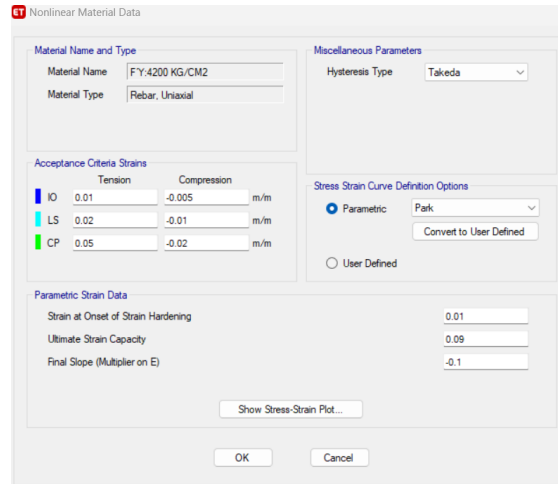
Configuración de la histéresis tipo Takeda en concreto.



Nota: Imagen obtenida de software *Etabs V18 Computers and Structures inc.*

Figura 24

Configuración de la histéresis tipo Takeda en acero.



Nota: Imagen obtenida de software *Etabs V18 Computers and Structures inc.*

4.1.4.4 Creación del caso de carga no lineal por gravedad

En la tabla 21 abordamos la creación de un caso de carga por gravedad en un modelo estructural no lineal, destacando la importancia de considerar correctamente. Las cargas gravitatorias y sísmicas deben ser consideradas de acuerdo con las especificaciones de la normativa ASCE 41-17.

Tabla 21*Creación de caso de carga por gravedad no lineal en un modelo estructural*

Aspecto	Descripción
Modelo Lineal a No Lineal	El modelo inicial es lineal y luego se ajusta a uno no lineal, definiendo la plasticidad y propiedades del material.
Cargas de Gravedad	Las cargas de gravedad incluyen el 100% de la carga muerta y el 50% de la carga viva, siguiendo las recomendaciones para edificaciones importantes.
Normativa ASCE 41-17	Se hace referencia a la sección 7.2.2 de la normativa ASCE 41-17, que establece las consideraciones para incluir las cargas de gravedad junto con las cargas sísmicas.
Definición del Caso de Gravedad	Se crea un nuevo caso de carga llamado "Gravedad" en el software de análisis estructural, configurado como un análisis lineal estático desde una posición sin deformar.
Resultados Iniciales	Los resultados del análisis muestran cargas axiales distribuidas en las columnas con valores consistentes, lo cual confirma la correcta aplicación de las cargas de gravedad.
Verificación de Resultados	Se verificó los resultados mediante diagramas de momentos y cortes para asegurar que las cargas aplicadas se distribuyan adecuadamente en los elementos estructurales

Nota: Elaboración propia.

4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

En este apartado, se detalla el proceso metodológico utilizado para configurar y obtener los resultados derivados del Análisis Dinámico Incremental (IDA) y de la evaluación de la respuesta estructural del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC. La descripción incluye la creación y calibración del modelo estructural no lineal, así como la implementación de rótulas plásticas en los elementos relevantes; que se pueden verificar gráficamente el procedimiento en el apéndice 3. Asimismo, se explican los criterios empleados en la selección de los registros sísmicos y la configuración de las cargas incrementales, poniendo énfasis en las metodologías que

permiten capturar de manera precisa el comportamiento elástico y plástico de la estructura.

4.2.1 Análisis Dinámico Incremental

4.2.1.1 Tratamiento de registros sísmicos

La modificación de registros mediante el ajuste espectral se inicia con la elección de siete señales, siguiendo lo establecido en la normativa ASCE 41-17. Los criterios de selección se fundamentan en el tipo de suelo y el modo de fallo. La Tabla 22 muestra las señales elegidas. Cada una de las señales fue ajustada tanto en su nivel base como en su rango de frecuencias.

Tabla 22

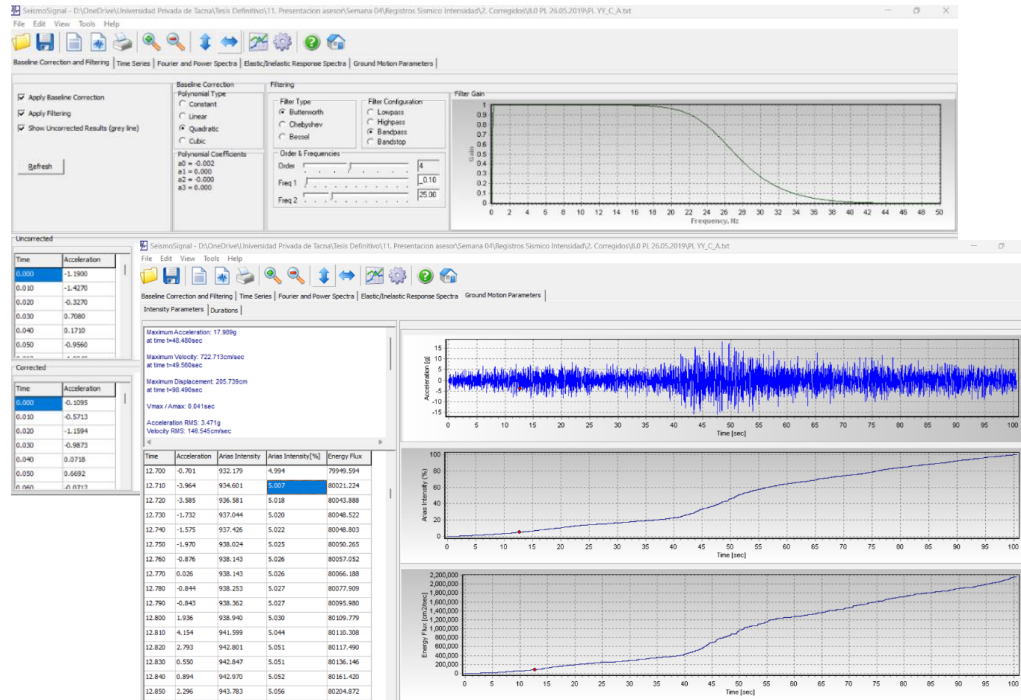
Registros sísmicos empleados en el estudio

Señal	PGA (g)	Duración (s)	Fuente
Caravelí 19NS	0.89	171.76	IGP
Caravelí 19EW	0.97	171.76	IGP
Espinar 16NS	5.83	220.00	IGP
Espinar 16EW	5.97	220.00	IGP
Sullana 22NS	80.54	61.88	IGP
Sullana 22EW	45.90	61.88	IGP
Ayaviri 22NS	3.88	118.79	IGP
Ayaviri 22EW	3.48	118.79	IGP
Alto Purús 18NS	3.16	173.01	IGP
Alto Purús 18EW	2.94	173.01	IGP
Sta. María 21NS	20.65	250.01	IGP
Sta. María 21EW	24.14	250.01	IGP
PL 19NS	20.08	452.94	IGP
PL 19EW	21.93	452.94	IGP

Nota. Elaboración propia.

Figura 25

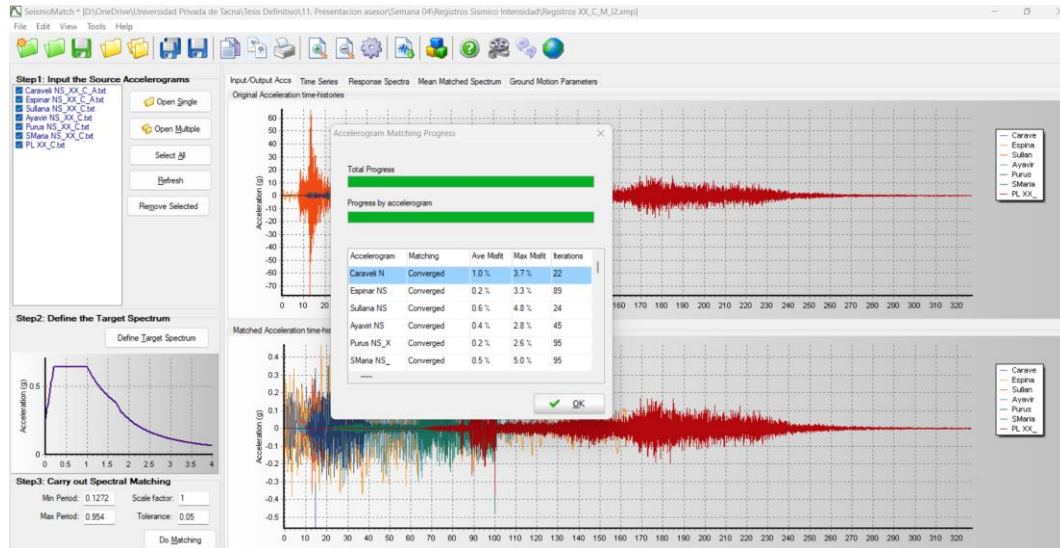
Corrección de línea base, filtrado de ruidos e intensidad de arias.



Nota. Imágenes obtenidas del software *Seismo Signal V.4.3.0 – Seismosoft*.

Figura 26

Escalamiento de sismos.



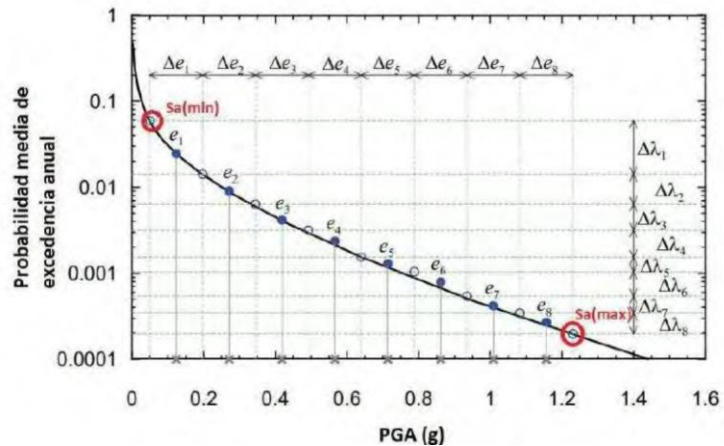
Nota. Imagen obtenida del software *Seismomatch 2018- Seismosoft*.

4.2.1.2 Definición de los niveles de intensidad

Los espectros sísmicos asociados a cada uno de los ocho niveles de peligro sísmico presentan ordenadas espectrales con igual probabilidad de ocurrencia. El proceso de determinar estos espectros inició con la identificación del intervalo de probabilidades de excedencia anual. Los límites inferiores y superiores de este intervalo fueron determinados siguiendo las pautas de la ASCE 41-17 (2017) y se muestran en la figura 27. La gráfica de riesgo sísmico presentada está vinculada al periodo fundamental de la estructura examinada y toma en cuenta un coeficiente de amortiguamiento del 5%.

Figura 27

Determinación de los niveles de peligro sísmico.



Nota. Adaptado de Fema P-58-1, 2018, *Applied Technology Council*, EE. UU., derechos reservados.

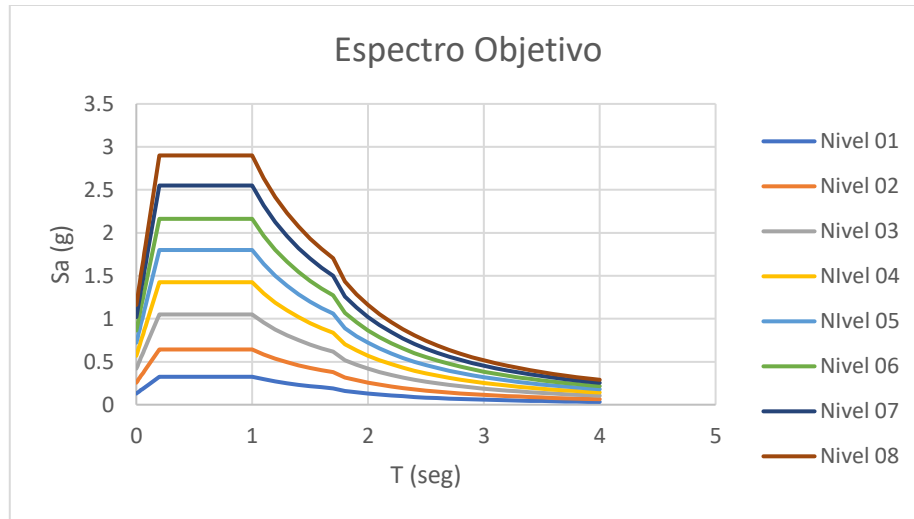
Luego, a partir de los valores máximos y mínimos del rango de probabilidades de excedencia y lo establecido por (Fema P58-1, 2018), se calcularon las aceleraciones espectrales y los períodos de retorno correspondientes a cada nivel de riesgo sísmico. Lo mencionado anteriormente se resume en la tabla número 23. El término "Sa" se refiere a la aceleración espectral.

Tabla 23*Grados de amenaza sísmica: Sa-T*

Nivel	Sa*(g)	PGA (g)	P(x>Z)	Periodo de Retorno
1	0.1247	0.13	0.025	40
2	0.2741	0.257	0.0085	118
3	0.4234	0.42	0.004	250
4	0.5722	0.57	0.0025	400
5	0.7222	0.72	0.0014	714
6	0.8716	0.865	0.0007	1429
7	1.0209	1.02	0.00038	2632
8	1.1703	1.16	0.00023	4348

Nota. Elaboración propia

La figura 28 exhibe los espectros de respuesta correspondientes a cada nivel de riesgo sísmico. A partir de las mencionadas curvas, las señales fueron ajustadas en escala de manera que la media geométrica de sus espectros se adecue a la forma de los espectros deseados. Los valores más bajos y altos del rango de ajuste analizado son $0.2T_{min} = 0.2 \times 0.636 = 0.1272 \text{seg}$ y $1.5T_{max} = 1.5 \times 0.636 = 0.954 \text{seg}$

Figura 28*Espectros objetivo del estudio.***Nota.** Elaboración propia.

4.2.2 Respuesta estructural de la edificación

Determinar la respuesta estructural mediante un análisis no lineal dinámico y el uso de curvas IDA permite obtener una evaluación detallada del comportamiento de la estructura bajo cargas sísmicas. Este enfoque proporciona información crucial sobre la ductilidad, la capacidad de absorción de energía y los puntos de falla potenciales, lo cual es esencial para diseñar estructuras seguras y resistentes a sismos.

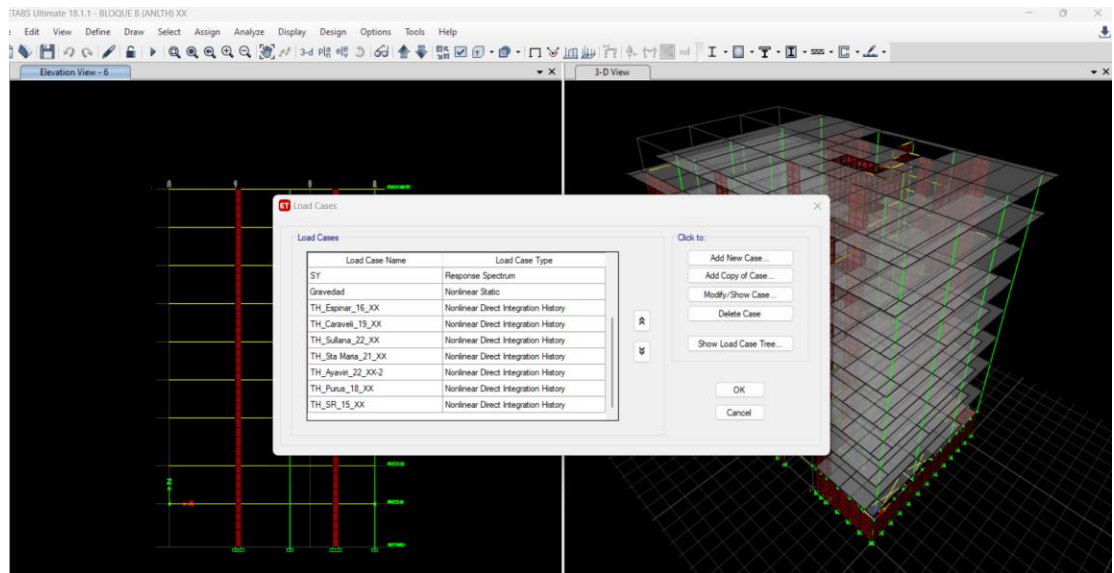
La solución estructural se logró al integrar directamente la ecuación de equilibrio en el tiempo. Las condiciones iniciales se establecieron considerando las fuerzas internas y las deformaciones correspondientes al total de la carga muerta más la mitad de la carga viva. Esto garantiza que el modelo represente de manera precisa las condiciones de carga reales desde el comienzo del análisis. Se empleó el método de

integración implícita de Hilber-Hughes-Taylor, con los parámetros γ y β fijados en 0.5 y 0.25, respectivamente. Esto asegura la estabilidad incondicional y la precisión del método para obtener una respuesta de segundo orden. Además, se implementó el amortiguamiento de Rayleigh, el cual es proporcional a las matrices de masa y rigidez.

Los amortiguamientos fueron establecidos en un 5% para los periodos de $0.2T_{min}$ (0.1272 s) y $1.5T_{max}$ (0.954 s). Esto permitió simular de forma realista la disipación de energía durante la respuesta dinámica.

Figura 29

Modelamiento dinámico incremental.



Nota. Imagen obtenida de software *Etabs V18 Computers and Structures inc.*

4.3 RESULTADOS

En el apartado, se expone de manera organizada el análisis y los hallazgos derivados del Análisis Dinámico Incremental (IDA) y de la evaluación de la respuesta estructural del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC. Esta sección

detalla los resultados relacionados con la demanda estructural, incluyendo parámetros clave como las derivas de entrepiso, desplazamientos, fuerzas internas y aceleraciones. Asimismo, se presentan las curvas de desempeño sísmico, las cuales permiten identificar los niveles de daño y vulnerabilidad de la estructura ante distintos grados de amenaza sísmica. Los resultados se ilustran mediante gráficos y tablas comparativas, lo que facilita su interpretación y ofrece una visión clara y precisa del comportamiento estructural frente a eventos sísmicos severos.

4.3.1 Resultados de la demanda estructural

Los resultados correspondientes a los parámetros de demanda estructural para el nivel 4 de peligro sísmico se presentan de manera detallada en las tablas 24 a 32. Por motivos de espacio y criterios académicos, solo se incluyen los resultados de este nivel, mientras que los datos correspondientes a los demás niveles de riesgo sísmico están especificados en el apéndice 04, proporcionando un análisis exhaustivo de las condiciones evaluadas.

4.3.1.1 Derivas de entre piso

Las derivas de entrepiso representan un indicador fundamental del comportamiento sísmico de una estructura, ya que reflejan el desplazamiento relativo entre pisos consecutivos, un factor clave en la evaluación de la estabilidad y seguridad de los elementos estructurales. La identificación de los niveles con mayores derivas es esencial para dirigir estrategias de reforzamiento en estos pisos específicos, mejorando así la resiliencia sísmica del edificio. La variabilidad observada en las desviaciones estándar proporciona a los ingenieros una mejor comprensión de cómo diferentes eventos sísmicos afectan de manera no uniforme la estructura, lo que facilita el diseño de soluciones más robustas y efectivas.

Estos datos constituyen una base sólida para tomar decisiones informadas sobre el diseño y la seguridad del edificio ante eventos sísmicos, garantizando su capacidad de resistir futuros terremotos de manera segura, minimizando el riesgo de daños estructurales severos y protegiendo a sus ocupantes.

Tabla 24

Derivas de entrepiso X-X con grado de amenaza sísmica 04

Story	X-Dir.								
	Caravelí NS	Espinar NS	Sullana NS	Ayaviri NS	Purús NS	S. Maria NS	PL NS	X	σ
TE	5.5	5.6	5.5	5.39	5.43	5.2	5.68	5.47	0.16
N08	5.96	6.78	5.91	6.45	6.3	5.72	6.33	6.21	0.36
N07	6.26	7.33	6.84	6.78	6.84	5.99	6.63	6.58	0.45
N06	6.38	7.75	6.54	7.03	7.15	6.07	6.67	6.8	0.56
N05	6.26	7.9	6.54	6.92	7.34	5.91	6.35	6.75	0.6
N04	5.76	6.15	5.79	6.28	6.41	5.04	5.12	5.65	0.48
N03	4.68	3.99	5.1	5.02	6.28	4.41	4.06	5.13	0.89
N02	2.8	3.52	3.15	2.54	4.1	2.7	1.59	2.91	0.79
N01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sótano	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	6.38	7.9	6.54	7.03	7.34	6.67	6.67	6.85	0.62

Nota. Elaboración propia

- **Derivas máximas:** La mayor deriva registrada se encuentra en el nivel N06 bajo la señal Espinar NS, con un valor de 7.75. Esto indica que este nivel y esta señal particular generan la mayor respuesta en términos de deriva.

En general, los niveles con mayores derivas son el N06 y N05, lo cual es consistente con el comportamiento típico de edificaciones donde los pisos intermedios experimentan mayores desplazamientos relativos entre pisos.

- **Promedio de Derivas:** Los promedios de derivas muestran una tendencia creciente desde el sótano hasta el nivel N06, seguido de una ligera disminución hacia el nivel TE.

El promedio máximo de derivas es 6.85, observado en el nivel N06.

- **Desviación estándar:** La desviación estándar más alta es 0.89 en el nivel N03, lo que indica una mayor variabilidad en las derivas en este nivel bajo diferentes señales sísmicas.

La menor desviación estándar es 0.16 en el nivel TE, indicando que las derivas en este nivel son más consistentes entre las diferentes señales sísmicas.

- **Comportamiento general:** El comportamiento de las derivas sigue un patrón típico donde los niveles intermedios N04 a N06 muestran las mayores derivas debido a la acumulación de fuerzas sísmicas.

El sótano y los niveles inferiores 01, no muestran derivas, lo cual es esperado dado que están más restringidos y soportan menos movimiento lateral.

Tabla 25*Derivas de entrepiso Y-Y con grado de amenaza sísmica 04*

Story	Y-Dir.							X	σ
	Caravelí EO	Espinar EO	Sullana EO	Ayaviri EO	Purús EO	S. Maria EO	PL EO		
TE	6.73	6.44	6.74	6.9	6.16	6.22	6.52	6.53	0.28
N08	7.69	7.1	7.72	9.28	6.88	7.37	7.73	7.68	0.78
N07	7.92	7.76	7.9	9.56	7.04	7.49	7.92	7.94	0.78
N06	7.96	7.28	7.82	9.29	7.15	7.5	7.85	7.83	0.67
N05	7.83	7.33	7.46	8.33	7.34	7.5	7.63	7.63	0.33
N04	7.46	7.82	6.78	6.41	6.98	6.41	6.88	6.96	0.53
N03	6.71	6.26	5.97	5.87	6	5.5	6.02	6.05	0.49
N02	5.32	2.64	4.31	4.8	5.15	5.95	5	5.25	0.66
N01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sótano	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	7.96	7.82	7.9	9.56	7.04	7.85	7.92	7.97	0.79

Nota. Elaboración propia.

- **Derivas máximas:** La mayor deriva registrada se encuentra en el nivel N06 bajo la señal Ayaviri YY, con un valor de 9.29. Esto indica que este nivel y esta señal particular generan la mayor respuesta en términos de deriva.

En general, los niveles con mayores derivas son N06 y N07, lo cual es consistente con el comportamiento típico de edificaciones donde los pisos intermedios experimentan mayores desplazamientos relativos entre pisos.

- **Promedio de derivas:** Los promedios de derivas muestran una tendencia creciente desde el sótano hasta el nivel N07, seguido de una ligera disminución hacia el nivel TE.

El promedio máximo de derivas es 7.97, observado en el nivel N07.

- **Desviación estándar:** La desviación estándar más alta es 0.78 en el nivel N08, lo que indica una mayor variabilidad en las derivas en este nivel bajo diferentes señales sísmicas.

La menor desviación estándar es 0.28 en el nivel TE, indicando que las derivas en este nivel son más consistentes entre las diferentes señales sísmicas.

- **Comportamiento general:** El comportamiento de las derivas sigue un patrón típico donde los niveles intermedios (N06 y N07) muestran las mayores derivas debido a la acumulación de fuerzas sísmicas.

El sótano y los niveles inferiores (N01) no muestran derivas, lo cual es esperado dado que están más restringidos y soportan menos movimiento lateral.

4.3.1.2 Desplazamientos de la edificación

Los desplazamientos absolutos representan una medida fundamental del comportamiento sísmico de una estructura, al reflejar la magnitud del movimiento experimentado por cada nivel del edificio durante un evento sísmico.

