



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**EFFECTOS DE LAS VIGUETAS DE ACERO EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO
DE LAS EDIFICACIONES EN LA REGIÓN DE HUÁNUCO**

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el Grado Académico de Doctora en Ingeniería Civil

Autora

Verdi Chahua, Xenia Rosario

Asesor

Kaseng Solis, Freddy Lizardo

ORCID: 0000-0002-2878-9053

Jurado

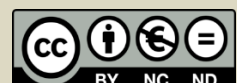
Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Tello Malpartida Omart Demetrio

Esenarro Vargas, Doris

Lima - Perú












2024



Document Information

Analyzed document	2A_Verdi_Chahua_Xenia_Rosario_Doctorado_2019.docx (D98982962)
Submitted	3/19/2021 11:01:00 PM
Submitted by	Robert
Submitter email	rnamo@unfv.edu.pe
Similarity	1%
Analysis address	rnamo.unfv@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	500.Moscoso Bieberach, Pedro Karlo_.pdf Document 500.Moscoso Bieberach, Pedro Karlo_.pdf (D48740321)		4
W	URL: http://190.116.36.86/bitstream/handle/UNC/90/T%20551.22%20R456%202013.pdf?sequence ... Fetched: 12/3/2020 8:09:11 PM		1
SA	453-Canales Vargas, Holguer_.pdf Document 453-Canales Vargas, Holguer_.pdf (D48514156)		1
W	URL: https://1library.co/document/zlgn8wry-evaluacion-comportamiento-estructural-incorp ... Fetched: 3/4/2021 9:57:47 PM		2
W	URL: https://de.slideshare.net/DJVIELMA/consideraciones-sismicas-en-estructuras Fetched: 12/9/2020 5:46:21 AM		1
SA	500.Moscoso Bieberach, Pedro Karlo_.pdf Document 500.Moscoso Bieberach, Pedro Karlo_.pdf (D48764412)		1
W	URL: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/UNAP/4552/3/Chevarria_Carazas_Diana.pdf.txt Fetched: 2/4/2021 11:34:21 AM		2
SA	CAPITULO I,II Y III Panchana Luis-Reyes Bryan 2 sin tablas.docx Document CAPITULO I,II Y III Panchana Luis-Reyes Bryan 2 sin tablas.docx (D95443041)		1
SA	TESIS VERA EDWIN FINAL.pdf Document TESIS VERA EDWIN FINAL.pdf (D54778440)		2
W	URL: https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22303/La%20Torre%20Soriano%2 ... Fetched: 1/8/2021 9:47:36 PM		1
SA	TESIS VERA EDWIN.pdf Document TESIS VERA EDWIN.pdf (D54775997)		1



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

EFFECTOS DE LAS VIGUETAS DE ACERO EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE
LAS EDIFICACIONES EN LA REGIÓN DE HUÁNUCO

Línea de Investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el Grado Académico de

Doctora en Ingeniería Civil

Autora:

Verdi Chahua, Xenia Rosario

Asesor(a)

Kaseng Solis, Freddy Lizardo

(ORCID: 0000-0002-2878-9053)

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Tello Malpartida Omart Demetrio

Esenarro Vargas, Doris

Lima – Perú

2024

TÍTULO

**EFFECTOS DE LAS VIGUETAS DE ACERO EN EL
COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES EN
LA REGIÓN DE HUÁNUCO**

DEDICATORIA

A Dios por estar conmigo cada instante, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. A mis padres y hermanos por estar en buenos y malos momentos de mi vida.

A mis hijos la razón de mi existencia y a mi esposo, por su amor, paciencia, comprensión y por ser tal y como es.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional Federico Villarreal por ser la cuna de superación profesional.

A todos los docentes quienes me facilitaron sus experiencias para lograr mis metas y estar al servicio de la sociedad.

En general a todas las instituciones, organismos, archivos, bibliotecas, quienes contribuyeron facilitándome el acceso a la información requerida para estructurar esta investigación.

Finalmente, a todas aquellas personas, colegas y amigos que me brindaron su apoyo tiempo e información para la culminación de esta investigación.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	14
	1.1. Planteamiento del problema	15
	1.2. Descripción del problema.....	16
	1.3. Formulación del problema	18
	<i>1.3.1. Problema general</i>	18
	<i>1.3.2. Problemas específicos</i>	18
	1.4. Antecedentes	18
	<i>1.4.1. Internacionales</i>	18
	<i>1.4.2. Nacionales</i>	21
	1.5. Justificación de la investigación.....	24
	<i>1.5.1. Justificación</i>	24
	<i>1.5.2. Importancia</i>	25
	1.6. Limitaciones de la investigación	26
	1.7. Objetivos	26
	<i>1.7.1. Objetivo general</i>	26
	<i>1.7.2. Objetivos específicos</i>	26
	1.8. Hipótesis.....	27
	<i>1.8.1. Hipótesis general</i>	27
	<i>1.8.2. Hipótesis específicas</i>	27
II.	MARCO TEÓRICO.....	28
	2.1. Bases teóricas	28
	<i>2.1.1. Viguetas de acero</i>	28
	<i>2.1.2. Comportamiento sísmico de edificios</i>	40