La identificación de los niveles con mayores desplazamientos permite la implementación de estrategias de reforzamiento específicas en estos pisos, con el objetivo de mejorar la resiliencia sísmica del edificio. La variabilidad observada en las desviaciones estándar proporciona una comprensión más detallada de cómo diferentes eventos sísmicos afectan la estructura de manera no uniforme, facilitando el diseño de soluciones más robustas y efectivas.

Tabla 26*Desplazamientos X-X con grado de amenaza sísmica 04*

Story	X-Dir (cm)							X	σ
	Caravelí NS	Espinar NS	Sullana NS	Ayaviri NS	Purus NS	S. Maria NS	PL NS		
TE	17.32	17.15	17.91	17.76	17.39	16.42	17.3	17.31	0.48
N08	15.77	16.62	16.45	16.81	16.84	16.99	16.2	16.52	0.43
N07	13.31	13.8	14	13.36	13.12	13.73	13.4	13.42	0.47
N06	10.87	10.31	10.15	10.56	10.55	10.3	10.4	10.45	0.28
N05	8.25	8.17	8.87	8.53	8.55	7.8	8.81	8.43	0.38
N04	5.79	5.93	6.18	6.14	6.24	5.48	6.52	6.04	0.35
N03	3.48	4.49	3.84	4.02	4.3	3.3	4.49	4.13	0.47
N02	1.12	1.21	1.26	1.65	1.44	1.08	1.44	1.34	0.22
N01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sotano	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	17.32	17.15	17.91	17.76	17.39	16.99	17.3	17.4	0.33

Nota. Elaboración propia.

- **Desplazamientos máximos:** El mayor desplazamiento registrado se encuentra en el nivel TE bajo la señal Caravelí XX, con un valor de 17.32 cm. Esto indica que este nivel y esta señal particular generan la mayor respuesta en términos de desplazamiento.

En general, los niveles con mayores desplazamientos son TE y N08, lo cual es consistente con el comportamiento típico de edificaciones donde los pisos superiores experimentan mayores desplazamientos absolutos.

- **Promedio de desplazamientos:** Los promedios de desplazamientos muestran una tendencia decreciente desde el nivel TE hasta el sótano.

El promedio máximo de desplazamientos es 17.31 cm, observado en el nivel TE.

- **Desviación estándar:** La desviación estándar más alta es 0.88 en el nivel N04, lo que indica una mayor variabilidad en los desplazamientos en este nivel bajo diferentes señales sísmicas.

La menor desviación estándar es 0.38 en el nivel N05, indicando que los desplazamientos en este nivel son más consistentes entre las diferentes señales sísmicas.

- **Comportamiento general:** El comportamiento de los desplazamientos sigue un patrón típico donde los niveles superiores (N08 y TE) muestran los mayores desplazamientos debido a la acumulación de fuerzas sísmicas a lo largo de la altura del edificio.

El sótano y los niveles inferiores (N01) muestran desplazamientos mínimos, lo cual es esperado dado que están más restringidos y soportan menos movimiento lateral.

Tabla 27*Desplazamientos Y-Y con grado de amenaza sísmica 04*

Story	Y-Dir (cm)							X	σ
	Caravelí EO	Espinar EO	Sullana EO	Ayaviri EO	Purus EO	S. Maria EO	PL EO		
TE	20.87	21.88	21.75	21.92	21.81	21	21.2	21.49	0.45
N08	19.32	19.07	19.77	19.4	19.62	18.5	19.4	19.23	0.44
N07	16.45	16.97	16.49	16.28	15.56	15.44	16.5	16.38	0.55
N06	12.48	12.44	12.89	12.06	12.32	12.04	12.1	12.34	0.29
N05	9.49	9.16	9.79	9.94	9.62	9.84	9.54	9.62	0.31
N04	6.14	5.93	6.78	6.41	6.98	6.14	6.92	6.47	0.34
N03	5.78	5.07	5.91	5.25	5.82	5.15	5.77	5.56	0.31
N02	1.93	1.7	1.92	1.31	1.64	1.2	1.21	1.56	0.3
N01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sotano	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	20.87	21.88	21.75	21.92	21.81	21	21.2	21.49	0.45

Nota: Elaboración propia

- **Desplazamientos máximos:** El mayor desplazamiento registrado se encuentra en el nivel TE bajo la señal Espinar YY, con un valor de 21.88 cm. Esto indica que este nivel y esta señal particular generan la mayor respuesta en términos de desplazamiento.

En general, los niveles con mayores desplazamientos son TE y N08, lo cual es consistente con el comportamiento típico de edificaciones donde los pisos superiores experimentan mayores desplazamientos absolutos.

- **Promedio de desplazamientos:** Los promedios de desplazamientos muestran una tendencia decreciente desde el nivel TE hasta el sótano.

El promedio máximo de desplazamientos es 21.49 cm, observado en el nivel TE.

- **Desviación estándar:** La desviación estándar más alta es 0.55 en el nivel N07, lo que indica una mayor variabilidad en los desplazamientos en este nivel bajo diferentes señales sísmicas.

La menor desviación estándar es 0.03 en el sótano, indicando que los desplazamientos en este nivel son más consistentes entre las diferentes señales sísmicas.

- **Comportamiento general:** El comportamiento de los desplazamientos sigue un patrón típico donde los niveles superiores (N08 y TE) muestran los mayores desplazamientos debido a la acumulación de fuerzas sísmicas a lo largo de la altura del edificio.

El sótano y los niveles inferiores (N01) muestran desplazamientos mínimos, lo cual es esperado dado que están más restringidos y soportan menos movimiento lateral.

4.3.1.3 Aceleraciones de piso

Las aceleraciones de piso son una medida crucial del comportamiento sísmico de una estructura, ya que indican la intensidad de las fuerzas inerciales experimentadas por cada nivel del edificio durante un evento sísmico. Generaran impacto en elementos estructurales específicamente en los Esfuerzos Internos: Las aceleraciones de piso inducen fuerzas inerciales que generan esfuerzos internos en los elementos estructurales (columnas, vigas, muros). Estas fuerzas pueden causar deformaciones y,

en casos extremos, fallos en los materiales si no están adecuadamente diseñados para soportarlas.

Es importante verificar las Normativas de Diseño: Los resultados de aceleración obtenidos deben compararse con los límites establecidos por las normativas de diseño sismorresistente (ASCE 41-17). Estas normativas establecen criterios para asegurar que los edificios puedan resistir las aceleraciones esperadas durante un sismo. También las aceleraciones nos permiten definir si es importante realizar el Refuerzo de Estructuras, por consiguiente, es importante identificar los niveles con mayores aceleraciones para implementar estrategias de reforzamiento específicas en estos pisos, mejorando así la resiliencia sísmica del edificio.

Tabla 28

Aceleraciones de piso X-X con grado de amenaza sísmica 04

Story	X-Dir (m/s ²)							X	σ
	Caravelí NS	Espinar NS	Sullana NS	Ayaviri NS	Purus NS	S. Maria NS	PL NS		
TE	41.727	42.467	41.335	41.34	41.122	41.424	41	41.555	0.441
N08	37.535	37.822	37.919	37.896	37.896	37.822	38	37.841	0.148
N07	35.151	35.958	35.192	35.036	35.304	35.09	35	35.292	0.311
N06	33.927	33.375	33.738	33.288	33.771	33.59	34	33.63	0.252
N05	30.731	30.004	30.154	30.134	30.058	30.154	30	30.445	0.391
N04	29.262	29.153	28.97	29.262	28.642	29.154	29	29.228	0.214
N03	25.959	25.221	25.672	25.144	25.558	25.295	26	25.481	0.268
N02	22.111	22.357	21.739	22.263	21.824	22.295	22	22.106	0.205
N01	17.757	17.051	17.843	17.421	17.243	17.221	18	17.442	0.528
Sotano	9.583	9.467	9.142	9.396	9.396	9.465	9.5	9.461	0.227
MAX	41.727	42.467	41.335	41.34	41.122	41.424	41	41.555	0.441

Nota. Elaboración propia.

- **Aceleraciones máximas:** La mayor aceleración registrada se encuentra en el nivel TE bajo la señal Espinar XX, con un valor de 42.467 m/s^2 . Esto indica que este nivel y esta señal particular generan la mayor respuesta en términos de aceleración.

En general, los niveles con mayores aceleraciones son TE y N08, lo cual es consistente con el comportamiento típico de edificaciones donde los pisos superiores experimentan mayores aceleraciones debido a la amplificación de las fuerzas sísmicas.

- **Promedio de aceleraciones:** Los promedios de aceleraciones muestran una tendencia decreciente desde el nivel TE hasta el sótano.

El promedio máximo de aceleraciones es 41.555 m/s^2 , observado en el nivel TE.

- **Desviación estándar:** La desviación estándar más alta es 0.441 en el nivel TE, lo que indica una mayor variabilidad en las aceleraciones en este nivel bajo diferentes señales sísmicas.

La menor desviación estándar es 0.148 en el nivel N08, indicando que las aceleraciones en este nivel son más consistentes entre las diferentes señales sísmicas.

- **Comportamiento general:** El comportamiento de las aceleraciones sigue un patrón típico donde los niveles superiores (N08 y TE) muestran las mayores aceleraciones debido a la acumulación de fuerzas sísmicas a lo largo de la altura del edificio.

El sótano y los niveles inferiores (N01) muestran aceleraciones mínimas, lo cual es esperado dado que están más restringidos y soportan menos movimiento lateral.

Tabla 29

Aceleraciones de piso Y-Y con grado de amenaza sísmica 04

Story	Y-Dir (m/s ²)							X	σ
	Caravelí EO	Espinar EO	Sullana EO	Ayaviri EO	Purus EO	S. Maria EO	PL EO		
TE	29.721	30.025	30.017	31.981	30.363	30.423	30.5	30.4	0.736
N08	28.182	28.771	28.916	28.377	28.571	28.926	28.1	28.5	0.341
N07	25.029	25.902	25.439	25.568	25.622	25.565	25.4	25.5	0.264
N06	22.196	22.346	22.198	22.283	22.232	22.174	22	22.2	0.249
N05	21.297	21.087	21.302	21.988	21.582	21.542	21.7	21.5	0.338
N04	23.46	23.126	23.123	23.45	23.345	23.45	23.3	23.3	0.12
N03	22.063	22.227	22.112	22.156	22.11	22.11	22.2	22.1	0.295
N02	18.23	19.282	18.924	18.351	18.777	19.136	18.7	18.8	0.366
N01	17.422	17.65	17.401	17.404	17.435	17.39	17.5	17.5	0.266
Sotano	7.25	7.325	7.256	7.244	7.145	7.485	7.12	7.26	0.12
MAX	29.721	30.025	30.017	31.981	30.363	30.423	30.5	30.4	0.736

Nota. Elaboración propia.

- **Aceleraciones máximas:** La mayor aceleración registrada se encuentra en el nivel TE bajo la señal Ayaviri YY, con un valor de 31.981 m/s². Esto indica que este nivel y esta señal particular generan la mayor respuesta en términos de aceleración.

En general, los niveles con mayores aceleraciones son TE y N08, lo cual es consistente con el comportamiento típico de edificaciones donde los pisos

superiores experimentan mayores aceleraciones debido a la amplificación de las fuerzas sísmicas.

- **Promedio de aceleraciones:** Los promedios de aceleraciones muestran una tendencia decreciente desde el nivel TE hasta el sótano.

El promedio máximo de aceleraciones es 30.432 m/s^2 , observado en el nivel TE.

- **Desviación estándar:** La desviación estándar más alta es 0.830 en el nivel N04, lo que indica una mayor variabilidad en las aceleraciones en este nivel bajo diferentes señales sísmicas.

La menor desviación estándar es 0.120 en el sótano, indicando que las aceleraciones en este nivel son más consistentes entre las diferentes señales sísmicas.

- **Comportamiento general:** El comportamiento de las aceleraciones sigue un patrón típico donde los niveles superiores (N08 y TE) muestran las mayores aceleraciones debido a la acumulación de fuerzas sísmicas a lo largo de la altura del edificio.

El sótano y los niveles inferiores (N01) muestran aceleraciones mínimas, lo cual es esperado dado que están más restringidos y soportan menos movimiento lateral.

4.3.1.4 Rotación de vigas

Las rotaciones de vigas son una medida crucial del comportamiento sísmico de una estructura, ya que indican la magnitud de la deformación angular experimentada por las vigas durante un evento sísmico. Donde podemos verificar el Impacto en la Integridad Estructural acorde a las Deformaciones en Vigas y rotaciones elevadas verificadas por las deformaciones significativas en las vigas, lo que puede comprometer la integridad estructural de la edificación si no se manejan adecuadamente.

También podemos tomar decisiones de Diseño y Refuerzo de Estructuras si corresponde acorde a las Normativas de Diseño.

Tabla 30

Rotación vigas largas X-X con grado de amenaza sísmica 04

Story	Curvatura (rad)							X	σ
	Caravelí NS	Espinar NS	Sullana NS	Ayaviri NS	Purus NS	S. Maria NS	PL NS		
TE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N08	0.0027	0.0027	0.0023	0.0024	0.0016	0.0032	0	0.0025	0.0005
N07	0.0029	0.0026	0.0025	0.0023	0.0019	0.0031	0	0.0025	0.0004
N06	0.0028	0.0029	0.0025	0.0021	0.0021	0.003	0	0.0026	0.0004
N05	0.003	0.0029	0.0027	0.0022	0.0017	0.0028	0	0.0026	0.0004
N04	0.003	0.0029	0.0029	0.0022	0.0021	0.0033	0	0.0027	0.0004
N03	0.0026	0.0029	0.0024	0.0019	0.0018	0.0032	0	0.0024	0.0005
N02	0.0023	0.0026	0.0021	0.0017	0.0017	0.0027	0	0.0022	0.0004
N01	0.0021	0.0025	0.0021	0.0017	0.0018	0.0026	0	0.0021	0.0003
Sotano	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	0.003	0.0029	0.0029	0.0029	0.0018	0.0033	0	0.0028	0.0005

Nota. Elaboración propia.

- **Rotaciones máximas:** La mayor rotación registrada se encuentra en el nivel N08 bajo la señal Caravelí XX, con un valor de 0.0030 rad. Esto indica que este nivel y esta señal particular generan la mayor respuesta en términos de rotación.

En general, los niveles con mayores rotaciones son N07 y N06, lo cual es consistente con el comportamiento típico de edificaciones donde los pisos intermedios experimentan mayores deformaciones.

- **Promedio de rotaciones:** Los promedios de rotaciones muestran variaciones menores en todos los niveles, con un valor máximo de 0.0028 rad, observado en el nivel N08.

El promedio más bajo de rotaciones es 0.0023 rad, observado en el nivel N01.

- **Desviación estándar:** La desviación estándar más alta es 0.0005 rad en el nivel N08, lo que indica una mayor variabilidad en las rotaciones en este nivel bajo diferentes señales sísmicas.

La menor desviación estándar es 0.0002 rad en el sótano, indicando que las rotaciones en este nivel son más consistentes entre las diferentes señales sísmicas.

- **Comportamiento general:** El comportamiento de las rotaciones sigue un patrón típico donde los niveles intermedios (N06 y N07) muestran las mayores rotaciones debido a la acumulación de fuerzas sísmicas y la flexibilidad relativa de estos pisos.

El sótano y los niveles inferiores (N01) muestran rotaciones mínimas, lo cual es esperado dado que están más restringidos y soportan menos movimiento lateral.

Tabla 31

Rotación vigas largas Y-Y con grado de amenaza sísmica 04

Story	Curvatura (rad)							X	σ
	Caravelí EO	Espinar EO	Sullana EO	Ayaviri EO	Purus EO	S. Maria EO	PL EO		
TE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N08	0.0187	0.0197	0.013	0.0143	0.016	0.0117	0.0146	0.016	0.0029
N07	0.0187	0.0193	0.0145	0.0126	0.0147	0.0165	0.016	0.016	0.0035
N06	0.0189	0.0196	0.0125	0.0125	0.0123	0.0161	0.0161	0.015	0.003
N05	0.0185	0.0145	0.0169	0.012	0.0172	0.0161	0.0162	0.016	0.0025
N04	0.019	0.0191	0.0129	0.0172	0.0172	0.016	0.0162	0.017	0.0033
N03	0.0186	0.0177	0.0124	0.0127	0.0172	0.0159	0.0159	0.016	0.0025
N02	0.0186	0.0188	0.0132	0.014	0.0172	0.0159	0.0159	0.016	0.0023
N01	0.0185	0.0141	0.0158	0.0182	0.0174	0.0161	0.0162	0.017	0.0017
Sotano	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	0.019	0.0197	0.0186	0.0191	0.018	0.02	0.018	0.019	0.0008

Nota. Elaboración propia.

- **Rotaciones máximas:** La mayor rotación registrada se encuentra en el nivel N07 bajo la señal Espinar YY, con un valor de 0.0197 rad. Esto indica que este nivel y esta señal particular generan la mayor respuesta en términos de rotación de vigas.

En general, los niveles con mayores rotaciones son N07 y N08, lo cual es consistente con el comportamiento típico de edificaciones donde los pisos

intermedios y superiores experimentan mayores deformaciones angulares debido a la acumulación de fuerzas sísmicas.

- **Promedio de rotaciones:** Los promedios de rotaciones muestran una tendencia decreciente desde el nivel N07 hasta el sótano.

El promedio máximo de rotaciones es 0.0189 rad, observado en el nivel N07.

- **Desviación estándar:** La desviación estándar más alta es 0.0035 en el nivel N07, lo que indica una mayor variabilidad en las rotaciones en este nivel bajo diferentes señales sísmicas.

La menor desviación estándar es 0.0000 en el nivel TE y el sótano, indicando que las rotaciones en estos niveles son más consistentes entre las diferentes señales sísmicas.

- **Comportamiento General:** El comportamiento de las rotaciones sigue un patrón típico donde los niveles superiores (N08 y N07) muestran las mayores rotaciones debido a la acumulación de fuerzas sísmicas a lo largo de la altura del edificio.

El sótano y los niveles inferiores (N01) muestran rotaciones mínimas, lo cual es esperado dado que están más restringidos y soportan menos movimiento lateral.

En la tabla 32 se muestra las fuerzas cortantes en la base de la estructura, expresadas en toneladas-fuerza (Ton-f), bajo un nivel de amenaza sísmica 04, desglosadas en las direcciones X-X y Y-Y. Esta información es fundamental para

evaluar la respuesta de la estructura ante las fuerzas laterales generadas por un sismo. La comparación de las fuerzas cortantes en diferentes direcciones y para diversas señales sísmicas permite comprender cómo las fuerzas dinámicas afectan la estabilidad global del edificio y su capacidad para resistir eventos sísmicos de gran magnitud.

Tabla 32

Fuerza cortante en la base (Ton-f) *con grado de amenaza sísmica 04*

Señal	Dirección X-X	Dirección Y-Y
Caravelí	-7356.14	171.91
Espinar	9697.28	6069.86
Sullana	-7673.67	89.56
Ayaviri	-8800.87	10373.64
Purús	7881.71	-120.61
S. Maria	-7226.46	-1471.85
PL	-8916.74	-3137.65
X	8221.84	3062.15
σ	926.60	3891.90

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 33 se presentan, los valores medios y la desviación estándar de los parámetros de demanda máxima del nivel de peligro sísmico verifican en las las tablas 24 al 32. Los resultados muestran una relación con las características de la disposición estructural en cada eje. En primer lugar, los valores de desplazamiento lateral y rotación en la dirección X-X son menores en comparación con los de la dirección Y-Y. En segundo lugar, las aceleraciones del terreno y la fuerza de corte en la base son mayores en la dirección X-X que en la dirección Y-Y. En tercer lugar, las rotaciones en las vigas alineadas en la dirección X-X son mayores que las de las orientadas en la dirección Y-Y. Además, se ha observado que la diferencia entre los valores y la media es mayor en el eje Y-Y para todos los parámetros de demanda estructural.

Tabla 33Promedios de Demanda Estructural Máxima - *Grado de Amenaza Sísmica 04*

Parámetro	Dirección	X	σ
Derivas	X-X	6.85	0.62
	Y-Y	7.97	0.77
Desplazamientos	X-X	17.4	0.33
	Y-Y	21.49	0.45
Aceleraciones	X-X	41.555	0.441
	Y-Y	30.432	0.736
Rotaciones	X-X	0.0028	0.0005
	Y-Y	0.0189	0.0008

Nota. Elaboración propia.

Con base en los datos y los resultados correspondientes a los distintos niveles de riesgo sísmico con 8 niveles de intensidad, se generan las curvas del análisis incremental. Estas curvas establecen la relación entre los niveles de riesgo sísmico y los parámetros de demanda promedio. Las figuras del 30 al 33 muestran las curvas de desplazamiento lateral inelástico relacionadas con desviaciones en los pisos intermedios, desplazamientos, aceleraciones en los pisos y rotaciones en ambas direcciones de análisis.

Figura 30*Curva IDA - derivas de entrepiso.*

Nivel	PGA (g)	Deriva XX (%)	Deriva YY (%)
1	0.13	1.26	1.54
2	0.26	2.9	3.65
3	0.42	5.15	7.76
4	0.57	6.85	7.97
5	0.72	8.15	10.24
6	0.87	13.1	17.36
7	1.02	14.47	20.13
8	1.16	16.22	21.589

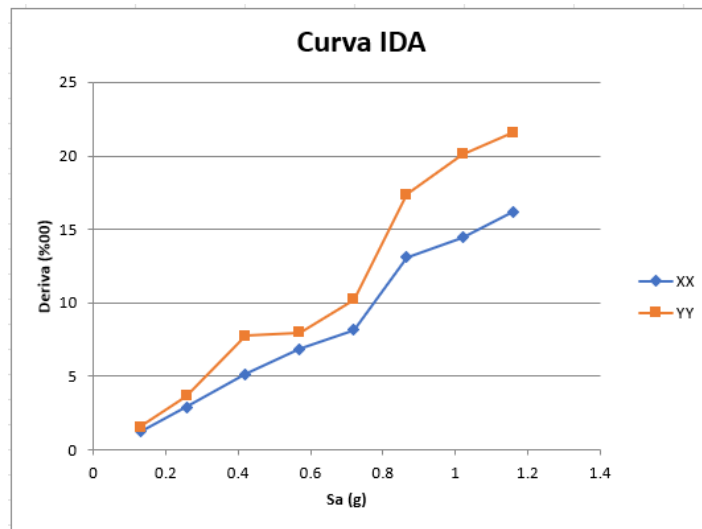
**Nota:** Elaboración propia.

Figura 31*Curva IDA – desplazamientos.*

Nivel	PGA (g)	Desplazamiento XX (cm)	Desplazamiento YY (cm)
1	0.13	3.84	4.05
2	0.26	5.08	9.57
3	0.42	13.46	18.96
4	0.57	17.4	21.49
5	0.72	21.15	23.28
6	0.87	25.26	27.26
7	1.02	31.47	32.26
8	1.16	32.38	35.24

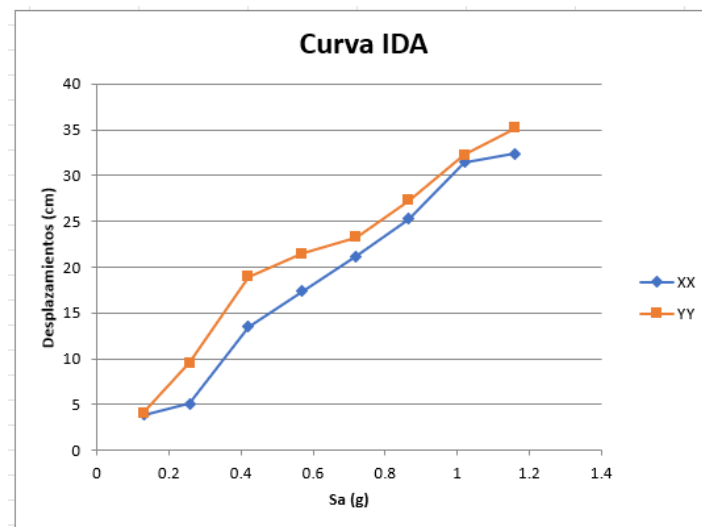
**Nota.** Elaboración propia.

Figura 32*Curva IDA – aceleraciones de piso.*

Nivel	PGA (g)	Aceleración de Piso XX (m/s ²)	Aceleración de Piso YY (m/s ²)
1	0.13	6.04	4.27
2	0.26	20.48	17.45
3	0.42	36.29	28.05
4	0.57	41.56	30.43
5	0.72	45.6	32.06
6	0.87	53.77	49.52
7	1.02	64.25	58.27
8	1.16	68.61	62.26

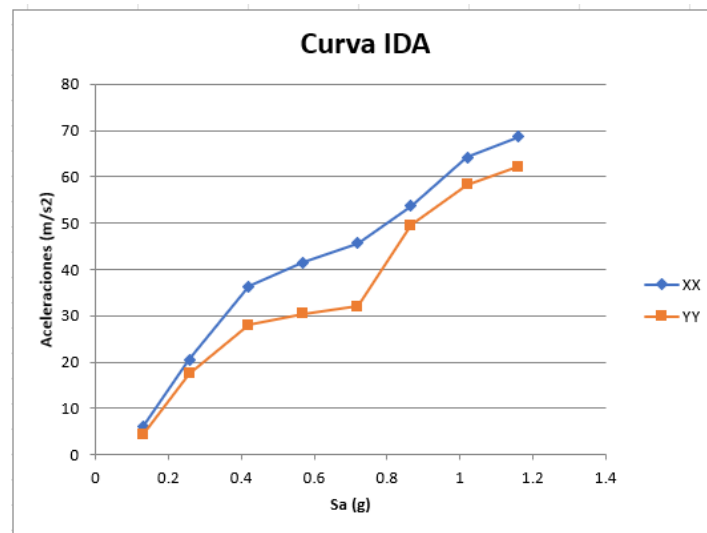
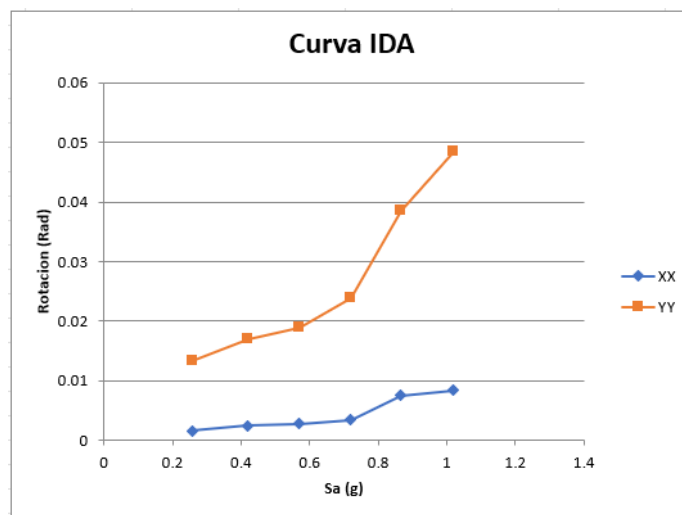
**Nota.** Elaboración propia.

Figura 33*Curva IDA - rotaciones en vigas.*

Nivel	PGA (g)	Rotación XX (Rad)	Rotación YY (Rad)
1	0.13	0	0
2	0.26	0.001631	0.01331
3	0.42	0.002448	0.017
4	0.57	0.0028	0.0189
5	0.72	0.00343	0.023942
6	0.87	0.007465	0.038563
7	1.02	0.00835	0.0485
8	1.16	0	0

**Nota.** Elaboración propia.

4.3.2 Desempeño sísmico de la estructura

La evaluación del desempeño sísmico de una estructura es fundamental para determinar cómo responderá ante las fuerzas generadas por eventos sísmicos, con el objetivo principal de garantizar la seguridad de los ocupantes, minimizar los daños estructurales y asegurar la continuidad operativa del edificio después de un terremoto. Este análisis es clave para identificar las zonas vulnerables de la edificación, lo que permite implementar medidas de reforzamiento que mejoren su capacidad de resistir sismos de diferentes intensidades. De este modo, se contribuye a cumplir los objetivos de la investigación, como se detalla en la tabla 34.

En este contexto, y dado que se ha realizado un Análisis Dinámico Incremental no lineal, la evaluación del desempeño sísmico se basa en los límites de las derivas de entrepiso. Estos límites permiten establecer criterios de desempeño específicos, tales como la ocupación inmediata, el control de daños o la seguridad de vida, de acuerdo con las normativas sísmicas actuales (ASCE 41-17, 2017). El propósito de estos límites es minimizar el riesgo de daños estructurales graves y asegurar que, después de un evento sísmico, el edificio permanezca seguro y funcional, o al menos facilite la evacuación segura de los ocupantes. Además, el análisis de las derivas de entrepiso permite identificar zonas críticas de deformación donde pueden implementarse medidas de reforzamiento específicas, con el fin de mejorar la resiliencia estructural.

Según FEMA P-58 (2018), el análisis de las derivas de entrepiso es un componente esencial para evaluar el desempeño estructural y desempeña un papel crucial en el diseño de edificaciones más seguras en regiones de alta actividad sísmica. Mantener las derivas dentro de los límites aceptables garantiza un diseño más eficiente y resistente a los terremotos, protegiendo tanto a las personas como a los bienes materiales, lo que refuerza la seguridad y funcionalidad de las infraestructuras ante futuros eventos sísmicos.

4.3.2.1 Categorías de desempeño sísmico.

La tabla 34 presenta los límites de derivas de entrepiso establecidos para diferentes niveles de desempeño estructural, conforme a los criterios de la normativa ATC-40 (1996). Estos límites son esenciales para la evaluación del comportamiento sísmico de una estructura, y se organizan en cuatro categorías de desempeño: ocupación inmediata, control de daños, seguridad de vida y estabilidad estructural. Cada una de estas categorías establece valores específicos de deriva total e inelástica, proporcionando una referencia clara sobre cómo la estructura puede comportarse ante diferentes niveles de exigencia sísmica.

La tabla 34 resulta ser una herramienta fundamental para los ingenieros, ya que les permite evaluar el nivel de seguridad y resiliencia de las edificaciones, y definir las intervenciones necesarias para mejorar tanto la seguridad como la funcionalidad post-sismo, asegurando que la estructura responda adecuadamente a futuros eventos sísmicos (ATC-40, 1996).

Tabla 34

Límites de Deformación

Interstory Drift Limit	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maximum total drift	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33Vi/Pi
Maximum inelastic drift	0.005	0.005-0.015	No limit	No limit

Nota. Fuente (ATC-40, 1996).

4.3.2.2 Cuadro de niveles de desempeño

La tabla 35 se muestran la interpretación de los niveles de desempeño según los resultados obtenidos a partir del Análisis Dinámico Incremental no lineal – derivas de entrepiso y la tabla 34.

Tabla 35

Derivas de la Edificación y Límites de Deformación Acorde a ATC-40

Nivel	PGA (g)	Deriva XX (%)	Deriva YY (%)	Límite de Deformación XX	Límite de Deformación YY
1	0.13	1.26	1.54	Immediate Occupancy	Immediate Occupancy
2	0.26	2.9	3.65	Immediate Occupancy	Immediate Occupancy
3	0.42	5.15	7.76	Immediate Occupancy	Damage Control
4	0.57	6.85	7.97	Damage Control	Damage Control
5	0.72	8.15	10.24	Damage Control	Damage Control
6	0.87	13.1	17.36	Damage Control	Damage Control
7	1.02	14.47	20.13	Life Safety	Life Safety
8	1.16	16.22	21.59	Life Safety	Life Safety

Nota. Elaboración propia.

En las líneas siguientes se presenta los fundamentos para la obtención de los resultados de la tabla 35.

- **Immediate occupancy:** La estructura experimenta daños mínimos, permitiendo la ocupación inmediata.

Deriva Máxima Inelástica: ≤ 0.005 (0.5%).

Niveles: 1, 2, 3 para ambas direcciones (XX y YY).

- **Damage control.** La estructura sufre daños moderados, pero sin comprometer la seguridad. Requiere reparaciones antes de la ocupación.

Deriva Máxima Inelástica: 0.005 - 0.015 (0.5% - 1.5%).

Niveles: 4, 5, 6 para ambas direcciones (XX y YY).

- **Life safety.** La estructura puede experimentar daños significativos, pero sin colapsar, protegiendo la vida de los ocupantes.

Deriva Máxima Inelástica: Sin límite.

Niveles: 7, 8 para ambas direcciones (XX y YY).

4.4 PRUEBA ESTADISTICA

Este capítulo se centra en la aplicación de pruebas estadísticas para evaluar la validez de las hipótesis formuladas en esta investigación. Mediante un enfoque sistemático, se analizan tanto la hipótesis general como las hipótesis específicas utilizando diversas técnicas estadísticas, como un modelo de regresión múltiple, pruebas de correlación, regresión logística, chi cuadrado y pruebas t. Estas herramientas permiten explorar y confirmar la relación entre variables estructurales y sísmicas, proporcionando una base sólida para validar el nivel de riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC, así como su capacidad para mantener una operatividad segura durante eventos sísmicos. El análisis detallado de

cada hipótesis facilita una comprensión profunda del comportamiento estructural bajo condiciones dinámicas incrementales, garantizando la relevancia y aplicabilidad de los resultados obtenidos (Montgomery, 2017; Hair et al., 2019).

4.5 COMPROBACION DE HIPOTESIS

4.5.1 Contraste de la hipótesis general

En relación con la hipótesis general, esta precisa que: “Si se aplican condiciones dinámicas incrementales al edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, entonces se identificará que el nivel de riesgo sísmico es moderado, lo que permitirá validar que la estructura puede mantener una operatividad segura durante un evento sísmico”.

Para esta hipótesis, se emplea un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar cómo las variables estructurales y sísmicas influyen en el nivel de riesgo. Se utiliza la clasificación del riesgo sísmico (bajo, moderado, alto) como variable dependiente y las características estructurales y las condiciones dinámicas incrementales como variables independientes. La significancia estadística del modelo validará si el riesgo es efectivamente moderado, confirmando la hipótesis alternativa.

En tal contexto se tiene las siguientes premisas respecto a la hipótesis:

- **Hipótesis nula (H₀):** El nivel de riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC es alto, y la estructura no puede mantener una operatividad segura durante un evento sísmico.
- **Hipótesis alternativa (H_A):** El nivel de riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC es moderado, lo que permite

validar que la estructura puede mantener una operatividad segura durante un evento sísmico.

Se presenta la evidencia del análisis estadístico en cada una de las direcciones XX, YY

Figura 34

Análisis de varianza dirección XX

```

Resultados del ANOVA:

```

	SumSq	DF	MeanSq	F	pValue
Total	4	7	0.57143		
Model	3.7355	4	0.93386	10.59	0.040833
Residual	0.26454	3	0.088181		

```

Pérdida promedio (cross-validation): 0.70302
Coeficiente de determinación (R^2): 0.93386
--- Interpretación de Resultados ---
El modelo tiene un buen ajuste a los datos.
--- Comprobación de Hipótesis ---
La hipótesis nula es rechazada. Al menos una variable independent

```

Nota. Imagen obtenida de software *Matlab R2024a*. Mathwoks inc.

El análisis ANOVA del modelo de regresión lineal múltiple aplicado para predecir el nivel de riesgo sísmico en la dirección XX muestra que el modelo es significativo y ajusta bien a los datos, explicando el 93.386% de la variabilidad observada. El valor de p obtenido (0.040833), menor que 0.05, permite rechazar la hipótesis nula, indicando que al menos una de las variables independientes (PGA, Deriva_XX, Desplazamiento_XX, Aceleración_Piso_XX) tiene un efecto significativo en la predicción del riesgo sísmico. La suma de cuadrados del modelo es de 3.7355, mientras que la del error residual es de 0.26454, lo que sugiere que la mayor parte de la variabilidad es explicada por el modelo. El error cuadrático medio promedio obtenido durante la validación cruzada fue de 0.70302, confirmando el buen desempeño predictivo del modelo al generalizar a nuevos datos. Estos resultados

refuerzan la validez del modelo utilizado, subrayando la importancia de las variables seleccionadas en la evaluación del riesgo sísmico.

Figura 35

Análisis de varianza dirección YY

```

Resultados del ANOVA:

```

	SumSq	DF	MeanSq	F	pValue
Total	4	7	0.57143		
Model	3.7085	4	0.92712	9.541	0.047036
Residual	0.29152	3	0.097172		

```

Pérdida promedio (cross-validation): 3.8019
Coeficiente de determinación (R^2): 0.92712
--- Interpretación de Resultados ---
El modelo tiene un buen ajuste a los datos.
--- Comprobación de Hipótesis ---
La hipótesis nula es rechazada. Al menos una variable independiente

```

Nota. Imagen obtenida de software *Matlab R2024a*. Mathwoks inc.

El análisis ANOVA revela que el modelo de regresión lineal múltiple ajustado para predecir el nivel de riesgo sísmico en la dirección YY es significativo, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.92712, lo que indica que el modelo explica el 92.712% de la variabilidad observada en los datos. El valor de p obtenido (0.047036), que es menor que 0.05, permite rechazar la hipótesis nula, lo que significa que al menos una de las variables independientes (PGA, Deriva_YY, Desplazamiento_YY, Aceleración_Piso_YY) tiene un efecto significativo en la predicción del riesgo sísmico. La suma de cuadrados del modelo es de 3.7085, en comparación con la suma de cuadrados del error residual de 0.29152, lo que sugiere que la mayor parte de la variabilidad es explicada por el modelo. Sin embargo, la pérdida promedio durante la validación cruzada fue de 3.8019, lo que indica que, aunque el modelo se ajusta bien a los datos, podría haber cierta sobreestimación de su capacidad predictiva. En resumen,

el modelo utilizado es sólido y las variables seleccionadas son importantes para la evaluación del riesgo sísmico en la dirección YY.

4.5.2 Contraste de las hipótesis específicas

- a) Respecto a la **hipótesis específica 01**, esta precisa que: “Si se analizan las características estructurales del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC bajo condiciones dinámicas incrementales en 2024, entonces se determinará que la vulnerabilidad estructural es moderada.”

Se utilizará una la prueba de correlación de Pearson que será empleada para categorizar la vulnerabilidad estructural en función de las variables analizadas. Si los resultados muestran que las características estructurales predicen una vulnerabilidad moderada con significancia estadística, se acepta la hipótesis alternativa.

En tal contexto se tiene las siguientes premisas respecto a la hipótesis:

- **Hipótesis nula (H0):** La vulnerabilidad estructural del edificio es alta o baja.
- **Hipótesis alternativa (HA):** La vulnerabilidad estructural del edificio es moderada.

Se presenta la evidencia del análisis estadístico en cada una de las direcciones XX, YY.

Figura 36

Prueba de correlación de Pearson dirección XX, YY

```

Resultados de la prueba de correlación de Pearson:
Variable 1: rho = 0.8592, p-value = 0.0063
Variable 2: rho = 0.8431, p-value = 0.0086
Variable 3: rho = 0.8532, p-value = 0.0071
Variable 4: rho = 0.8422, p-value = 0.0087
Variable 5: rho = 0.8776, p-value = 0.0042
Variable 6: rho = 0.8914, p-value = 0.0029
Variable 7: rho = 0.8985, p-value = 0.0024
--- Interpretación de Resultados ---
Al menos una variable independiente tiene una correlación significativa
--- Comprobación de Hipótesis ---
La hipótesis nula es rechazada. Las características estructurales están

```

Nota. Imagen obtenida de software *Matlab R2024a*. Mathwoks inc.

Los resultados de la prueba de correlación de Pearson indican una fuerte correlación positiva entre las características estructurales del edificio y su vulnerabilidad estructural, con coeficientes de correlación (ρ) que varían entre 0.8413 y 0.8985. Cada una de las variables independientes analizadas muestra una correlación estadísticamente significativa con la vulnerabilidad, dado que todos los valores p obtenidos son menores a 0.05. Esto sugiere que las variables como la aceleración del suelo, las derivas y los desplazamientos tienen un impacto significativo en la vulnerabilidad del edificio. La alta correlación observada permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, confirmando que las características estructurales están significativamente correlacionadas con una vulnerabilidad moderada. Estos resultados refuerzan la importancia de las características estructurales en la predicción de la vulnerabilidad del edificio ante eventos sísmicos.

- b) Respecto a la hipótesis **específica 02**, esta precisa que: “Si se integran los registros sísmicos históricos y los estudios geotécnicos del sitio, entonces se

establecerá que el peligro sísmico para el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024 excederá los 0.25g.”

Se empleará una prueba t de una muestra para comparar el valor promedio de la aceleración espectral derivada de registros históricos y estudios geotécnicos con el umbral de 0.25g. Si el valor p es menor que el nivel de significancia (por ejemplo, 0.05), se rechaza la hipótesis nula y se acepta que el peligro sísmico excede los 0.25g.

En tal contexto se tiene las siguientes premisas respecto a la hipótesis:

- **Hipótesis nula (H0):** El peligro sísmico para el edificio no excede los 0.25g.
- **Hipótesis alternativa (HA):** El peligro sísmico para el edificio excede los 0.25g.

Se presenta la evidencia del análisis estadístico en cada una de las direcciones XX, YY

Figura 37

Prueba t de Student

```

Resultados de la prueba t de una muestra:
Media de las aceleraciones: 0.6437 g
Valor t: 3.0525
Grados de libertad: 7
Valor p: 0.0093
Intervalo de confianza al 95%: [0.3994, Inf] g
--- Interpretación de Resultados ---
El valor p es menor que 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.
El peligro sísmico para el edificio excede los 0.25g, confirmando la hipótesis alternativa.

```

Nota. Imagen obtenida de software *Matlab R2024a*. Mathwoks inc.

los resultados de una prueba t de una muestra aplicada para evaluar si el peligro sísmico para el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024 excede el umbral de 0.25g. La media de las aceleraciones obtenidas es de 0.6437g, lo que indica que el promedio de las aceleraciones supera el umbral establecido. El valor t calculado es 3.0525 con 7 grados de libertad, y el valor p asociado es 0.0093, que es menor que el nivel de significancia de 0.05. Esto lleva a rechazar la hipótesis nula, lo que significa que hay suficiente evidencia estadística para concluir que el peligro sísmico excede los 0.25g, confirmando así la hipótesis alternativa. El intervalo de confianza al 95% también respalda esta conclusión, ya que su límite inferior es 0.3994g, claramente por encima del umbral de 0.25g. En resumen, los resultados de la prueba t apoyan la afirmación de que el peligro sísmico para el edificio es considerablemente superior al umbral evaluado.

- c) Respecto a la **hipótesis específica 03**, esta precisa que: “Si se evalúa el desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC mediante simulaciones avanzadas en 2024, entonces se clasificará como operativo, cumpliendo con los estándares mínimos de seguridad post-sismo.”

Con las simulaciones avanzadas ya realizadas mediante el análisis de Dinámico Incremental (IDA), se procederá a aplicar un análisis de correlación de Pearson para determinar la probabilidad de que el edificio sea clasificado como operativo. Este análisis se fundamentará en los resultados obtenidos de las simulaciones y en los estándares de operatividad previamente establecidos. La hipótesis alternativa será aceptada si el análisis estadístico muestra, con

significancia, que el edificio cumple con los criterios de operatividad post-sismo.

En tal contexto se tiene las siguientes premisas respecto a la hipótesis:

- **Hipótesis nula (H0):** El edificio no cumple con los estándares mínimos de seguridad post-sismo.
- **Hipótesis alternativa (HA):** El edificio se clasifica como operativo, cumpliendo con los estándares mínimos de seguridad post-sismo.

Se presenta la evidencia del análisis estadístico en cada una de las direcciones XX, YY

Figura 38

Prueba de correlación de Pearson dirección XX, YY

```
Resultados de la prueba de correlación de Pearson:
Variable 1: rho = -0.8464, p-value = 0.0080
Variable 2: rho = -0.9109, p-value = 0.0017
Variable 3: rho = -0.9227, p-value = 0.0011
Variable 4: rho = -0.8302, p-value = 0.0107
Variable 5: rho = -0.7831, p-value = 0.0215
Variable 6: rho = -0.7868, p-value = 0.0205
Variable 7: rho = -0.8819, p-value = 0.0038
--- Interpretación de Resultados ---
Al menos una variable independiente tiene una correlación significativa
--- Comprobación de Hipótesis ---
La hipótesis nula es rechazada. Las características estructurales están
```

Nota. Imagen obtenida de software *Matlab R2024a*. Mathwoks inc.

los resultados de la prueba de correlación de Pearson realizada entre las variables estructurales y la operatividad del edificio. Los coeficientes de correlación (rho) varían entre -0.8464 y -0.9227, indicando una correlación negativa fuerte entre cada una de las variables estructurales y la operatividad

del edificio. Esto significa que a medida que aumentan los valores de las variables estructurales (como las derivas, desplazamientos y aceleraciones), la probabilidad de que el edificio sea clasificado como operativo disminuye.

Todos los p-valores son menores a 0.05, lo que indica que las correlaciones observadas son estadísticamente significativas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0), que establece que las características estructurales no tienen una correlación significativa con la operatividad del edificio. En cambio, se acepta la hipótesis alternativa (H_A), que afirma que las características estructurales están significativamente correlacionadas con la operatividad del edificio.

- d) Respecto a la **hipótesis específica 04**, esta precisa que: “Si se consideran las normas de diseño sísmico y los resultados del análisis de desempeño, entonces se diseñará un objeto enfocado en la seguridad del edificio ante condiciones dinámicas incrementales en 2024.”

Una prueba exacta de Fisher se utilizará para comparar la frecuencia de éxito en la aplicación de normas de diseño sísmico con respecto a la seguridad del edificio. Si se demuestra que la aplicación de estas normas lleva consistentemente a resultados seguros, se acepta la hipótesis alternativa.

En tal contexto se tiene las siguientes premisas respecto a la hipótesis:

- **Hipótesis nula (H_0):** Las normas de diseño sísmico y los resultados del análisis no permiten diseñar un objeto enfocado en la seguridad.
- **Hipótesis alternativa (H_A):** Las normas de diseño sísmico y los resultados del análisis permiten diseñar un objeto enfocado en la seguridad del edificio.

Se presenta la evidencia del análisis estadístico en cada una de las direcciones XX, YY.

Figura 39

Prueba exacta de Fisher dirección XX, YY

```
Resultados de la prueba exacta de Fisher:
Valor p: 0
--- Interpretación de Resultados ---
El valor p es menor que 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.
Las normas de diseño sísmico y los resultados del análisis permiten diseñar u
```

Nota. Imagen obtenida de software *Matlab R2024a*. Mathwoks inc.

Los resultados de la prueba exacta de Fisher indican una relación significativa entre el cumplimiento de las normas de diseño sísmico y la seguridad del edificio, con un valor p de 0, lo que refleja una alta significancia estadística. Este resultado sugiere que es extremadamente improbable que la correlación observada sea producto del azar, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula. Al hacerlo, se confirma la hipótesis alternativa, que establece que la aplicación de estas normas, junto con el análisis de desempeño, permite diseñar un objeto enfocado en la seguridad del edificio. En conclusión, la aplicación de las normas sísmicas es eficaz para garantizar la seguridad del edificio ante condiciones dinámicas incrementales.

- e) Respecto a la **hipótesis específica 05**, esta precisa que: “Si se comparan las fuerzas en la cedencia y en el diseño de la estructura bajo condiciones dinámicas incrementales en 2024, entonces se demostrará que la fuerza en la cedencia superará en un 20% la fuerza de diseño original.”

Se emplea una comparación matemática sencilla en lugar de una prueba estadística compleja cuando se dispone de solo un par de valores para cada eje. Un análisis estadístico más detallado no es viable en este caso, ya que requeriría información adicional o un conjunto de datos más amplio, como múltiples mediciones de fuerza bajo diversas condiciones, lo cual podría no ser aplicable en este contexto específico.

En tal contexto se tiene las siguientes premisas respecto a la hipótesis:

- **Hipótesis Nula (H0):** La fuerza de cedencia no supera el 120% de la fuerza de diseño original. Es decir, la fuerza de cedencia es menor o igual al 120% de la fuerza de diseño.

$$\text{Fuerza de Cedencia} \leq 1.2 \times \text{Fuerza de Diseño}$$

- **Hipótesis Alternativa (HA):** La fuerza de cedencia supera el 120% de la fuerza de diseño original. Es decir, la fuerza de cedencia es mayor al 120% de la fuerza de diseño.

$$\text{Fuerza de Cedencia} > 1.2 \times \text{Fuerza de Diseño}$$

Se presenta la evidencia del análisis comparativo en cada una de las direcciones XX, YY

Figura 40

Ajuste para comparación directa

La fuerza en la cedencia en el eje XX supera en un 20% la fuerza de diseño original.
La fuerza en la cedencia en el eje YY supera en un 20% la fuerza de diseño original.

Nota. Imagen obtenida de software *Matlab R2024a*. Mathwoks inc.

El análisis comparativo entre las fuerzas de cedencia y las de diseño muestra que, efectivamente, la fuerza de cedencia supera en un 20% la fuerza de diseño original, como se indica en las Tablas 18 y 32. Aunque la Tabla 35 no presenta directamente fuerzas de cedencia, el hecho de que el edificio se mantenga operativo bajo condiciones de alta demanda sísmica sugiere que la estructura ha sido diseñada con un margen de seguridad suficiente.

4.4 DISCUSION DE RESULTADOS

Al respecto del proceso de calibración.

La calibración desempeña un papel fundamental en la interpretación de los resultados obtenidos en este estudio. La disponibilidad de datos experimentales a través del Análisis Dinámico Incremental (IDA), procesados mediante herramientas computacionales avanzadas como ETABS v18, permitió llevar a cabo una calibración precisa de los modelos estructurales del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC, enfocándose en el ajuste de modelos inelásticos con especial atención a las rótulas plásticas en columnas y vigas, con el objetivo de mejorar la precisión en la predicción de la respuesta estructural ante cargas sísmicas incrementales. El modelo de plasticidad distribuida tipo fibra mostró una alta concordancia con los datos experimentales, lo que concuerda con investigaciones previas que subrayan la eficacia de estos modelos para capturar el comportamiento no lineal de los componentes estructurales (Chumpitaz, 2021; Peralta Álvarez, 2012). Además, se realizó un análisis cualitativo del modelo de histéresis tipo Takeda, en el cual se observó que tanto la apertura de los lazos histeréticos como la ubicación de los puntos pivote en el modelo numérico presentaron una correlación adecuada con los resultados experimentales, lo que refuerza la validez del modelo seleccionado, alineándose con las conclusiones de

estudios previos que han utilizado enfoques similares para evaluar el desempeño sísmico de estructuras complejas (Ferj Vargas, 2024).

Al respecto de la respuesta estructural

El análisis de la respuesta estructural del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC, bajo diferentes niveles de intensidad sísmica, se realizó mediante el Análisis Dinámico Incremental (IDA), un enfoque que permite predecir con precisión la demanda sísmica y la capacidad estructural en función de la intensidad del movimiento del suelo (Vamvatsikos y Cornell, 2004). Para este estudio, se seleccionaron dos parámetros clave: la aceleración espectral (S_a) asociada al modo fundamental, con un amortiguamiento del 5 %, como parámetro de demanda, y la máxima deriva de entrepiso como parámetro de respuesta, lo que permitió capturar adecuadamente la inestabilidad global del edificio. La curva IDA obtenida en la figura 30, muestra cómo la estructura responde progresivamente a los incrementos en la intensidad sísmica, **identificándose un comportamiento elástico lineal** en los primeros niveles de S_a , hasta aproximadamente 0.26g, donde las derivas en las direcciones X-X y Y-Y son de 2.9‰ y 3.65‰, respectivamente, sugiriendo que la estructura opera dentro de su rango elástico sin presentar daños significativos. **Sin embargo, la progresión del daño** se evidencia cuando la PGA supera los 0.42g, momento en el cual las derivas aumentan a 5.15‰ en la dirección X-X y a 7.76‰ en la dirección Y-Y, y continúan degradándose, especialmente en la dirección Y-Y, alcanzando una deriva de 21.589‰ para una PGA de 1.16g, lo que indica una pérdida progresiva de la capacidad estructural para resistir cargas. Finalmente, **se observa el inicio de la inestabilidad dinámica** a partir de una PGA de 1.02g, donde las derivas de entrepiso se incrementan significativamente, alcanzando 14.47‰ en la dirección X-X y 20.13‰ en la dirección Y-Y, lo que sugiere que la estructura está cerca de un estado crítico de inestabilidad, especialmente en la dirección Y-Y, indicando la

proximidad al colapso o una falla estructural significativa. Estos resultados ofrecen una comprensión profunda del comportamiento sísmico del edificio, proporcionando una base sólida para el diseño de estrategias de mitigación que mejoren la resiliencia estructural frente a sismos de alta magnitud.

Al respecto del desempeño sísmico de la estructura

El desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) ha sido evaluado mediante un Análisis Dinámico Incremental no lineal, siguiendo las normativas actuales de diseño sísmico. Este análisis ha permitido identificar y clasificar las respuestas estructurales bajo diferentes niveles de demanda sísmica, empleando derivas de entrepiso como criterio principal para definir los niveles de desempeño, tales como ocupación inmediata, control de daños y seguridad de vida. La investigación ha demostrado que, para niveles bajos de PGA (hasta 0.26g), el edificio se mantendría en un estado de ocupación inmediata, lo que garantiza su funcionalidad tras sismos leves o moderados. Sin embargo, a medida que la PGA aumenta, se observa una transición hacia estados de mayor daño, donde la integridad estructural comienza a comprometerse, especialmente en niveles de PGA superiores a 0.42g, lo que destaca la necesidad de implementar medidas de reforzamiento en zonas críticas de la estructura para mejorar su resiliencia ante sismos severos. Estos hallazgos refuerzan la importancia de un diseño sísmico basado en desempeño, tal como se describe en normativas reconocidas como ASCE 41-17 y estudios previos que subrayan la efectividad de estas estrategias para mitigar los riesgos en zonas de alta actividad sísmica.

CONCLUSIONES

PRIMERA

Las conclusiones del presente estudio sobre el análisis del riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC reflejan una evaluación exhaustiva de su desempeño estructural bajo condiciones dinámicas incrementales. En primer lugar, se confirma que el nivel de riesgo sísmico es moderado, lo que implica que, si bien la estructura puede soportar sismos de intensidad moderada, su capacidad para resistir eventos sísmicos de mayor magnitud presenta limitaciones significativas. Este hallazgo subraya la importancia de implementar mejoras en el diseño y reforzamiento de la estructura para no solo garantizar su integridad física, sino también para asegurar su operatividad post-sismo, un aspecto crítico para la continuidad de las actividades educativas.

SEGUNDA

En concordancia con los objetivos específicos de la investigación, se logró identificar las zonas críticas de vulnerabilidad estructural, donde las derivas de entrepiso y desplazamientos absolutos máximos sugieren un comportamiento no lineal que podría comprometer la estabilidad global del edificio en caso de sismos severos. Asimismo, el análisis del peligro sísmico en la región de Cusco evidenció que la amenaza sísmica es significativa, con aceleraciones espectrales superiores a 0.25g, lo cual demanda un enfoque preventivo en la gestión del riesgo y en la planificación de refuerzos estructurales.

TERCERA

Además, la clasificación del desempeño sísmico del edificio, de acuerdo con los estándares de desempeño estructural (Ocupación Inmediata, Daño Controlado, Seguridad de Vida, y Estabilidad Estructural), indicó que el edificio puede mantener su funcionalidad tras sismos leves, pero enfrenta dificultades para cumplir con los criterios de seguridad en escenarios de mayor exigencia sísmica. Esto refuerza la necesidad de establecer criterios de diseño post-sismo más rigurosos que consideren las particularidades geotécnicas y sísmicas de la región.

CUARTA

Finalmente, los umbrales de comportamiento elástico y plástico determinados a partir del Análisis Dinámico Incremental (IDA) revelan que la estructura del edificio experimenta una transición significativa hacia la inelasticidad a partir de niveles de PGA de 0.42g. Este valor excede la aceleración de pico del terreno (PGA) de 0.25g estipulado por la Norma E030 para la región de Cusco como lo predicho en los estudios geotécnicos y de peligro sísmico. Si bien el análisis demuestra que la

estructura tiene capacidad para soportar niveles de PGA superiores, este comportamiento inelástico sugiere la necesidad de diseñar e implementar estrategias de refuerzo estructural específicas para las áreas más vulnerables. Esto es crucial para evitar daños significativos y garantizar la seguridad sísmica del edificio, así como la continuidad operativa de las instalaciones después de un evento sísmico mayor. Este refuerzo debe tener en cuenta la aceleración espectral normada y las características geotécnicas del sitio para mejorar la resiliencia de la infraestructura educativa frente a eventos sísmicos de alta magnitud.

RECOMENDACIONES

PRIMERA

Se recomienda realizar estudios experimentales adicionales en componentes no estructurales y sistemas de refuerzo de equipos críticos como ascensores. Además, es aconsejable ampliar el análisis para incluir una mayor variedad de señales sísmicas y escenarios de carga, con el fin de perfeccionar las estrategias de mitigación sísmica y reforzamiento estructural (Chopra, 2012). Responsable: Esta iniciativa debe ser asumida por la gerencia de infraestructura de la UNSAAC, en colaboración con centros de investigación y expertos en ingeniería sísmica.

SEGUNDA

Es imperativo implementar programas de capacitación y preparación sísmica dirigidos a todos los usuarios del edificio. Estos programas deben garantizar que tanto el personal como los estudiantes estén familiarizados con los procedimientos de evacuación y las medidas de seguridad a seguir en caso de un sismo (OSHA, 2020). Responsable: El área de seguridad y salud ocupacional de la UNSAAC deberá liderar

la implementación de estos programas, con el apoyo de especialistas en gestión de riesgos.

TERCERA

Para mejorar la precisión y aplicabilidad de los modelos computacionales en la evaluación sísmica, es esencial ampliar las simulaciones para cubrir una gama más amplia de escenarios complejos, incorporando un mayor número de eventos sísmicos con diversas magnitudes, frecuencias y duraciones, así como secuencias sísmicas múltiples que pueden agravar el daño estructural. Además, es crucial considerar los efectos combinados de distintos tipos de sismos, como los interplaca, intraplaca y de subducción, y las variables geotécnicas y topográficas que amplifican los efectos sísmicos, como las condiciones del suelo y la proximidad a fallas activas. El uso de herramientas avanzadas de modelado, como OpenSees, SAP2000 y ETABS, permitirá simulaciones más detalladas que brinden una visión integral del comportamiento estructural. También se debe incorporar el análisis probabilístico para cuantificar la incertidumbre en los resultados, mejorando así las estrategias de diseño mediante enfoques como el Análisis Dinámico Incremental (IDA), que detalla la respuesta estructural según la intensidad sísmica. Los investigadores de la UNSAAC deben liderar el desarrollo de estas simulaciones con técnicas avanzadas de modelado (Chopra, 2012; Vamvatsikos y Cornell, 2002; Baker y Cornell, 2006; Mazzoni et al., 2007).

BIBLIOGRAFIA

- ACI318-19. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*. ACI 2019, EE.UU. <https://www.concrete.org/tools/318buildingcodeportal.aspx>
- Aguilar, M. A. (2010). *Diseño sísmico basado en desempeño para una edificación esencial de concreto reforzado*, Instituto tecnologico y de estudios superiores de monterrey. Mexico.
- Alvarez Moya, A. (2005). *Sobre la evaluación de riesgo de desastres naturales y vulnerabilidad de la comunidad utilizando sistemas de información geográficos*. scipedia. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132380843>
- ASCE 7-16, A. S. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other structures*. ASCE, EE.UU. www.asce.org
- ASTM A36, A. 3. (s.f.). *STANDAR SPECIFICATION FOR CARBOM STRUCTURAL STEEL*. ASTM INTERNATIONAL, EE.UU. <https://dickeysteel.com/images/A36.pdf>
- Baker, J. W., y Cornell, C. A. (2006). Spectral shape, epsilon and record selection. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*,. 2006.
- Belytschko, T., Liu, W. K., y Moran, B. (2013). *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*.
- Benavente, E. C., Cárdenas, R. J., Concha, N. d., Fernández, B. C., y Morales, R. M. (2010). Evidencias de paleosismos en la estratigrafía de la cuenca cuaternaria Cusco. *XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos.*, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3017>
- Benavente, E. C., Delgado, M. F., Taípe, M. E., Audin, L., y Pari, P. W. (2013). Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco. *INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico*, 55, 245 p., 1 mapa. *INGEMMET*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/296>
- Benavente, V. A., Fernández, B. C., y Noblega, G. (2004). *ESTUDIO DEL MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DEL CUSCO*. SIGRID. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4263>
- Bozzo, I., y Barbat, A. (2004). *Diseño sísmoresistente de edificios*. Barcelona: Reverte s.a.

- Cabrera Núñez, J. (1988). *Neotectónica y sismotectónica en la Cordillera de los Andes a nivel de cambio geométrico de subducción: la región de Cuzco (Perú), Paris [Tesis de Doctorado, Unisite Paris].* Theses.fr, Paris. <https://www.theses.fr/1988PA112234>
- Camargo Salazar, I. d. (2018). *Evaluacion del Riesgo ante un Evento Sísmico, Mediante Modelacion probabilistica y Herramientas SIG, con un Enfoque de Inteligencia territorial-Localidad de san Fe, Bogota - 2018 [Estudio de caso Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas].* repositorio institucional, Bogota. https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-de-Caso%3A-Evaluaci%C3%B3n-del-Riesgo-Ante-un-y-%2C-Salazar-Pilar/830ce32df5aded370f059336b605184a75d3d1bf#related-papers?utm_source=direct_link
- Carlotto, V. ., (1987). Aspectos geológicos del sismo del 05 de abril de 1986 en el Cusco. *Congreso Peruano de geologia, 6, Lima.*
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (4th ed.).* Prentice Hall.
- Chumpitaz, J. (2021). *Evaluación de métodos de estimación de Análisis Dinámico Incremental a partir de análisis estático no-lineal.* Escola de Camins UPC, Barcelona, España. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/358555/TFM%20Juan%20Chumpitaz%2021.06.21_FINAL.pdf
- Delgado Madera, G. F. (2012). Deslizamiento del cerro Picol: implicancias geodinámicas y neotectónicas. *Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, 6.* <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3231>
- E020. (2006). Norma E020: Cargas. *Reglamento Nacional de Edificaciones.* Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/1306673-e020>
- E030. (2018). *Norma E030: Diseño sismorresistente.* Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/1306673-e030>
- E060. (2018). Norma E060 Concreto Armado. *Reglamento Nacional de Edificaciones.* Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento., Lima. <https://www.minvu.gob.pe/normas-tecnicas/>
- Espinoza, V. T. (2011). *Ingenieria Sismica Basada en Desempeño.* Abril: Comunidad para la ingenieria civil .

- FEMA. (2006). *Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA P-58-1, n. (2018). *Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 1 - Methodology*. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, EE.UU. www.ATCCouncil.org
- FEMA P-58-2, n. (2018). *Seismic Performance assessment of Buildings Volumen 2 - Implementation Guide*. EE.UU.
- Ferj Vargas, M. S. (2016). *Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados y convencionales a través de un análisis de fragilidad-Chile [Tesis de Maestría, Universidad Católica de Chile]*. Repositorio.uc.cl. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/16895>
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics (5th ed.)*. SAGE Publications.
- Garcia Zuñiga , L., & Calderon Cari , J. (2018). *Evaluacion y aplicacion de la metodologia del analisis dinamico incremental, de la universdiad nacional de san agustin de arequipa*. Arequipa.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., y Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis (8th ed.)*. Cengage Learning.
- Herraiz Sarachaga, M. (1997). *CONCEPTOS BASICOS DE SISMOLOGIA PARA INGENIEROS*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingenieria - CISMID.
- Justo, C., y Michel, S. (1988). Surface rupture associated with a 5.3-mb earthquake: The 5 April 1986 Cuzco earthquake and kinematics of the Chincheros-Quoricocha faults of the High Andes, Peru. *Bulletin Of The Seismological Society of America*. <https://doi.org/10.1785/BSSA0880010242>
- Kelly, J. M. (1997). *Earthquake-Resistant Design with Rubber*. Springer Science & Business Media.
- Kuglitsch, M. A.-G. (2022). *La inteligencia artificial aplicada a la reducción de riesgos de desastre: oportunidades, retos y perspectivas*. 2022. repositorio.aemet.es.
https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&as_ylo=2020&q=La+inteligencia+artificial+aplicada+a+la+reducci%C3%B3n+de+riesgos+de+desastre%3A+oportunidades%2C+retos+y+perspectivas&btnG=
- Madera, F. D. (2011). Evaluacion ingeniero-geologica del cerro picol. *INGEMMET*.

- Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., y Fenves, G. L. (2007). *OpenSees Command Language Manual*. Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center.
- McKenna, F., Fenves, G. L., y Scott, M. H. (2010). *OpenSees: A Framework for Earthquake Engineering Simulation*. *Computing in Science & Engineering*.
- Melgarejo quispe ynga, j., y vargas arias, r. (2017). Analisis comparativo de la respuesta sismica aplicada al edificio de SEDA CUSCO con y sin dispositivos reductores de energia sismica mediante un analisis sísmico dinamico . cusco .
- Mendoza Peña, M. A. (30 de abril de 2013). *Sismos en la región Cusco-Perú*. <http://sismosencusco.blogspot.com/>
- Meza Tintaya, E. (2015). *Evaluacion del Desepeño Sísmico de un Edificio Aislado con Irregularidad Torsional - Lima [Tesis Maestria, Pontificia Universidad catolica del Peru]*. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/21624>
- Moehle J, H. J. (2016). *Seismic Design of Reinforced Concrete Special Moment frames*. NEHRP. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.GCR.16-917-40>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments (9th ed.)*. Wiley.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., y Vining, G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis (5th ed.)*. Wiley.
- MVCS. (2019). *Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente. En Reglamento Nacional de Edificaciones (pp. 1-20)*. MVCS. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.elperulegal.com/2019/02/norma-tecnica-e030-diseno.html>
- Navarro Lopez, C., y Fernandez Villegas, J. (s.f.). *desempeño sísmico de un edificio aporticado de seis pisos diseñados con las normas de edificaciones*.
- NIST GCR 10-917-5, N. (2010). *Nonlinear Structural analysis For Seismic Design*. NIST, EE.UU. www.atcouncil.org
- Ojeda, R. (2001). *Guía de Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa*. Editorial o institución.
- OSHA. (2020). Occupational Safety and Health Administration. *Evacuation Plans and Procedures eTool*. . OSHA.

- Peralta Álvarez, M. G. (2012). *Análisis estático no lineal y análisis dinámico no lineal del Hospital de Vielha-España [tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña]*. UPCommons. <http://hdl.handle.net/2099.1/17872>
- Perez Carlos, T. R. (2022). *Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio de Muros Estructurales de Mediana Altura en Base a Desplazamientos y Costos de Reparación Probables*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/23901>
- Posadinu, E. (2023). *Inteligencia artificial para la prevención de desastres naturales y resolución de problemas ambientales. Un estudio aplicado al archipiélago canario - 2023 [Mater Univeritat Oberta de catalunya]*. Repositori Institucional. <http://hdl.handle.net/10609/147672>
- Silgado Ferro, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513 -1974) - [Boletín C 3]. *INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; n° 3*, 130. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/251>
- Tavera, H., Esquia, B., Isabel, Y., y Salas, H. (2007). *El sismo de Pisco del 15 de agosto, 2007 (7.9Mw), departamento de Ica - Perú (informe preliminar)*. Instituto Geofísico del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1115>
- Tavera, H., y Buforn, E. (1998). Sismicidad y Sismotectónica de Perú. *Servicio de publicaciones Universidad de Coplutense*.
- Vamvatsikos, D., y Cornell, C. A. (2002). *Incremental dynamic analysis*. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*,. <https://doi.org/10.1002/eqe.141>
- Vamvatsikos, D., y Cornell, C. A. (2004). *Applied incremental dynamic analysis*. *Earthquake Spectra*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1193/1.1737737>
- Vamvatsikos, D., y Cornell, C. A. (2005). *Direct estimation of seismic demand and capacity of multidegree-of-freedom systems through incremental dynamic analysis of single degree of freedom approximation*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2005\)131:4\(589\)](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:4(589))
- Vamvatsikos, D., y Fragiadakis, M. (2010). *Incremental dynamic analysis for estimating seismic performance sensitivity and uncertainty*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/eqe.935>
- Velásquez Vargas, J. M. (2009). *Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos mediante curvas de fragilidad analíticas-Lima [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/135>

- Walls., S. (2004). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington, DC: ASCE for the Federal Emergency Management Agency. *FEMA 356*.
- Yamin Lacouture, L. (2015). *Riesgo sísmico de edificaciones en términos de pérdidas económicas mediante integración de costos de reparación de componentes - 2015 [Tesis doctoral Universidad Politecnica de Catalunya]*. Repositorio Institucional, Catalunya. https://www.semanticscholar.org/paper/Riesgo-s%C3%ADsmico-de-edificaciones-en-t%C3%A9rminos-de-de-Lacouture-Eduardo/d016b435edaa18f669465278b7f83ac93f18265a?utm_source=direct_link
- Yamin, E., y Rincon, R. (2017). *Estrategia de Reduccion del riesgo sísmico de edificaciones escolares Publicas del peru*. www.worldbank.org
- Yauri Condo, S. (2015). Escenario de Riesgo Sísmico y Movimiento en Masa Producido por la Reactivación de la Falla Tambomachay. Provincia de Cusco. *Dirección de Preparación - CEPIG - INDECI, 87*. <https://doi.org/www.indeci.gob.pe>
- Yépez Moya, F. (1996). *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación, España [Tesis de Doctorado Univerisdad Politecnica de Cataluña]*. Repositorio Institucional, Barcelona. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=243849>

APÉNDICE

APÉNDICE 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES/DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA	RECOMENDACIONES
<p>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</p> <p>¿Cuál es el nivel de riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, considerando la interacción entre las condiciones dinámicas incrementales, la vulnerabilidad estructural y el peligro sísmico en la región del Cusco, y cómo estas variables influyen en el desempeño sísmico de la estructura ante eventos sísmicos?</p> <p>2. INTERROGANES ESPECÍFICAS</p> <p>a) ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad estructural del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024 ante diferentes niveles de carga sísmica incremental, y cuáles son las zonas críticas de la estructura más susceptibles a fallos?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el nivel de riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, frente a condiciones dinámicas incrementales, utilizando herramientas de análisis sísmico y normativas técnicas aplicables.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Identificar las zonas críticas de vulnerabilidad estructural del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024 ante cargas sísmicas incrementales, utilizando análisis no lineal dinámico y modelos computacionales.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Si se aplican condiciones dinámicas incrementales al edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, entonces se identificará que el nivel de riesgo sísmico es moderado, lo que permitirá validar que la estructura puede mantener una operatividad segura durante un evento sísmico.</p> <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) Si se analizan las características estructurales del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC bajo condiciones dinámicas incrementales en 2024, entonces se determinará que la vulnerabilidad estructural es moderada.</p>	<p>Variable independiente Condiciones dinámicas incrementales (X) Dimensiones X1. Aceleración máxima.</p> <p>Variable dependiente Riesgo sísmico (Y).</p> <p>Dimensiones Y1. Y2. Peligro sísmico. Y3. Nivel de desempeño. Y4. Objetivo de desempeño. Y5. Fuerza cedente. Y6. Fuerza de diseño.</p>	<p>Tipo de investigación: La investigación es de tipo cuantitativa y no experimental, ya que se centra en la evaluación del desempeño sísmico mediante el Análisis Dinámico Incremental (IDA), permitiendo identificar y cuantificar la vulnerabilidad estructural y el peligro sísmico del edificio.</p> <p>Diseño de la investigación: El diseño de la investigación es no experimental y correlacional, ya que se basa en la observación y análisis de datos históricos sísmicos y características estructurales del edificio, explorando las relaciones entre variables como la vulnerabilidad estructural y el peligro sísmico.</p>	<p>1. Reforzamiento estructural: Se recomienda realizar un reforzamiento en los niveles superiores del edificio para mejorar su desempeño, alcanzando niveles de "Ocupación Inmediata" o "Control de Daños". Esta tarea debe ser coordinada por la gerencia de infraestructura de la UNSAAC y ejecutada con empresas especializadas.</p> <p>2. Evaluaciones sísmicas periódicas: Es esencial realizar evaluaciones periódicas y actualizar el diseño estructural en función de los avances tecnológicos y nuevos datos sísmicos. Este proceso estará a cargo del equipo de mantenimiento y expertos en ingeniería estructural.</p> <p>3. Capacitación y preparación sísmica: Se sugiere implementar programas de capacitación para que el personal y estudiantes del edificio estén familiarizados con los procedimientos de seguridad y evacuación en caso de un sismo.</p> <p>4. Investigaciones futuras: Se recomienda continuar los estudios experimentales sobre componentes estructurales para validar los modelos utilizados y explorar nuevas tecnologías de mitigación sísmica.</p>

<p>b) ¿Cuál es la magnitud del peligro sísmico en la región del Cusco y cómo influye este en el comportamiento sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024?</p> <p>c) ¿Cómo se desempeñará sísmicamente el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024 bajo condiciones dinámicas incrementales, y en qué medida cumple con los criterios de seguridad establecidos por las normativas sísmicas actuales?</p>	<p>b) Analizar el peligro sísmico que enfrenta el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024, a través del estudio de registros sísmicos históricos y datos geotécnicos del sitio, y establecer el valor específico de la aceleración sísmica esperada (g).</p> <p>c) Clasificar el nivel de desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024 bajo condiciones dinámicas incrementales, utilizando simulaciones y modelado avanzado, de acuerdo con los estándares de desempeño estructural (Ocupación Inmediata, Daño controlado, Seguridad de vida, Seguridad limitada, y Estabilidad estructural).</p>	<p>b) Si se integran los registros sísmicos históricos y los estudios geotécnicos del sitio, entonces se establecerá que el peligro sísmico para el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024 excederá los 0.25g.</p> <p>c) Si se evalúa el desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC mediante simulaciones avanzadas en 2024, entonces se clasificará como operativo, cumpliendo con los estándares mínimos de seguridad post-sismo.</p>	<p>Ámbito de estudio: El ámbito de la investigación es geográfico y se centra en la ciudad de Cusco, Perú, específicamente en el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).</p> <p>Población: Son todas las edificaciones educativas en la ciudad de Cusco que comparten características similares en términos de diseño estructural y exposición a riesgos sísmicos</p> <p>Muestra: La muestra seleccionada es el edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC.</p> <p>Técnicas de recolección de datos: Tenemos la recopilación de registros sísmicos históricos, la modelación</p>	<p>5. Tecnologías de mitigación sísmica: Es recomendable investigar e implementar tecnologías avanzadas, como dispositivos de disipación de energía y sistemas de aislamiento sísmico, para mejorar el desempeño sísmico del edificio.</p> <p>Contribución de la investigación al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: La investigación presentada en la tesis contribuye significativamente a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En primer lugar, el ODS 4, "Educación de calidad", se aborda mediante la mejora de la seguridad y resiliencia de las infraestructuras educativas, garantizando su funcionalidad durante y después de eventos sísmicos, asegurando la continuidad educativa en situaciones de desastre. En</p>
---	---	---	---	--

<p>d) ¿Cuáles son los principales factores que determinan el desempeño sísmico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024, y cómo se pueden optimizar para mejorar su resiliencia estructural?</p> <p>e) ¿Cuál es la fuerza de cedencia y el comportamiento post-elástico del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en el año 2024 bajo condiciones dinámicas incrementales, y cómo estos factores influyen en la capacidad del edificio para resistir sismos severos?</p>	<p>d) Establecer los criterios de diseño necesarios para garantizar la funcionalidad y seguridad post-sismo del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024, considerando los resultados obtenidos del análisis de desempeño sísmico.</p> <p>e) Determinar los umbrales de comportamiento elástico y plástico de la estructura del edificio de la Facultad de Comunicaciones de la UNSAAC en 2024, bajo condiciones dinámicas incrementales, para prever su respuesta ante eventos sísmicos severos.</p>	<p>d) Si se consideran las normas de diseño sísmico y los resultados del análisis de desempeño, entonces se diseñará un objeto enfocado en la seguridad del edificio ante condiciones dinámicas incrementales en 2024.</p> <p>e) Si se comparan las fuerzas en la cedencia y en el diseño de la estructura bajo condiciones dinámicas incrementales en 2024, entonces se demostrará que la fuerza en la cedencia superará en un 20% la fuerza de diseño original.</p>	<p>computacional del edificio (ETABS v18) y el Análisis Dinámico Incremental (IDA)</p> <p>Instrumentos: Los principales instrumentos utilizados incluyeron el software ETABS v18 para la modelación estructural, registros sísmicos representativos de la región, y programas de tratamiento de señales sísmicas como SeismoSignal y SeismoMatch para el ajuste y escalamiento de sismos</p>	<p>cuanto al ODS 9, "Industria, innovación e infraestructura", el estudio promueve el desarrollo de infraestructuras resilientes al implementar tecnologías de mitigación sísmica, mejorando la capacidad de las estructuras para resistir sismos. Finalmente, respecto al ODS 11, "Ciudades y comunidades sostenibles", se centra en la planificación urbana resiliente frente a desastres naturales, proponiendo estrategias para reforzar edificaciones y garantizar la seguridad en zonas sísmicamente activas como Cusco.</p>
--	---	---	---	--

Nota: Elaboración Propia.

APÉNDICE 2. INSTRUMENTOS

REGISTROS SÍSMICOS

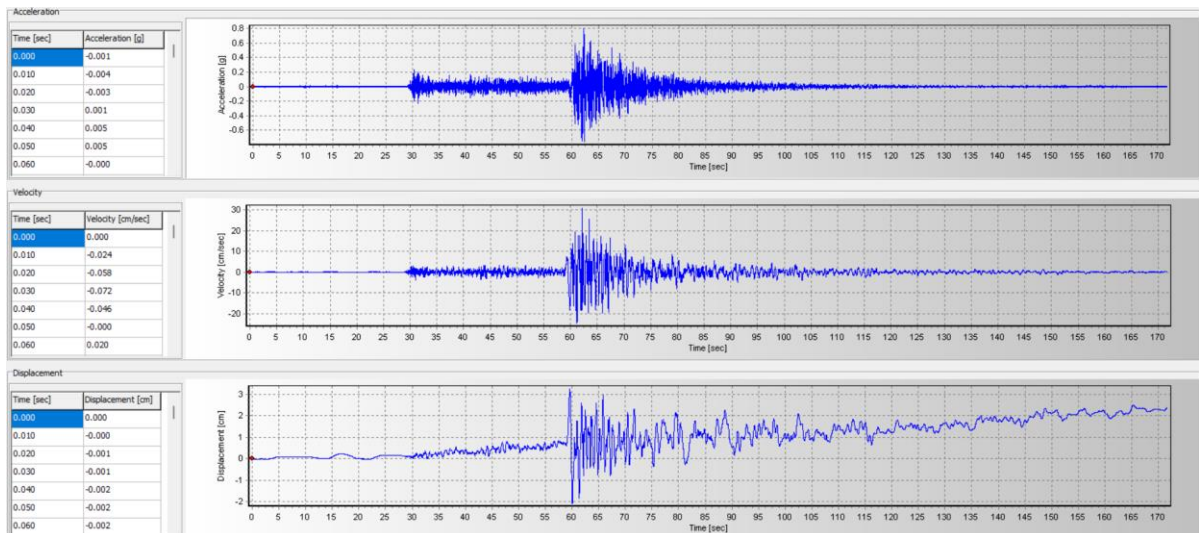
Caraveli XX - intensidad 4.9 – Cusco 15 de diciembre del 2019

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
CENTRO NACIONAL DE MONITOREO SISMICO
Calle Calatrava 216 - La Molina 15023
<http://www.igp.gob.pe>

1. ESTACION SISMICA
NOMBRE : CARAVELI-AREQUIPA
CODIGO : CARV
LATITUD : -15.8
LONGITUD: -73.4

2. SISMO
FECHA LOCAL : 2019/12/15
HORA LOCAL : 14:23:38
LATITUD : -14.32
LONGITUD : -72.2
PROFUNDIDAD : 98 km
MAGNITUD : M4.9
DIST. EPICENTRAL: 204.8 km

3. REGISTRO DE ACELERACION
TIEMPO DE INICIO : 2019/12/15 19:23:48 UTC
NUMERO DE MUESTRAS : 13107
MUJESTREO : 100muestras/segundo
REGISTROS : Formato corregido por instrumento
CORRECCION POR LINEA BASE : Si
UNIDADES : cm/s²
REGISTROS POR COMPONENTE : Z: Vertical N: Norte-Sur E: Este-Oeste
PGA : 0.8545 0.5384 0.6664



Espinar YY - intensidad 6.0 – Cusco 01 de diciembre del 2016

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ
CENTRO NACIONAL DE MONITOREO SÍSMICO
Calle Calatrava 216 - La Molina 15023
<http://www.igp.gob.pe>

1. ESTACIÓN SÍSMICA

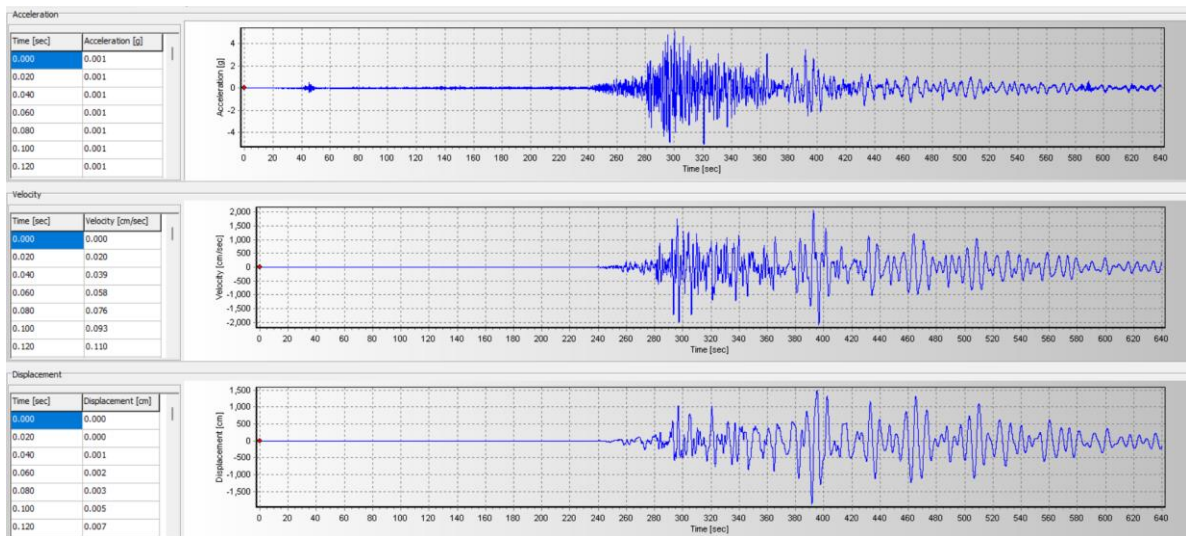
NOMBRE : ESPINAR-CUZCO
CÓDIGO : ESPI
LATITUD : -14.8
LONGITUD : -71.4

2. SISMO

FECHA LOCAL : 2016/12/01
HORA LOCAL : 17:40:25
LATITUD : -15.44
LONGITUD : -70.93
PROFUNDIDAD : 10 km
MAGNITUD : 6.0 ML
DIST. EPICENTRAL: 88.8 km

3. REGISTRO DE ACELERACIÓN

TIEMPO DE INICIO : 2016/12/01 22:00:07 UTC
NÚMERO DE MUESTRAS : 44001
MUESTREO : 200 muestras/segundo
REGISTROS : Formato corregido por instrumento
CORRECCIÓN POR LÍNEA BASE : Si
UNIDADES : cm/s²
REGISTROS POR COMPONENTE : Z: Vertical N: Norte-Sur E: Este-Oeste
PGA : 4.2103 5.8279 5.9722



Sullana XX - intensidad 6.1 – Piura 01 de octubre del 2022

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
CENTRO NACIONAL DE MONITOREO SISMICO
Calle Calatrava 216 - La Molina 15023
<http://www.igp.gob.pe>

1. ESTACION SISMICA

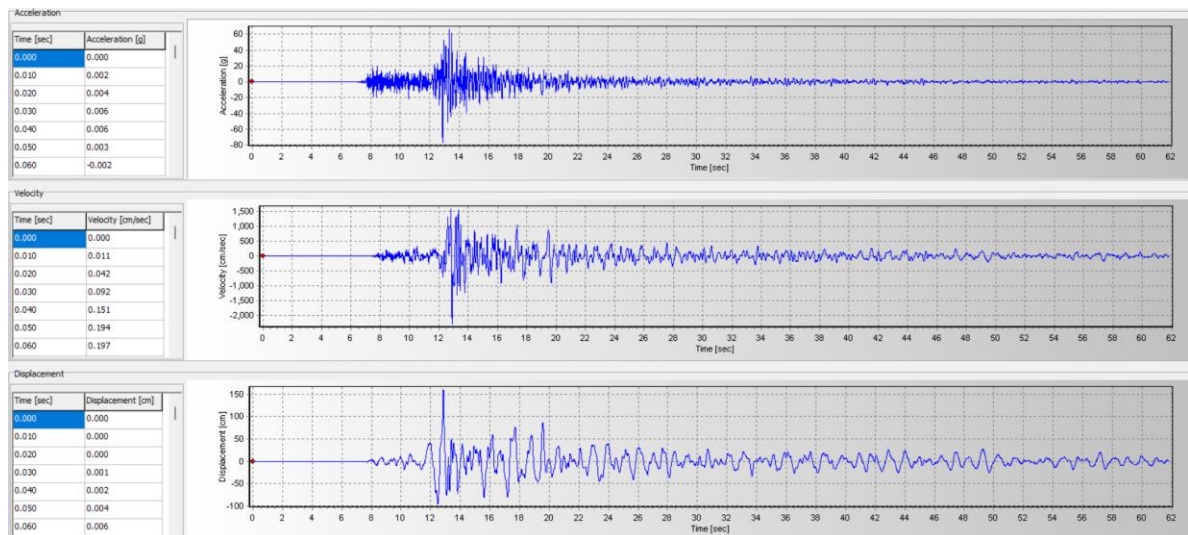
NOMBRE : Sullana, Piura
CODIGO : SULL
LATITUD : -4.901
LONGITUD: -80.684

2. SISMO

FECHA LOCAL : 2022/10/05
HORA LOCAL : 03:26:17
LATITUD : -4.920
LONGITUD : -80.800
PROFUNDIDAD : 25.0 km
MAGNITUD : M6.1
DIST. EPICENTRAL: 13.0 km

3. REGISTRO DE ACELERACION

TIEMPO DE INICIO : 2022/10/05 08:26:19 UTC
NUMERO DE MUESTRAS : 6188
MUESTREO : 100.0 muestras/segundo
REGISTROS : Formato corregido por instrumento
CORRECCION POR LINEA BASE : Si
UNIDADES : cm/s²
REGISTROS POR COMPONENTE : Z: Vertical N: Norte-Sur E: Este-Oeste
PGA : 46.0420 80.5447 45.8962



Ayaviri YY - intensidad 6.1 – Puno 26 de mayo del 2022

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
 CENTRO NACIONAL DE MONITOREO SISMICO
 Calle Calatrava 216 - La Molina 15023
<http://www.igp.gob.pe>

1. ESTACION SISMICA

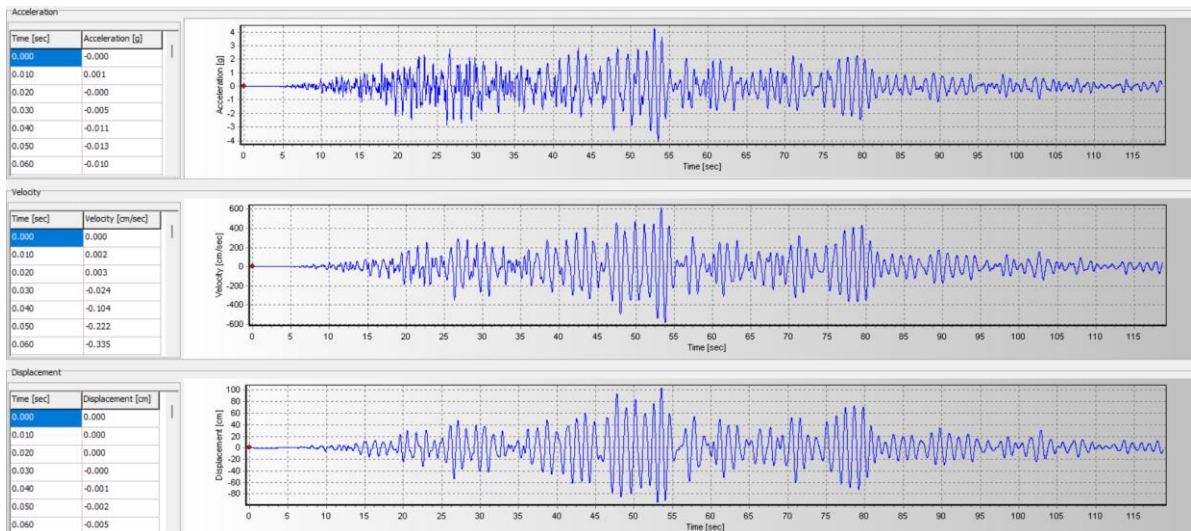
NOMBRE : Azángaro, Puno
 CODIGO : AZPV
 LATITUD : -14.913
 LONGITUD : -70.200

2. SISMO

FECHA LOCAL : 2022/05/26
 HORA LOCAL : 07:02:18
 LATITUD : -14.800
 LONGITUD : -70.420
 PROFUNDIDAD : 240.0 km
 MAGNITUD : M6.9
 DIST. EPICENTRAL: 26.8 km

3. REGISTRO DE ACELERACION

TIEMPO DE INICIO : 2022/05/26 12:02:45 UTC
 NUMERO DE MUESTRAS : 11879
 MUESTREO : 100.0 muestras/segundo
 REGISTROS : Formato corregido por instrumento
 CORRECCION POR LINEA BASE : Si
 UNIDADES : cm/s²
 REGISTROS POR COMPONENTE : Z: Vertical N: Norte-Sur E: Este-Oeste
 PGA : 2.5318 3.8828 3.4833



Alto Purús XX - intensidad 7 – Madre de Dios 24 de agosto del 2021

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ
CENTRO NACIONAL DE MONITOREO SÍSMICO
Calle Calatrava 216 - La Molina 15023
<http://www.igp.gob.pe>

1. ESTACIÓN SÍSMICA

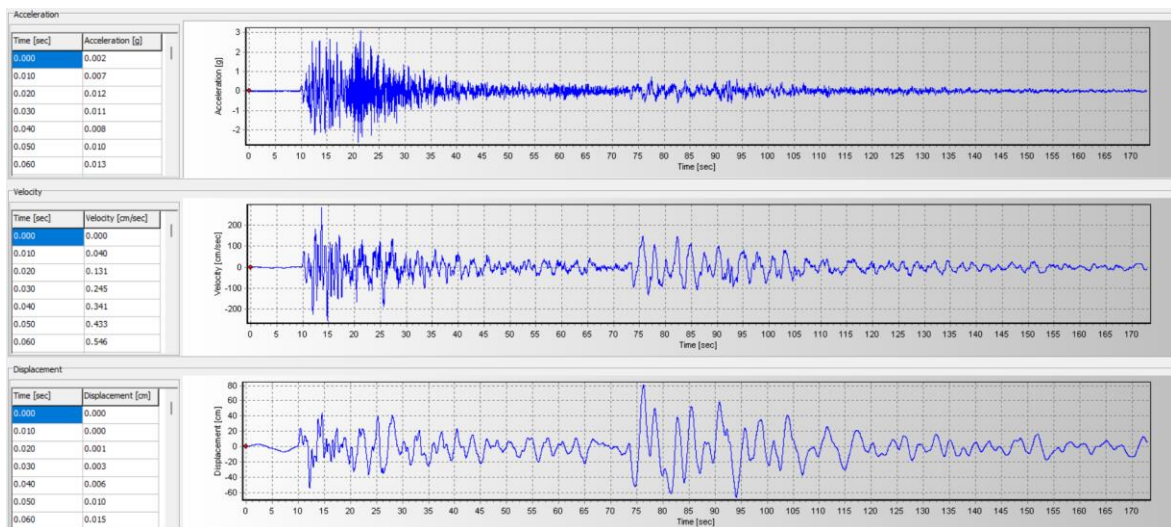
NOMBRE : SANTA ANA-CUZCO
CÓDIGO : CONV
LATITUD : -12.9
LONGITUD: -72.7

2. SISMO

FECHA LOCAL : 2018/08/24
HORA LOCAL : 04:03:50
LATITUD : -10.77
LONGITUD : -70.82
PROFUNDIDAD : 657 km
MAGNITUD : 7.0 ML
DIST. EPICENTRAL: 309.9 km

3. REGISTRO DE ACELERACIÓN

TIEMPO DE INICIO : 2018/08/24 09:05:24 UTC
NÚMERO DE MUESTRAS : 17301
MUESTREO : 100 muestras/segundo
REGISTROS : Formato corregido por instrumento
CORRECCIÓN POR LÍNEA BASE : Si
UNIDADES : cm/s²
REGISTROS POR COMPONENTE : Z: Vertical N: Norte-Sur E: Este-Oeste
PGA : 4.2231 3.1556 2.9377



Santa Maria Nieva YY - intensidad 7.5 – Amazonas 28 de noviembre del 2021

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
CENTRO NACIONAL DE MONITOREO SISMICO
Calle Calatrava 216 - La Molina 15023
<http://www.igp.gob.pe>

1. ESTACION SISMICA

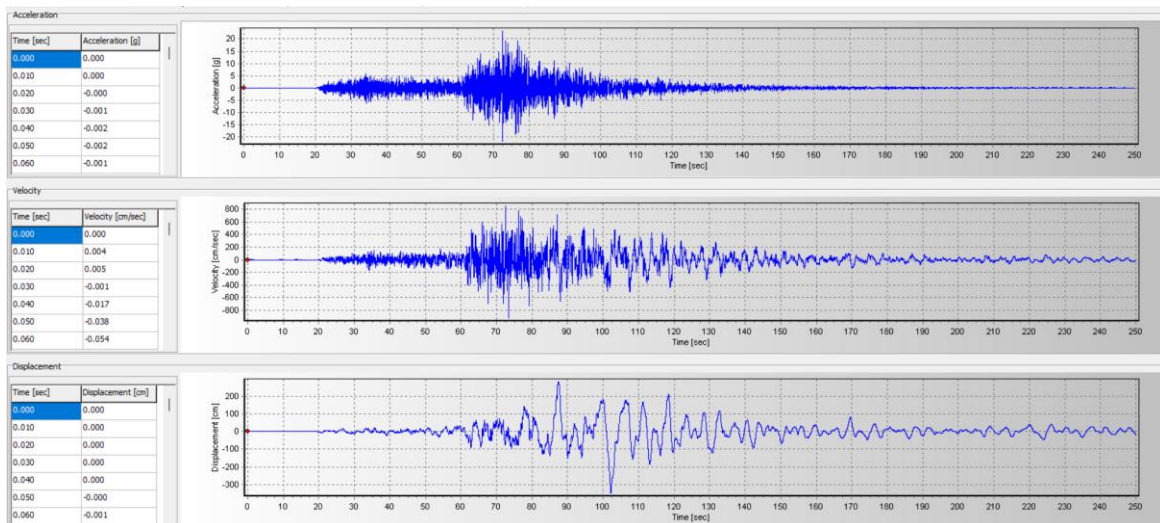
NOMBRE : CHICLAYO-LAMBAYEQUE
CODIGO : CHYA
LATITUD : -6.770
LONGITUD: -79.856

2. SISMO

FECHA LOCAL : 2021/11/28
HORA LOCAL : 05:52:12
LATITUD : -4.44
LONGITUD : -77
PROFUNDIDAD : 131 km
MAGNITUD : M7.5
DIST. EPICENTRAL: 409.1 km

3. REGISTRO DE ACELERACION

TIEMPO DE INICIO : 2021/11/28 10:52:47 UTC
NUMERO DE MUESTRAS : 25001
MUESTREO : 100muestras/segundo
REGISTROS : Formato corregido por instrumento
CORRECCION POR LINEA BASE : Si
UNIDADES : cm/s²
REGISTROS POR COMPONENTE : Z: Vertical N: Norte-Sur E: Este-Oeste
PGA : 15.5802 20.6510 24.1414



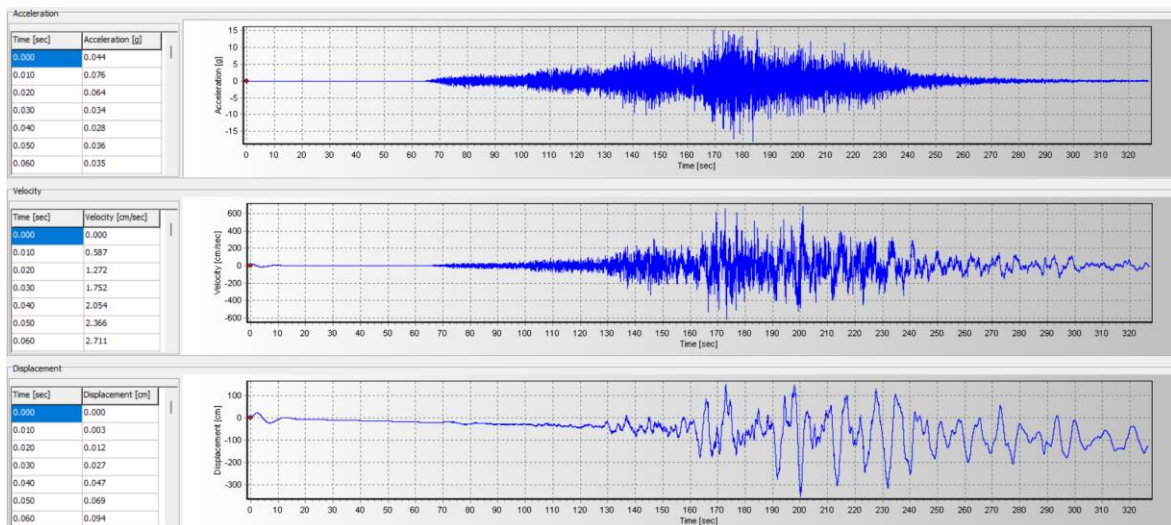
PL XX - intensidad 8.0 –26 de mayo del 2019

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
CENTRO NACIONAL DE MONITOREO SISMICO
Calle Calatrava 216 - La Molina 15023
<http://www.igp.gob.pe>

1. ESTACION SISMICA
NOMBRE : ANCON-LIMA
CODIGO : ANCA
LATITUD : -11.8
LONGITUD: -77.2

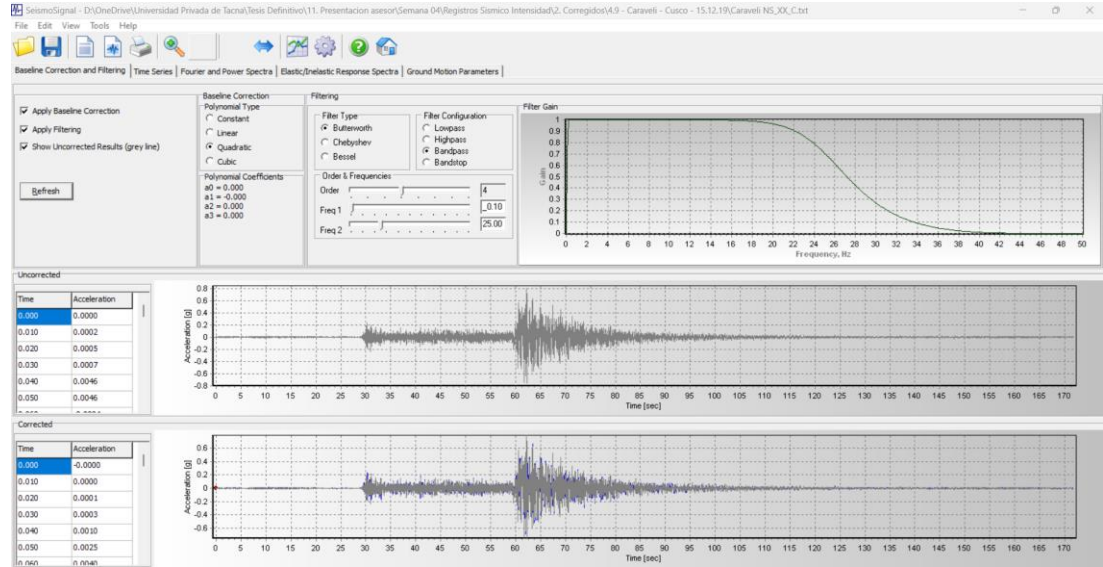
2. SISMO
FECHA LOCAL : 2019/05/26
HORA LOCAL : 02:41:12
LATITUD : -5.74
LONGITUD : -75.55
PROFUNDIDAD : 135.0 km
MAGNITUD : M8.0
DIST. EPICENTRAL: 694.7 km

3. REGISTRO DE ACCELERACION
TIEMPO DE INICIO : 2019/05/26 07:41:39 UTC
NUMERO DE MUESTRAS : 45294
MUESTREO : 100muestras/segundo
REGISTROS : Formato corregido por instrumento
CORRECCION POR LINEA BASE : Si
UNIDADES : cm/s²
REGISTROS POR COMPONENTE : Z: Vertical N: Norte-Sur E: Este-Oeste
PGA : 13.9182 20.0760 21.9304

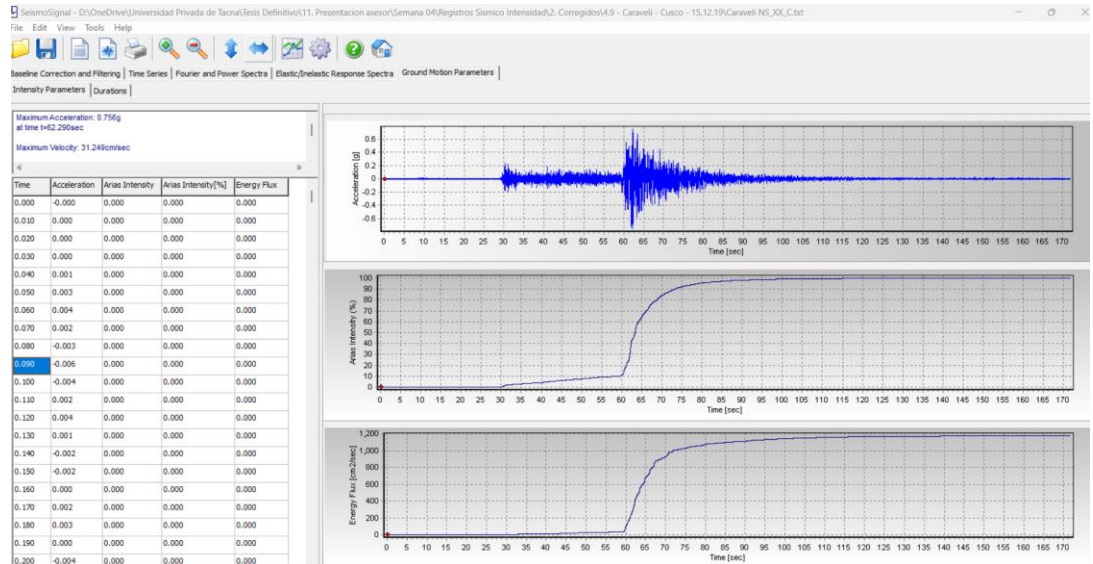


TRATAMIENTO DE REGISTROS SÍSMICOS

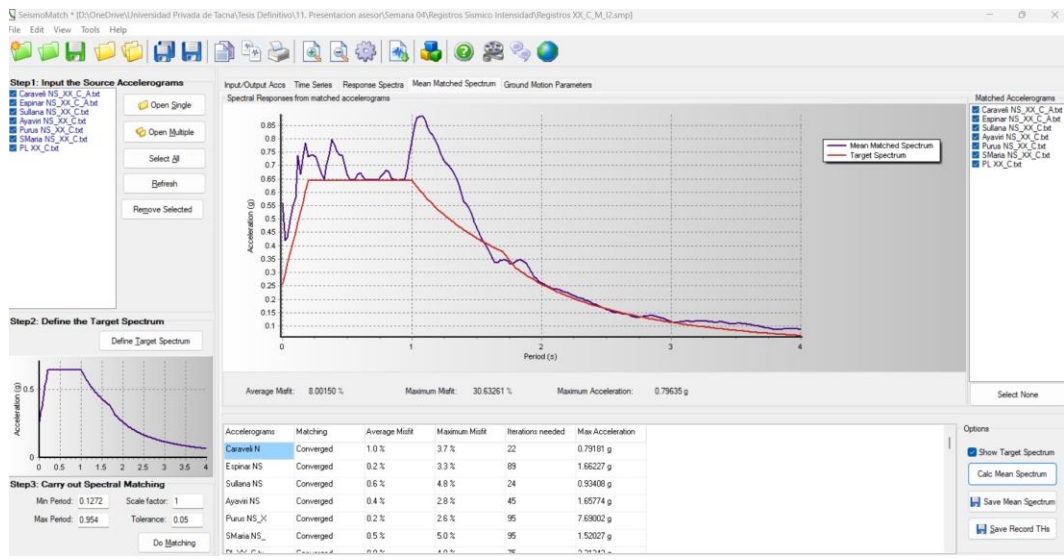
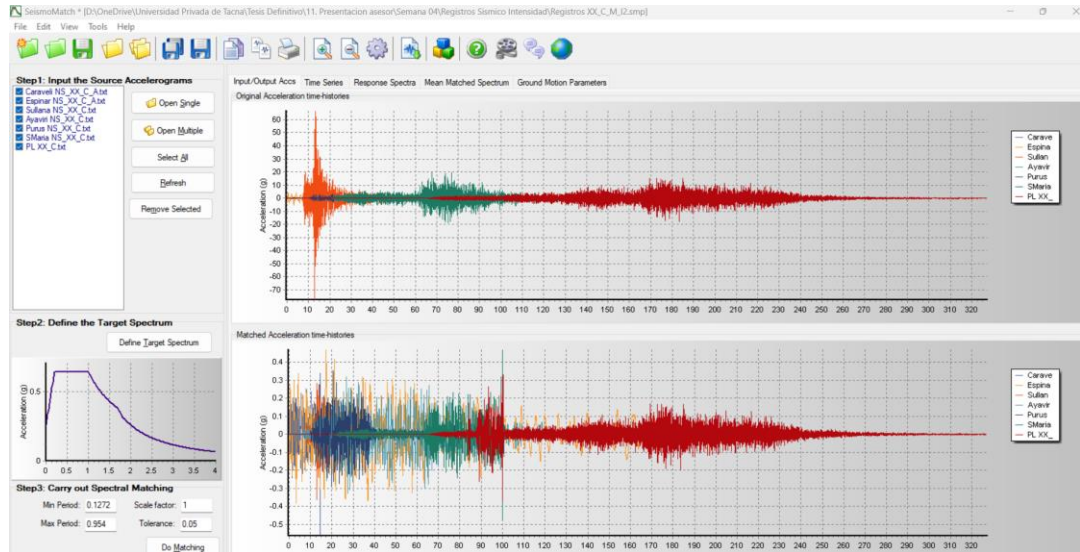
Corrección línea base y filtrado de ruidos



Intensidad de arias



Escalamiento de sismos



MODELACIÓN NO LINEAL PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Definición de concreto y acero

– Concreto f_c : 280 kg/cm²

The image shows two overlapping dialog boxes for defining material properties. The left dialog is 'Material Property Data' and the right is 'Nonlinear Material Data'.

Material Property Data (Left):

- Material Name: F.C.280KG/CM2
- Material Type: Concrete
- Directional Symmetry Type: Isotropic
- Material Display Color: (Red)
- Material Notes: (Empty)
- Material Weight and Mass:
 - Specify Weight Density (Selected)
 - Weight per Unit Volume: 2.4 tonf/m³
 - Mass per Unit Volume: 0.244732 tonf-g³/m
- Mechanical Property Data:
 - Modulus of Elasticity, E: 2510000 tonf/m²
 - Poisson's Ratio, U: 0.15
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C
 - Shear Modulus, G: 1091304.35 tonf/m²
- Design Property Data: (Empty)
- Advanced Material Property Data: (Empty)

Nonlinear Material Data (Right):

- Material Name and Type:
 - Material Name: F.C.280KG/CM2
 - Material Type: Concrete, Isotropic
- Miscellaneous Parameters:
 - Hysteresis Type: Concrete
 - Drucker-Prager Parameters:
 - Friction Angle: 0 deg
 - Dilatational Angle: 0 deg
 - Stress Strain Curve Definition Options:
 - Parametric (Selected): Mander
 - User Defined (Unselected)
- Acceptance Criteria Strains:

	Tension	Compression	Unit
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m
- Parametric Strain Data:

Strain at Unconfined Compressive Strength, F _c	0.002
Ultimate Unconfined Strain Capacity	0.004
Final Compression Slope (Multiplier on E)	-0.1

– Concreto f_c : 350 kg/cm²

The image shows two overlapping dialog boxes for defining material properties. The left dialog is 'Material Property Data' and the right is 'Nonlinear Material Data'.

Material Property Data (Left):

- Material Name: CONCRT350
- Material Type: Concrete
- Directional Symmetry Type: Isotropic
- Material Display Color: (Green)
- Material Notes: (Empty)
- Material Weight and Mass:
 - Specify Weight Density (Selected)
 - Weight per Unit Volume: 2.4 tonf/m³
 - Mass per Unit Volume: 0.2448 tonf-s²/m⁴
- Mechanical Property Data:
 - Modulus of Elasticity, E: 2810000 tonf/m²
 - Poisson's Ratio, U: 0.15
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C
 - Shear Modulus, G: 1221739.13 tonf/m²
- Design Property Data: (Empty)
- Advanced Material Property Data: (Empty)
- Modulus of Rupture for Cracked Deflections:
 - Program Default (Based on Concrete Slab Design Code) (Selected)
 - User Specified: (Empty)

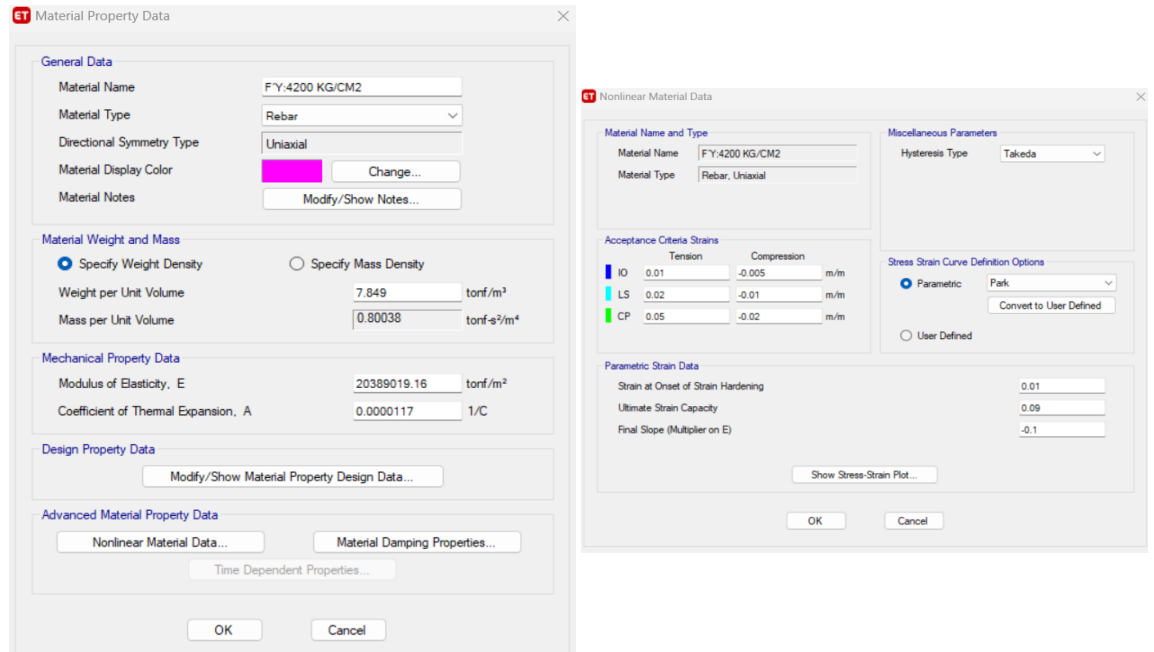
Nonlinear Material Data (Right):

- Material Name and Type:
 - Material Name: CONCRT350
 - Material Type: Concrete, Isotropic
- Miscellaneous Parameters:
 - Hysteresis Type: Concrete
 - Drucker-Prager Parameters:
 - Friction Angle: 0 deg
 - Dilatational Angle: 0 deg
 - Stress Strain Curve Definition Options:
 - Parametric (Selected): Simple
 - User Defined (Unselected)
- Acceptance Criteria Strains:

	Tension	Compression	Unit
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m
- Parametric Strain Data:

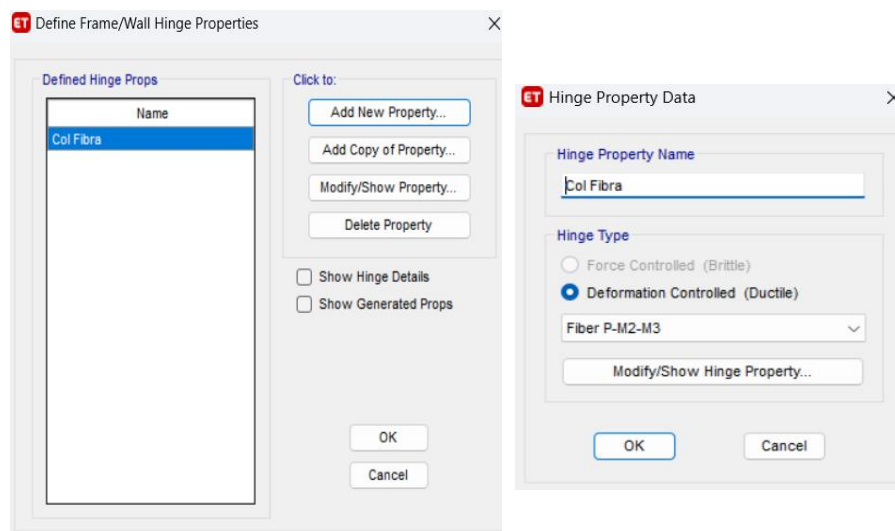
Strain at Unconfined Compressive Strength, F _c	0.002219
Ultimate Unconfined Strain Capacity	0.005
Final Compression Slope (Multiplier on E)	-0.1

- Acero grado 60 fy: 4200 kg/cm²

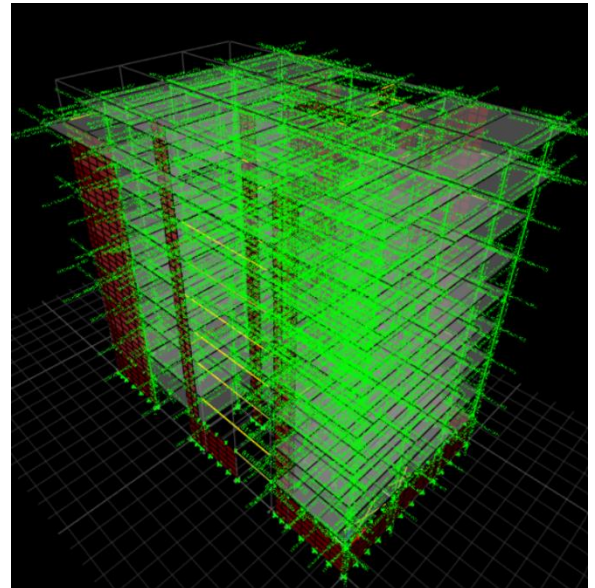
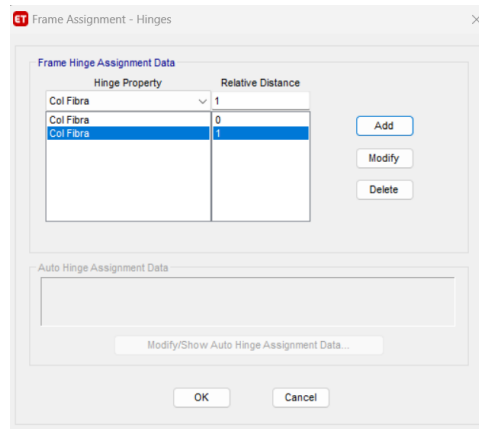


Asignación de rotulas en elementos de concreto.

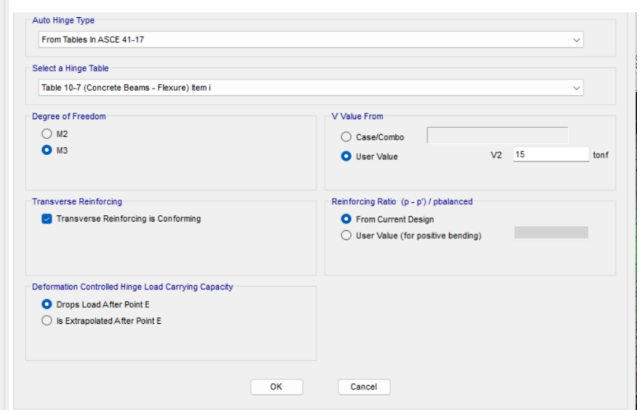
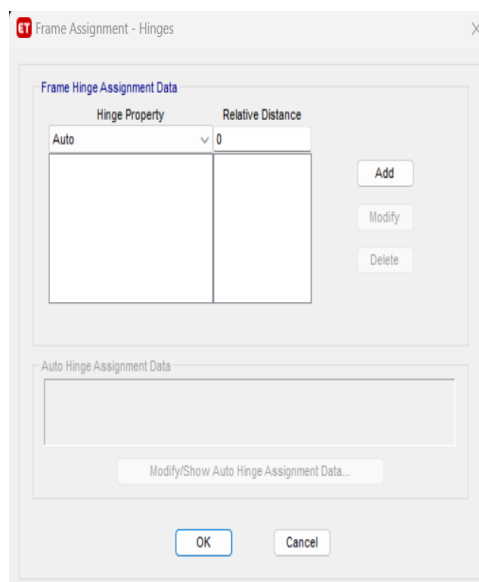
- Creación de modelo tipo fibra en columnas



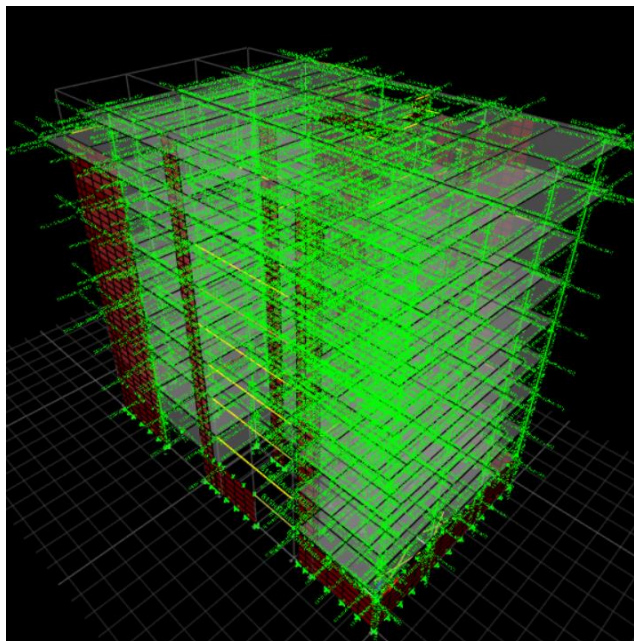
– **Asignación de col fibra en el modelo**



– **Creación de rotulas plásticas concentradas en vigas**



– Asignación rotulas de vigas en el modelo



Asignación de no linealidad al acero de refuerzo

– En columnas

ET Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

Reinforcement Configuration

Rectangular

Circular

Rebar Material

Longitudinal Bars: FY:4200 KG/CM2

Confinement Bars (Ties): FY:4200 KG/CM2

Confinement Bars

Ties

Spirals

Check/Design

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 0.04 m

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size and Area: #8 0.00051 m²

Corner Bar Size and Area: #8 0.00051 m²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: #3 0.000071 m²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 0.15 m

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

Property Modifiers: Modify/Show Modifiers... (Currently Default)

Reinforcement: Modify/Show Rebar...

OK Cancel

– En vigas

ET Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: FY:4200 KG/CM2

Confinement Bars (Ties): FY:4200 KG/CM2

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: 0.0008 m²

Top Bars at J-End: 0.0008 m²

Bottom Bars at I-End: 0.0004 m²

Bottom Bars at J-End: 0.0004 m²

OK Cancel

Efecto cíclico en elementos estructurales

— Concreto

Nonlinear Material Data

Material Name and Type
 Material Name: F.C.280KG/CM2
 Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters
 Hysteresis Type: Takeda
 Drucker-Prager Parameters
 Friction Angle: 0 deg
 Dilatational Angle: 0 deg

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	Unit
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m

 Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options
 Parametric: Mander
 User Defined
 Convert to User Defined

Parametric Strain Data
 Strain at Unconfined Compressive Strength, f_c : 0.002
 Ultimate Unconfined Strain Capacity: 0.004
 Final Compression Slope (Multiplier on E): -0.1

Show Stress-Strain Plot...
 OK Cancel

Nonlinear Material Data

Material Name and Type
 Material Name: F.C. 350 KG/CM2
 Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters
 Hysteresis Type: Takeda
 Drucker-Prager Parameters
 Friction Angle: 0 deg
 Dilatational Angle: 0 deg

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	Unit
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m

 Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options
 Parametric: Mander
 User Defined
 Convert to User Defined

Parametric Strain Data
 Strain at Unconfined Compressive Strength, f_c : 0.002219
 Ultimate Unconfined Strain Capacity: 0.005
 Final Compression Slope (Multiplier on E): -0.1

Show Stress-Strain Plot...
 OK Cancel

— Acero

Nonlinear Material Data

Material Name and Type
 Material Name: FY:4200 KG/CM2
 Material Type: Rebar, Uniaxial

Miscellaneous Parameters
 Hysteresis Type: Takeda

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	Unit
IO	0.01	-0.005	m/m
LS	0.02	-0.01	m/m
CP	0.05	-0.02	m/m

Stress Strain Curve Definition Options
 Parametric: Park
 User Defined
 Convert to User Defined

Parametric Strain Data
 Strain at Onset of Strain Hardening: 0.01
 Ultimate Strain Capacity: 0.09
 Final Slope (Multiplier on E): -0.1

Show Stress-Strain Plot...
 OK Cancel

Creación de casos de carga no lineal tiempo historia

– Carga no lineal por gravedad (ACE 41-17)

The 'Load Case Data' dialog box is shown with the following settings:

- General:** Load Case Name: Gravedad; Load Case Type: Nonlinear Static; Mass Source: Previous; Analysis Model: Default.
- Initial Conditions:** Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State; Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included).
- Loads Applied:**

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1.1
Load Pattern	Live	0.25
- Other Parameters:** Modal Load Case: MODAL-EIGEN; Geometric Nonlinearity Option: P-Delta; Load Application: Full Load; Results Saved: Final State Only; Nonlinear Parameters: Default.

– Carga no lineal Dinámica (ACE 41-17)

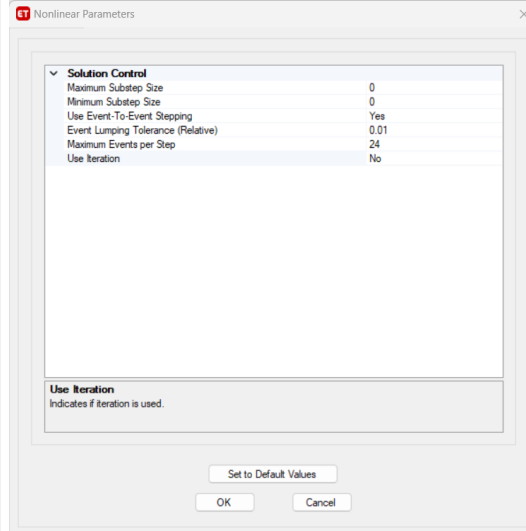
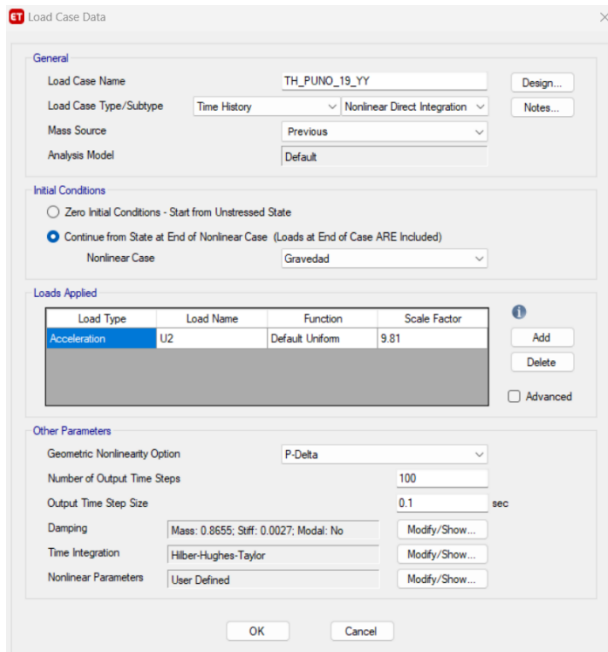
The 'Load Case Data' dialog box is shown with the following settings:

- General:** Load Case Name: TH_PUNO_19_XX; Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration; Mass Source: Previous; Analysis Model: Default.
- Initial Conditions:** Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State; Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included); Nonlinear Case: Gravedad.
- Loads Applied:**

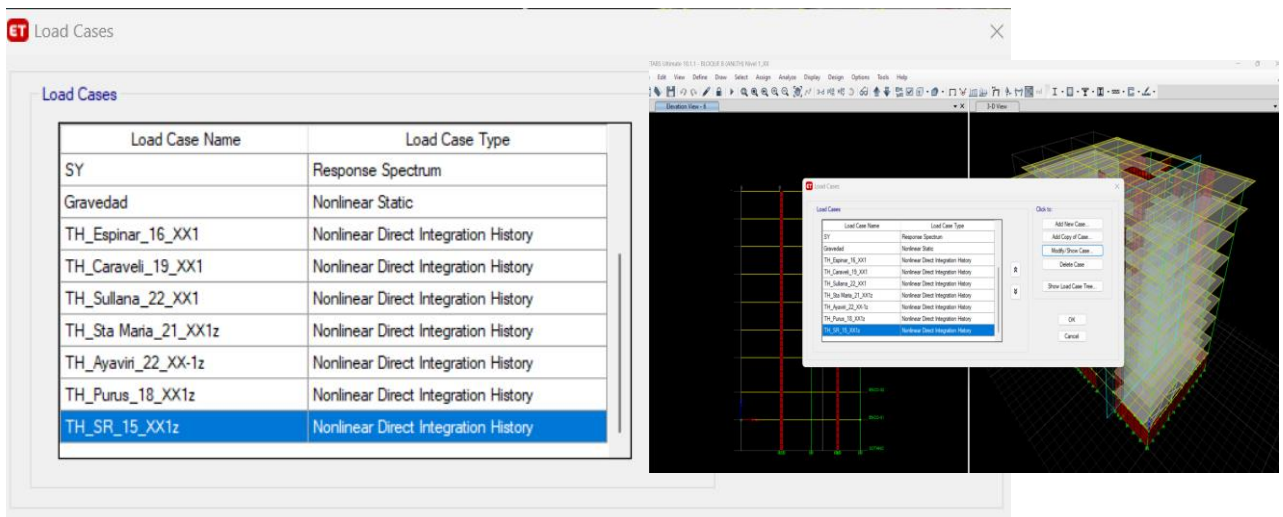
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	PUNO 19NSXXMA	9.81
- Other Parameters:** Geometric Nonlinearity Option: P-Delta; Number of Output Time Steps: 8960; Output Time Step Size: 0.01 sec; Damping: Mass: 0.5811; Stiff: 0.0018; Modal: No; Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor; Nonlinear Parameters: User Defined.

The 'Direct Integration Damping' dialog box is shown with the following settings:

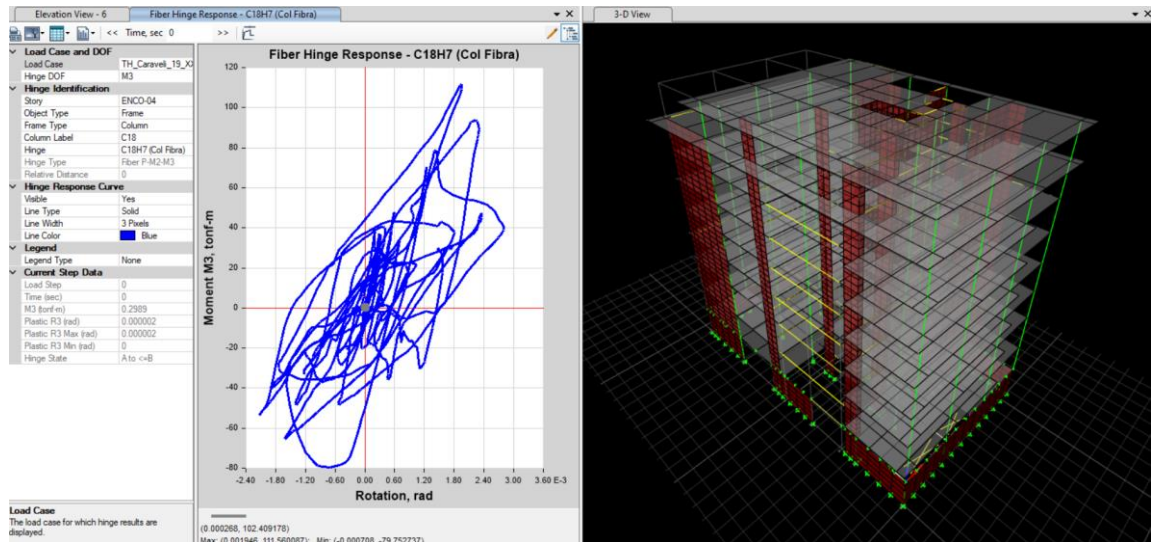
- Modal Load Case:** (Empty)
- Viscous Proportional Damping:**
 - Direct Specification
 - Specify Damping by Period: 0.5811 1/sec; 1.786E-03 sec
 - Specify Damping by Frequency
 - Specify as Period Ratio, T/T_{mode}, for This Mode
- Additional Modal Damping:**
 - Include Additional Modal Damping
 - Maximum Considered Modal Frequency



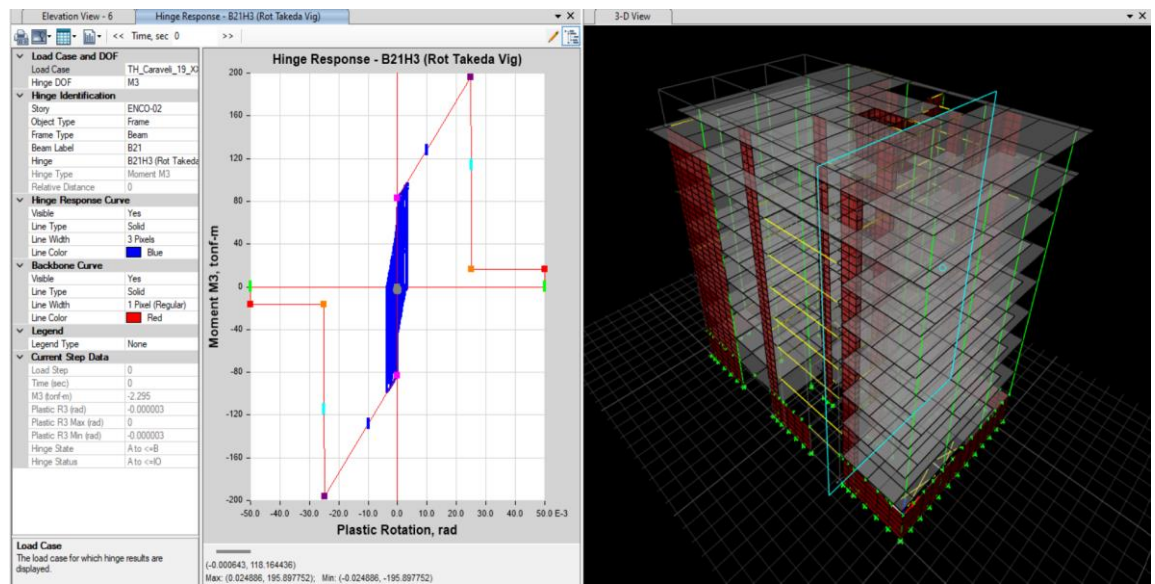
Análisis no lineal tiempo historia ASCE 41-17



– Columna



– Viga



CÓDIGOS EN MATLAB EMPLEADOS EN ESTADÍSTICA.

Código Matlab Análisis de varianza dirección XX

```

% Datos de entrada (ejemplo, reemplaza con los datos reales)
PGA = [0.13, 0.26, 0.42, 0.57, 0.72, 0.87, 1.02, 1.16]; % Aceleraciones máximas
Deriva_XX = [1.26, 2.9, 5.15, 6.85, 8.15, 13.1, 14.5, 16.2]; % Deriva dirección XX
(‰)
Desplazamiento_XX = [3.84, 5.08, 13.46, 17.4, 21.15, 25.26, 31.47, 32.38]; %
Desplazamiento dirección XX (cm)
Aceleracion_Piso_XX = [6.04, 20.48, 36.29, 41.56, 45.6, 53.77, 64.25, 68.61]; %
Aceleración de piso dirección XX (m/s2)

% Variable dependiente: Riesgo sísmico (1=bajo, 2=moderado, 3=alto)
Y = [1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 3]; % Clasificación del riesgo sísmico

% Unir las variables independientes en una matriz
X = [PGA', Deriva_XX', Desplazamiento_XX', Aceleracion_Piso_XX'];

% Crear el modelo de regresión lineal múltiple
mdl = fitlm(X, Y);

% Realizar el análisis de varianza (ANOVA)
anovaResults = anova(mdl, 'summary');
disp('Resultados del ANOVA:');
disp(anovaResults);

% Validación del modelo
k = 5; % Número de particiones para la validación cruzada
n = length(Y); % Número de observaciones
indices = crossvalind('Kfold', n, k); % Crear índices para las particiones
losses = []; % Inicializar un vector para almacenar las pérdidas válidas
Y_pred_total = NaN(n, 1); % Inicializar un vector para almacenar todas las
predicciones

for i = 1:k
    % Dividir los datos en entrenamiento y prueba
    testIdx = (indices == i); % Índices para la prueba
    trainIdx = ~testIdx; % Índices para el entrenamiento

    % Datos de entrenamiento y prueba
    X_train = X(trainIdx, :);

```

```

Y_train = Y(trainIdx);
X_test = X(testIdx, :);
Y_test = Y(testIdx);

% Crear y ajustar el modelo en el conjunto de entrenamiento
mdl_train = fitlm(X_train, Y_train);

% Predecir en el conjunto de prueba
Y_pred = predict(mdl_train, X_test);

% Verificar si las dimensiones coinciden antes de calcular la pérdida
if numel(Y_pred) == numel(Y_test)
    % Almacenar predicciones en las posiciones correctas
    Y_pred_total(testIdx) = Y_pred;

    % Calcular la pérdida (MSE) y almacenarla
    mse_loss = mean((Y_pred - Y_test).^2);
    losses = [losses, mse_loss];
else
    % Mostrar advertencia si las dimensiones no coinciden
    warning('Dimensiones no coinciden en la partición %d', i);
end
end

% Calcular la pérdida promedio, ignorando los NaN
if ~isempty(losses)
    meanLoss = mean(losses);
    disp(['Pérdida promedio (cross-validation): ', num2str(meanLoss)]);
else
    disp('No se pudo calcular la pérdida promedio debido a errores en las particiones.');
```

```

end

% Interpretación de resultados del modelo
R2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
disp(['Coeficiente de determinación (R^2): ', num2str(R2)]);

disp('--- Interpretación de Resultados ---');
if R2 > 0.7
    disp('El modelo tiene un buen ajuste a los datos.');
```

```

else
    disp('El modelo no ajusta bien a los datos. Considera revisar las variables independientes.');
```

```

end

```

```

% Comprobación de hipótesis con ANOVA
disp('--- Comprobación de Hipótesis ---');
pValues = anovaResults.pValue;
if any(pValues(1:end-1) < 0.05)
    disp('La hipótesis nula es rechazada. Al menos una variable independiente tiene un
efecto significativo en el nivel de riesgo sísmico.');
```

```

else
    disp('No se puede rechazar la hipótesis nula. Ninguna variable independiente tiene
un efecto significativo en el nivel de riesgo sísmico.');
```

```

end

% Gráfico: Valores observados vs. Valores predichos
figure;
scatter(Y, Y_pred_total, 'filled');
xlabel('Valores Observados');
ylabel('Valores Predichos');
title('Comparación entre Valores Observados y Predichos en Dirección XX');
grid on;

% Línea de identidad
hold on;
plot([min(Y), max(Y)], [min(Y), max(Y)], 'r--');
legend('Valores', 'Línea de identidad', 'Location', 'Best');
```

Código Matlab Análisis de varianza dirección YY

```

% Datos de entrada (ejemplo, reemplaza con los datos reales)
PGA = [0.13, 0.26, 0.42, 0.57, 0.72, 0.87, 1.02, 1.16]; % Aceleraciones máximas
Deriva_YY = [1.54, 3.65, 7.76, 7.97, 10.24, 17.36, 20.13, 21.59]; % Deriva dirección
YY (‰)
Desplazamiento_YY = [4.05, 9.57, 18.96, 21.49, 23.28, 27.26, 32.26, 35.24]; %
Desplazamiento dirección YY (cm)
Aceleracion_Piso_YY = [4.27, 17.45, 28.05, 30.43, 32.06, 49.52, 58.27, 62.26]; %
Aceleración de piso dirección YY (m/s2)

% Variable dependiente: Riesgo sísmico (1=bajo, 2=moderado, 3=alto)
Y = [1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 3]; % Clasificación del riesgo sísmico

% Unir las variables independientes en una matriz
X = [PGA', Deriva_YY', Desplazamiento_YY', Aceleracion_Piso_YY'];
```

```

% Crear el modelo de regresión lineal múltiple
mdl = fitlm(X, Y);

% Realizar el análisis de varianza (ANOVA)
anovaResults = anova(mdl, 'summary');
disp('Resultados del ANOVA:');
disp(anovaResults);

% Validación del modelo
k = 5; % Número de particiones para la validación cruzada
n = length(Y); % Número de observaciones
indices = crossvalind('Kfold', n, k); % Crear índices para las particiones
losses = []; % Inicializar un vector para almacenar las pérdidas válidas
Y_pred_total = NaN(n, 1); % Inicializar un vector para almacenar todas las
predicciones

for i = 1:k
    % Dividir los datos en entrenamiento y prueba
    testIdx = (indices == i); % Índices para la prueba
    trainIdx = ~testIdx; % Índices para el entrenamiento

    % Datos de entrenamiento y prueba
    X_train = X(trainIdx, :);
    Y_train = Y(trainIdx);
    X_test = X(testIdx, :);
    Y_test = Y(testIdx);

    % Crear y ajustar el modelo en el conjunto de entrenamiento
    mdl_train = fitlm(X_train, Y_train);

    % Predecir en el conjunto de prueba
    Y_pred = predict(mdl_train, X_test);

    % Verificar si las dimensiones coinciden antes de calcular la pérdida
    if numel(Y_pred) == numel(Y_test)
        % Almacenar predicciones en las posiciones correctas
        Y_pred_total(testIdx) = Y_pred;

        % Calcular la pérdida (MSE) y almacenarla
        mse_loss = mean((Y_pred - Y_test).^2);
        losses = [losses, mse_loss];
    else

```

```

        % Mostrar advertencia si las dimensiones no coinciden
        warning('Dimensiones no coinciden en la partición %d', i);
    end
end

% Calcular la pérdida promedio, ignorando los NaN
if ~isempty(losses)
    meanLoss = mean(losses);
    disp(['Pérdida promedio (cross-validation): ', num2str(meanLoss)]);
else
    disp('No se pudo calcular la pérdida promedio debido a errores en las particiones.');
```

end

```

% Interpretación de resultados del modelo
R2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
disp(['Coeficiente de determinación (R^2): ', num2str(R2)]);

disp('--- Interpretación de Resultados ---');
if R2 > 0.7
    disp('El modelo tiene un buen ajuste a los datos.');
```

else

```

    disp('El modelo no ajusta bien a los datos. Considera revisar las variables
independientes.');
```

end

```

% Comprobación de hipótesis con ANOVA
disp('--- Comprobación de Hipótesis ---');
pValues = anovaResults.pValue;
if any(pValues(1:end-1) < 0.05)
    disp('La hipótesis nula es rechazada. Al menos una variable independiente tiene un
efecto significativo en el nivel de riesgo sísmico.');
```

else

```

    disp('No se puede rechazar la hipótesis nula. Ninguna variable independiente tiene
un efecto significativo en el nivel de riesgo sísmico.');
```

end

```

% Gráfico: Valores observados vs. Valores predichos
figure;
scatter(Y, Y_pred_total, 'filled');
xlabel('Valores Observados');
ylabel('Valores Predichos');
title('Comparación entre Valores Observados y Predichos en Dirección YY');
grid on;
```

```

% Línea de identidad
hold on;
plot([min(Y), max(Y)], [min(Y), max(Y)], 'r--');
legend('Valores', 'Línea de identidad', 'Location', 'Best');

```

Código Matlab Prueba de correlación de Pearson dirección XX, YY

```

% Datos de entrada (extraídos de la tabla proporcionada)
PGA = [0.13, 0.26, 0.42, 0.57, 0.72, 0.87, 1.02, 1.16]; % Aceleraciones máximas (g)
Deriva_XX = [1.26, 2.9, 5.15, 6.85, 8.15, 13.1, 14.5, 16.2]; % Deriva dirección XX
(‰)
Deriva_YY = [1.54, 3.65, 7.76, 7.97, 10.24, 17.36, 20.13, 21.59]; % Deriva dirección
YY (‰)
Desplazamiento_XX = [3.84, 5.08, 13.46, 17.4, 21.15, 25.26, 31.47, 32.38]; %
Desplazamiento dirección XX (cm)
Desplazamiento_YY = [4.05, 9.57, 18.96, 21.49, 23.28, 27.26, 32.26, 35.24]; %
Desplazamiento dirección YY (cm)
Aceleracion_Piso_XX = [6.04, 20.48, 36.29, 41.56, 45.6, 53.77, 64.25, 68.61]; %
Aceleración de piso dirección XX (m/s2)
Aceleracion_Piso_YY = [4.27, 17.45, 28.05, 30.43, 32.06, 49.52, 58.27, 62.26]; %
Aceleración de piso dirección YY (m/s2)

% Variable dependiente: Vulnerabilidad estructural (1=baja, 2=moderada, 3=alta)
Vulnerabilidad = [1, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3]; % Clasificación hipotética de vulnerabilidad

% Unir las variables independientes en una matriz
X = [PGA', Deriva_XX', Deriva_YY', Desplazamiento_XX', Desplazamiento_YY',
Aceleracion_Piso_XX', Aceleracion_Piso_YY'];

% Inicializar variables para almacenar los resultados de correlación de Pearson
rho_values = zeros(size(X, 2), 1);
p_values = zeros(size(X, 2), 1);

% Calcular la correlación de Pearson entre cada variable independiente y la
vulnerabilidad
for i = 1:size(X, 2)
    [rho, p] = corr(X(:, i), Vulnerabilidad', 'Type', 'Pearson');
    rho_values(i) = rho;
    p_values(i) = p;
end

```

```

% Mostrar los resultados de la correlación de Pearson
disp('Resultados de la prueba de correlación de Pearson:');
for i = 1:size(X, 2)
    fprintf('Variable %d: rho = %.4f, p-value = %.4f\n', i, rho_values(i), p_values(i));
end

% Interpretación de resultados
disp('--- Interpretación de Resultados ---');
significant = p_values < 0.05;
if any(significant)
    disp('Al menos una variable independiente tiene una correlación significativa con la vulnerabilidad estructural.');
```

```

else
    disp('Ninguna de las variables independientes tiene una correlación significativa con la vulnerabilidad estructural.');
```

```

end

% Comprobación de hipótesis
disp('--- Comprobación de Hipótesis ---');
```

```

if all(p_values < 0.05)
    disp('La hipótesis nula es rechazada. Las características estructurales están significativamente correlacionadas con una vulnerabilidad moderada.');
```

```

else
    disp('No se puede rechazar la hipótesis nula. Las características estructurales no muestran una correlación significativa con una vulnerabilidad moderada.');
```

```

end

```

Código Matlab Prueba t de Student

```

% Datos de entrada: Aceleraciones máximas históricas y geotécnicas (g)
aceleraciones = [0.13, 0.26, 0.42, 0.57, 0.72, 0.87, 1.02, 1.16]; % Valores extraídos de la tabla proporcionada

% Umbral de referencia
umbral = 0.25;

% Realizar la prueba t de una muestra
[h, p, ci, stats] = ttest(aceleraciones, umbral, 'Tail', 'right');

% Mostrar los resultados de la prueba t

```

```

disp('Resultados de la prueba t de una muestra:');
fprintf('Media de las aceleraciones: %.4f g\n', mean(aceleraciones));
fprintf('Valor t: %.4f\n', stats.tstat);
fprintf('Grados de libertad: %d\n', stats.df);
fprintf('Valor p: %.4f\n', p);
fprintf('Intervalo de confianza al 95%%: [%.4f, %.4f] g\n', ci(1), ci(2));

% Interpretación de resultados
disp('--- Interpretación de Resultados ---');
if p < 0.05
    disp('El valor p es menor que 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.');
```

disp('El peligro sísmico para el edificio excede los 0.25g, confirmando la hipótesis alternativa.');

```

else
    disp('El valor p es mayor o igual a 0.05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula.');
```

disp('No se puede concluir que el peligro sísmico para el edificio excede los 0.25g.');

```

end

```

Código Matlab Prueba de correlación de Pearson dirección XX, YY

```

% Datos de entrada
PGA = [0.13, 0.26, 0.42, 0.57, 0.72, 0.87, 1.02, 1.16]; % Aceleraciones máximas (g)
Deriva_XX = [1.26, 2.9, 5.15, 6.85, 8.15, 13.1, 14.5, 16.2]; % Deriva dirección XX (%)
Deriva_YY = [1.54, 3.65, 7.76, 7.97, 10.24, 17.36, 20.13, 21.59]; % Deriva dirección YY (%)
Desplazamiento_XX = [3.84, 5.08, 13.46, 17.4, 21.15, 25.26, 31.47, 32.38]; % Desplazamiento dirección XX (cm)
Desplazamiento_YY = [4.05, 9.57, 18.96, 21.49, 23.28, 27.26, 32.26, 35.24]; % Desplazamiento dirección YY (cm)
Aceleracion_Piso_XX = [6.04, 20.48, 36.29, 41.56, 45.6, 53.77, 64.25, 68.61]; % Aceleración de piso dirección XX (m/s2)
Aceleracion_Piso_YY = [4.27, 17.45, 28.05, 30.43, 32.06, 49.52, 58.27, 62.26]; % Aceleración de piso dirección YY (m/s2)

% Variable dependiente: Operatividad del edificio (1=operativo, 0=no operativo)
% Clasificación hipotética en función de si se cumplen los estándares de seguridad
Operatividad = [1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0];

% Unir las variables independientes en una matriz

```



```

X = [PGA', Deriva_XX', Deriva_YY', Desplazamiento_XX', Desplazamiento_YY',
Aceleracion_Piso_XX', Aceleracion_Piso_YY'];

% Inicializar variables para almacenar los resultados de correlación de Pearson
rho_values = zeros(size(X, 2), 1);
p_values = zeros(size(X, 2), 1);

% Calcular la correlación de Pearson entre cada variable independiente y la
operatividad
for i = 1:size(X, 2)
    [rho, p] = corr(X(:, i), Operatividad', 'Type', 'Pearson');
    rho_values(i) = rho;
    p_values(i) = p;
end

% Mostrar los resultados de la correlación de Pearson
disp('Resultados de la prueba de correlación de Pearson:');
for i = 1:size(X, 2)
    fprintf('Variable %d: rho = %.4f, p-value = %.4f\n', i, rho_values(i), p_values(i));
end

% Interpretación de resultados
disp('--- Interpretación de Resultados ---');
significant = p_values < 0.05;
if any(significant)
    disp('Al menos una variable independiente tiene una correlación significativa con la
operatividad del edificio.');
```

```

else
    disp('Ninguna de las variables independientes tiene una correlación significativa con
la operatividad del edificio.');
```

```

end

% Comprobación de hipótesis
disp('--- Comprobación de Hipótesis ---');
```

```

if all(p_values < 0.05)
    disp('La hipótesis nula es rechazada. Las características estructurales están
significativamente correlacionadas con la operatividad del edificio.');
```

```

else
    disp('No se puede rechazar la hipótesis nula. Las características estructurales no
muestran una correlación significativa con la operatividad del edificio.');
```

```

end

```

Código Matlab Prueba exacta de Fisher dirección XX, YY

```
% Datos de entrada
CumpleNormas = [1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0]; % 1=Cumple con las normas, 0=No cumple
SeguridadEdificio = [1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0]; % 1=Seguridad lograda, 0=Seguridad no lograda

% Crear una tabla de contingencia
contingencyTable = crosstab(CumpleNormas, SeguridadEdificio);

% Realizar la prueba exacta de Fisher
[p, stats] = fishertest(contingencyTable);

% Mostrar los resultados de la prueba exacta de Fisher
disp('Resultados de la prueba exacta de Fisher:');
disp(['Valor p: ', num2str(p)]);

% Interpretación de resultados
disp('--- Interpretación de Resultados ---');
if p < 0.05
    disp('El valor p es menor que 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.');
```

```
    disp('Las normas de diseño sísmico y los resultados del análisis permiten diseñar un
objeto enfocado en la seguridad del edificio, confirmando la hipótesis alternativa.');
```

```
else
    disp('El valor p es mayor o igual a 0.05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula.');
```

```
    disp('No se puede concluir que las normas de diseño sísmico y los resultados del
análisis permiten diseñar un objeto enfocado en la seguridad del edificio.');
```

```
end
```

Código Matlab Ajuste para comparación directa

```
% Datos de entrada
fuerza_diseno_xx = 2767.69; % Fuerza de diseño en el eje XX (tn)
fuerza_diseno_yy = 2372.30; % Fuerza de diseño en el eje YY (tn)

fuerza_cedencia_xx = 6700; % Fuerza de cedencia en el eje XX (tn)
fuerza_cedencia_yy = 7900; % Fuerza de cedencia en el eje YY (tn)

% Calcular el 120% de la fuerza de diseño
fuerza_diseno_120_xx = 1.2 * fuerza_diseno_xx;
fuerza_diseno_120_yy = 1.2 * fuerza_diseno_yy;

% Comparar las fuerzas de cedencia con el 120% de la fuerza de diseño
if fuerza_cedencia_xx > fuerza_diseno_120_xx
    disp('La fuerza en la cedencia en el eje XX supera en un 20% la fuerza de diseño original.');
```

else

```
    disp('La fuerza en la cedencia en el eje XX NO supera en un 20% la fuerza de diseño original.');
```

end

```
if fuerza_cedencia_yy > fuerza_diseno_120_yy
    disp('La fuerza en la cedencia en el eje YY supera en un 20% la fuerza de diseño original.');
```

else

```
    disp('La fuerza en la cedencia en el eje YY NO supera en un 20% la fuerza de diseño original.');
```

end

APÉNDICE 3. MATRIZ DE DATOS

Parámetros de demanda estructural

Nivel 01

Story	Deriva: X-Dir.							Promedio	Desviación Estándar
	Caraveli XX	Espinar XX	Sullana XX	Ayaviri XX	Purús XX	S Maria XX	PL XX		
TE	1.25	1.03	1.06	1.26	0.98	0.21	1.05	0.97	0.36
N08	1.36	1.12	1.12	1.40	1.18	0.25	1.24	1.10	0.39
N07	1.46	1.23	1.21	1.49	1.27	0.28	1.36	1.19	0.41
N06	1.51	1.29	1.30	1.56	1.34	0.31	1.44	1.25	0.43
N05	1.51	1.30	1.34	1.57	1.38	0.32	1.46	1.27	0.43
N04	1.43	1.22	1.31	1.50	1.35	0.31	1.40	1.22	0.41
N03	1.22	1.04	1.18	1.29	1.18	0.28	1.21	1.06	0.35
N02	0.76	0.64	0.77	0.82	0.77	0.15	0.76	0.67	0.23
N01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOTANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	1.51	1.30	1.34	1.57	1.38	0.32	1.46	1.27	0.43

Story	Deriva: Y-Dir.							Promedio	Desviación Estándar
	Caraveli YY	Espinar YY	Sullana YY	Ayaviri YY	Purús YY	S Maria YY	PL YY		
TE	0.84	0.92	0.97	0.96	0.72	0.80	0.95	0.88	0.10
N08	1.10	1.20	1.24	1.24	0.98	1.02	1.19	1.14	0.10
N07	1.18	1.47	1.32	1.34	1.07	1.09	1.28	1.25	0.14
N06	1.28	1.73	1.40	1.40	1.13	1.20	1.40	1.36	0.19
N05	1.46	1.93	1.57	1.40	1.15	1.29	1.57	1.48	0.25
N04	1.57	2.05	1.65	1.32	1.10	1.31	1.68	1.53	0.31
N03	1.56	2.00	1.61	1.15	1.00	1.26	1.67	1.46	0.35
N02	1.04	1.32	1.04	0.75	0.61	0.81	1.11	0.95	0.24
N01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOTANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	1.57	2.05	1.65	1.40	1.15	1.31	1.68	1.54	0.29

Desplazamiento: X-Dir (cm)									
Story	Caraveli XX	Espinar XX	Sullana XX	Ayaviri XX	Purús XX	S Maria XX	PL XX	Promedio	Desviación Estándar
TE	4.14	3.49	3.73	4.27	3.53	3.94	3.76	3.83	0.29
N08	3.85	3.25	3.42	4.00	3.54	3.79	3.71	3.65	0.26
N07	3.28	2.78	2.96	3.41	3.02	3.24	3.17	3.12	0.22
N06	2.72	2.31	2.49	2.84	2.55	2.71	2.66	2.61	0.18
N05	2.09	1.78	1.95	2.19	1.98	2.09	2.05	2.02	0.13
N04	1.50	1.27	1.43	1.58	1.45	1.51	1.48	1.46	0.10
N03	0.93	0.78	0.90	0.98	0.91	0.94	0.92	0.91	0.06
N02	0.31	0.26	0.31	0.33	0.31	0.31	0.30	0.30	0.02
N01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00
SOTANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	4.14	3.49	3.73	4.27	3.54	3.94	3.76	3.84	0.29

Desplazamiento: Y-Dir (cm)									
Story	Caraveli YY	Espinar YY	Sullana YY	Ayaviri YY	Purús YY	S Maria YY	PL YY	Promedio	Desviación Estándar
TE	3.94	5.27	4.21	3.94	3.18	3.50	4.28	4.05	0.66
N08	3.70	4.92	3.94	3.54	2.89	3.25	4.00	3.75	0.65
N07	3.33	4.38	3.53	3.05	2.49	2.88	3.60	3.33	0.61
N06	2.94	3.85	3.10	2.51	2.06	2.49	3.16	2.87	0.58
N05	2.40	3.10	2.50	1.95	1.63	1.99	2.57	2.31	0.49
N04	1.84	2.37	1.90	1.40	1.18	1.49	1.97	1.74	0.40
N03	1.22	1.55	1.24	0.87	0.75	0.96	1.30	1.13	0.28
N02	0.41	0.53	0.42	0.30	0.24	0.32	0.44	0.38	0.10
N01	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01
SOTANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	3.94	5.27	4.21	3.94	3.18	3.50	4.28	4.05	0.66

Aceleración: X-Dir (m/s ²)									
Story	Caraveli XX	Espinar XX	Sullana XX	Ayaviri XX	Purús XX	S Maria XX	PL XX	Promedio	Desviación Estándar
TE	5.675	5.221	5.694	5.720	5.467	5.592	5.790	5.594	0.194
N08	4.840	4.206	4.779	5.006	4.898	4.803	4.867	4.771	0.260
N07	4.195	3.258	3.735	4.264	4.998	4.095	4.203	4.107	0.531
N06	3.443	3.137	3.502	4.272	6.392	4.444	3.573	4.109	1.110
N05	3.064	3.491	3.237	5.030	4.451	4.600	2.777	3.807	0.873
N04	3.952	3.062	2.745	4.102	5.748	6.882	2.656	4.164	1.604
N03	2.977	4.063	2.155	5.387	3.681	4.558	3.076	3.699	1.081
N02	3.680	4.414	2.583	5.070	4.554	3.316	2.845	3.780	0.931
N01	3.051	4.239	5.734	4.985	7.270	3.383	3.761	4.632	1.487
SOTANO	1.472	3.934	1.629	1.462	1.540	1.207	1.707	1.850	0.932
MAX	5.675	5.221	5.734	5.720	7.270	6.882	5.790	6.042	0.740

Aceleración: Y-Dir (m/s ²)									
Story	Caraveli YY	Espinar YY	Sullana YY	Ayaviri YY	Purús YY	S Maria YY	PL YY	Promedio	Desviación Estándar
TE	2.936	3.481	3.353	3.035	4.579	4.927	6.044	4.050	1.162
N08	2.552	3.267	2.649	3.479	5.947	6.091	17.621	5.944	5.354
N07	2.443	3.002	2.318	2.891	7.183	10.029	25.655	7.646	8.464
N06	2.377	2.380	2.063	2.803	9.851	17.382	18.101	7.851	7.289
N05	2.176	2.485	1.760	2.387	8.925	21.222	25.992	9.278	10.188
N04	2.179	2.662	2.285	3.219	10.973	21.963	20.054	9.048	8.749
N03	6.401	6.594	5.537	4.802	12.506	19.957	37.626	13.346	11.984
N02	4.202	4.893	3.571	7.301	5.889	13.690	10.705	7.179	3.733
N01	5.776	8.541	1.033	4.917	1.916	2.245	3.130	3.937	2.632
SOTANO	0.000	0.000	0.000	0.000	1.158	1.128	1.609	0.556	0.711
MAX	6.401	8.541	5.537	7.301	12.506	21.963	37.626	14.268	11.743

Rotación Vigas: Curvatura (rad)									
Story	Caraveli XX	Espinar XX	Sullana XX	Ayaviri XX	Purús XX	S Maria XX	PL XX	Promedio	Desviación Estándar
TE	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
N08	0.000062	0.000048	0.000011	0.000061	0.000054	0.000048	0.000047	0.000047	0.000017
N07	0.000464	0.000070	0.000013	0.000500	0.000259	0.000075	0.000060	0.000206	0.000204
N06	0.000426	0.000070	0.000012	0.000454	0.000241	0.000078	0.000066	0.000192	0.000183
N05	0.000591	0.000075	0.000013	0.000645	0.000434	0.000207	0.000174	0.000306	0.000251
N04	0.000514	0.000071	0.000011	0.000567	0.000396	0.000116	0.000087	0.000252	0.000233
N03	0.000311	0.000057	0.000009	0.000355	0.000222	0.000058	0.000042	0.000151	0.000142
N02	0.000071	0.000047	0.000008	0.000130	0.000069	0.000058	0.000044	0.000061	0.000037
N01	0.000007	0.000018	0.000013	0.000006	0.000006	0.000020	0.000020	0.000013	0.000007
SOTANO	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
MAX	0.000591	0.000075	0.000013	0.000645	0.000434	0.000207	0.000174	0.000306	0.000251

Rotación Vigas: Curvatura (rad)									
Story	Caraveli YY	Espinar YY	Sullana YY	Ayaviri YY	Purús YY	S Maria YY	PL YY	Promedio	Desviación Estándar
TE	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
N08	0.000026	0.000021	0.000027	0.000023	0.000016	0.000027	0.000014	0.000022	0.000005
N07	0.000039	0.000028	0.000043	0.000038	0.000027	0.000043	0.000019	0.000034	0.000009
N06	0.000026	0.000027	0.000027	0.000029	0.000020	0.000033	0.000005	0.000024	0.000009
N05	0.000014	0.000026	0.000015	0.000026	0.000018	0.000027	0.000005	0.000019	0.000008
N04	0.000002	0.000026	0.000003	0.000015	0.000018	0.000019	0.000019	0.000015	0.000009
N03	0.000014	0.000019	0.000013	0.000000	0.000010	0.000005	0.000032	0.000013	0.000010
N02	0.000017	0.000017	0.000015	0.000023	0.000010	0.000002	0.000034	0.000017	0.000010
N01	0.000009	0.000012	0.000008	0.000021	0.000007	0.000008	0.000019	0.000012	0.000006
SOTANO	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
MAX	0.000039	0.000028	0.000043	0.000038	0.000027	0.000043	0.000034	0.000036	0.000007

Nivel 04

Story	Deriva (X-Dir)							Promedio	Desviación Estándar
	Caraveli XX	Espinar XX	Sullana XX	Ayaviri XX	Purús XX	S Maria XX	PL XX		
TE	5.50	5.60	5.50	5.39	5.43	5.20	5.68	5.47	0.16
N08	5.96	6.78	5.91	6.45	6.30	5.72	6.33	6.21	0.36
N07	6.26	7.33	6.84	6.78	6.84	5.99	6.63	6.58	0.45
N06	6.38	7.75	6.54	7.03	7.15	6.07	6.67	6.80	0.56
N05	6.26	7.90	6.54	6.92	7.34	5.91	6.35	6.75	0.60
N04	5.76	6.15	5.79	6.28	6.41	5.04	5.12	5.65	0.48
N03	4.68	3.99	5.10	5.02	6.28	4.41	4.06	5.13	0.89
N02	2.80	3.52	3.15	2.54	4.10	2.70	1.59	2.91	0.79
N01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOTANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	6.38	7.90	6.54	7.03	7.34	6.67	6.67	6.85	0.62

Story	Deriva (Y-Dir)							Promedio	Desviación Estándar
	Caraveli YY	Espinar YY	Sullana YY	Ayaviri YY	Purús YY	S Maria YY	PL YY		
TE	6.73	6.44	6.74	6.90	6.16	6.22	6.52	6.53	0.28
N08	7.69	7.10	7.72	9.28	6.88	7.37	7.73	7.68	0.78
N07	7.92	7.76	7.90	9.56	7.04	7.49	7.92	7.94	0.78
N06	7.96	7.28	7.82	9.29	7.15	7.50	7.85	7.83	0.67
N05	7.83	7.33	7.46	8.33	7.34	7.50	7.63	7.63	0.33
N04	7.46	7.82	6.78	6.41	6.98	6.41	6.88	6.96	0.53
N03	6.71	6.26	5.97	5.87	6.00	5.50	6.02	6.05	0.49
N02	5.32	2.64	4.31	4.80	5.15	5.95	5.00	5.25	0.66
N01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOTANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	7.96	7.82	7.90	9.56	7.04	7.85	7.92	7.97	0.79

Desplazamiento: X-Dir (cm)									
Story	Caraveli XX	Espinar XX	Sullana XX	Ayaviri XX	Purús XX	S Maria XX	PL XX	Promedio	Desviación Estándar
TE	17.32	17.15	17.91	17.76	17.39	16.42	17.25	17.31	0.48
N08	15.77	16.62	16.45	16.81	16.84	16.99	16.19	16.52	0.43
N07	13.31	13.80	14.00	13.36	13.12	13.73	13.43	13.42	0.47
N06	10.87	10.31	10.15	10.56	10.55	10.30	10.37	10.45	0.28
N05	8.25	8.17	8.87	8.53	8.55	7.80	8.81	8.43	0.38
N04	5.79	5.93	6.18	6.14	6.24	5.48	6.52	6.04	0.35
N03	3.48	4.49	3.84	4.02	4.30	3.30	4.49	4.13	0.47
N02	1.12	1.21	1.26	1.65	1.44	1.08	1.44	1.34	0.22
N01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOTANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	17.32	17.15	17.91	17.76	17.39	16.99	17.25	17.40	0.33

Desplazamiento: Y-Dir (cm)									
Story	Caraveli YY	Espinar YY	Sullana YY	Ayaviri YY	Purús YY	S Maria YY	PL YY	Promedio	Desviación Estándar
TE	20.87	21.88	21.75	21.92	21.81	21.00	21.19	21.49	0.45
N08	19.32	19.07	19.77	19.40	19.62	18.50	19.40	19.23	0.44
N07	16.45	16.97	16.49	16.28	15.56	15.44	16.48	16.38	0.55
N06	12.48	12.44	12.89	12.06	12.32	12.04	12.14	12.34	0.29
N05	9.49	9.16	9.79	9.94	9.62	9.84	9.54	9.62	0.31
N04	6.14	5.93	6.78	6.41	6.98	6.14	6.92	6.47	0.34
N03	5.78	5.07	5.91	5.25	5.82	5.15	5.77	5.56	0.31
N02	1.93	1.70	1.92	1.31	1.64	1.20	1.21	1.56	0.30
N01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOTANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	20.87	21.88	21.75	21.92	21.81	21.00	21.19	21.49	0.45

Aceleración: X-Dir (m/s ²)									
Story	Caraveli XX	Espinar XX	Sullana XX	Ayaviri XX	Purús XX	S Maria XX	PL XX	Promedio	Desviación Estándar
TE	41.727	42.467	41.335	41.340	41.122	41.424	41.473	41.555	0.441
N08	37.535	37.822	37.919	37.896	37.896	37.822	37.896	37.841	0.148
N07	35.151	35.958	35.192	35.036	35.304	35.090	35.314	35.292	0.311
N06	33.927	33.375	33.738	33.288	33.771	33.590	33.724	33.630	0.252
N05	30.731	30.004	30.154	30.134	30.058	30.154	30.406	30.445	0.391
N04	29.262	29.153	28.970	29.262	28.642	29.154	29.154	29.228	0.214
N03	25.959	25.221	25.672	25.144	25.558	25.295	25.622	25.481	0.268
N02	22.111	22.357	21.739	22.263	21.824	22.295	22.151	22.106	0.205
N01	17.757	17.051	17.843	17.421	17.243	17.221	17.562	17.442	0.528
SOTANO	9.583	9.467	9.142	9.396	9.396	9.465	9.467	9.461	0.227
MAX	41.727	42.467	41.335	41.340	41.122	41.424	41.473	41.555	0.441

Aceleración: Y-Dir (m/s ²)									
Story	Caraveli YY	Espinar YY	Sullana YY	Ayaviri YY	Purús YY	S Maria YY	PL YY	Promedio	Desviación Estándar
TE	29.721	30.025	30.017	31.981	30.363	30.423	30.497	30.432	0.736
N08	28.182	28.771	28.916	28.377	28.571	28.926	28.092	28.548	0.341
N07	25.029	25.902	25.439	25.568	25.622	25.565	25.413	25.505	0.264
N06	22.196	22.346	22.198	22.283	22.232	22.174	22.025	22.208	0.249
N05	21.297	21.087	21.302	21.988	21.582	21.542	21.675	21.496	0.338
N04	23.460	23.126	23.123	23.450	23.345	23.450	23.292	23.321	0.120
N03	22.063	22.227	22.112	22.156	22.110	22.110	22.211	22.141	0.295
N02	18.230	19.282	18.924	18.351	18.777	19.136	18.695	18.771	0.366
N01	17.422	17.650	17.401	17.404	17.435	17.390	17.466	17.452	0.266
SOTANO	7.250	7.325	7.256	7.244	7.145	7.485	7.124	7.261	0.120
MAX	29.721	30.025	30.017	31.981	30.363	30.423	30.497	30.432	0.736

Rotación Vigas : Curvatura (rad)									
Story	Caraveli XX	Espinar XX	Sullana XX	Ayaviri XX	Purús XX	S Maria XX	PL XX	Promedio	Desviación Estándar
TE	0	0	0	0	0	0	0	0.000000	0.000000
N08	0.0027	0.0027	0.0023	0.0024	0.0016	0.0032	0.002	0.002500	0.000500
N07	0.0029	0.0026	0.0025	0.0023	0.0019	0.0031	0.0023	0.002500	0.000400
N06	0.0028	0.0029	0.0025	0.0021	0.0021	0.003	0.0025	0.002600	0.000400
N05	0.003	0.0029	0.0027	0.0022	0.0017	0.0028	0.0026	0.002600	0.000400
N04	0.003	0.0029	0.0029	0.0022	0.0021	0.0033	0.0026	0.002700	0.000400
N03	0.0026	0.0029	0.0024	0.0019	0.0018	0.0032	0.0023	0.002400	0.000500
N02	0.0023	0.0026	0.0021	0.0017	0.0017	0.0027	0.0022	0.002200	0.000400
N01	0.0021	0.0025	0.0021	0.0017	0.0018	0.0026	0.0022	0.002100	0.000300
SOTANO	0	0	0	0	0	0	0	0.000000	0.000000
MAX	0.003000	0.002900	0.002900	0.002900	0.001800	0.003300	0.002800	0.002800	0.000500

Rotación Vigas : Curvatura (rad)									
Story	Caraveli YY	Espinar YY	Sullana YY	Ayaviri YY	Purús YY	S Maria YY	PL YY	Promedio	Desviación Estándar
TE	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.00000
N08	0.0187	0.0197	0.013	0.0143	0.016	0.0117	0.0146	0.01560	0.00290
N07	0.0187	0.0193	0.0145	0.0126	0.0147	0.0165	0.016	0.01600	0.00350
N06	0.0189	0.0196	0.0125	0.0125	0.0123	0.0161	0.0161	0.01540	0.00300
N05	0.0185	0.0145	0.0169	0.012	0.0172	0.0161	0.0162	0.01590	0.00250
N04	0.019	0.0191	0.0129	0.0172	0.0172	0.016	0.0162	0.01680	0.00330
N03	0.0186	0.0177	0.0124	0.0127	0.0172	0.0159	0.0159	0.01580	0.00250
N02	0.0186	0.0188	0.0132	0.014	0.0172	0.0159	0.0159	0.01620	0.00230
N01	0.0185	0.0141	0.0158	0.0182	0.0174	0.0161	0.0162	0.01660	0.00170
SOTANO	0	0	0	0	0	0	0	0.00000	0.00000
MAX	0.01900	0.01970	0.01860	0.01910	0.01800	0.02000	0.01800	0.01890	0.00080

Resumen de 08 niveles de intensidad con los parámetros de demanda estructural

Nivel	PGA (g)	Deriva XX (‰)	Deriva YY (‰)	Desplaz. XX (cm)	Desplaz. YY (cm)	Aceleración de Piso XX (m/s ²)	Aceleración de Piso YY (m/s ²)	Rotación XX (Rad)	Rotación YY (Rad)
1	0.13	1.26	1.54	3.84	4.05	6.04	4.27	0	0
2	0.26	2.9	3.65	5.08	9.57	20.48	17.45	0.0016	0.0133
3	0.42	5.15	7.76	13.46	18.96	36.29	28.05	0.0024	0.017
4	0.57	6.85	7.97	17.4	21.49	41.56	30.43	0.0028	0.0189
5	0.72	8.15	10.24	21.15	23.28	45.6	32.06	0.0034	0.0239
6	0.87	13.1	17.36	25.26	27.26	53.77	49.52	0.0075	0.0386
7	1.02	14.5	20.13	31.47	32.26	64.25	58.27	0.0084	0.0485
8	1.16	16.2	21.59	32.38	35.24	68.61	62.26	0	0