2.1.3.	<i>Comportamiento de elementos estructurales</i>	78
2.1.4.	<i>Rigidez</i>	83
2.1.5.	<i>Resistencia</i>	94
2.1.6.	<i>Ductilidad</i>	97
2.1.7.	<i>Fuerza de inercia y peso sísmico</i>	98
2.1.8.	<i>Descripción geográfica del lugar</i>	99
2.2.	Base filosófica.....	101
2.3.	Base tecnológica.....	103
2.4.	Definición de términos.....	104
III.	MÉTODO.....	106
3.1.	Tipo de investigación.....	106
3.1.1.	<i>Tipo</i>	106
3.1.2.	<i>Nivel</i>	106
3.1.3.	<i>Código y nomenclatura de la UNESCO</i>	107
3.1.4.	<i>Diseño</i>	107
3.2.	Población y muestra.....	108
3.2.1.	<i>Población</i>	108
3.2.2.	<i>Muestra</i>	110
3.3.	Operacionalización de variables.....	114
3.4.	Instrumentos.....	114
3.4.1.	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	114
3.4.2.	<i>Instrumentos de investigación</i>	115
3.4.3.	<i>Técnicas de procesamiento de datos</i>	115
3.4.4.	<i>Técnicas de análisis e interpretación de la información</i>	115
3.5.	Procedimientos.....	116
3.6.	Análisis de datos.....	117
3.6.1.	<i>Estrategias de prueba de hipótesis</i>	117

3.6.2. <i>Diseño estadístico</i>	120
3.7. Consideraciones éticas	120
IV. RESULTADOS.....	121
4.1. Comportamiento Sísmico.....	121
4.1.1. <i>Rigidez</i>	121
4.1.2. <i>Cortante basal</i>	135
4.1.3. <i>Peso sísmico de las estructuras</i>	140
4.2. Contrastación de hipótesis.....	143
4.2.1. <i>Hipótesis general</i>	143
4.2.2. <i>Hipótesis específicas</i>	144
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	160
VI. CONCLUSIONES.....	162
VII. RECOMENDACIONES	164
VIII. REFERENCIAS.....	165
IX. ANEXO	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Casa de Francois Coignet	28
Figura 2 Edificaciones con viguetas metálicas	30
Figura 3 Detalle isométrico de las viguetas	31
Figura 4 Casetones de poliestireno	31
Figura 5 Sistema de entrepisos	32
Figura 6 Corte longitudinal y transversal.....	33
Figura 7 Isométrico de losa aligerada con viguetas de acero.....	34
Figura 8 Viguetas de acero sobre vigas	35
Figura 9 Instalación de casetones	35
Figura 10 Sección de losa	36
Figura 11 Tendido de tuberías	36
Figura 12 Vaciado de concreto	37
Figura 13 Apuntalamiento de viguetas	38
Figura 14 Construcciones con viguetas de acero	39
Figura 15 Placas tectónicas y componentes de un sismo.....	42
Figura 16 Sismos de mayor magnitud en la historia.....	42
Figura 17 Desplazamiento de losa como unidad	45
Figura 18 Formas básicas de configuración estructural sísmica.....	47
Figura 19 Trayectorias de las fuerzas de inercia.....	48
Figura 20 Movimiento oscilatorio de edificios	49
Figura 21 Plantas irregulares	50
Figura 22 Modo de oscilación.....	51
Figura 23 Posibles soluciones de estructuras irregulares con esquinas entrantes.....	52
Figura 24 Irregulares verticales	53
Figura 25 Configuraciones escalonadas.....	54
Figura 26 Soluciones para configuraciones escalonadas	55
Figura 27 Losas continuas y discontinuas	57
Figura 28 Sistemas estructurales.....	58
Figura 29 Discontinuidad de trayectoria de carga	60
Figura 30: Tanque de agua en el techo de un hospital.....	61
Figura 31 Irregularidades de rigidez en planta	62
Figura 32 Rigideces laterales similares y distintas	62

Figura 33	Ausencia de elementos en elevación	63
Figura 34	Marco relleno de mampostería de ladrillo.....	63
Figura 35	Piso abierto en un edificio	65
Figura 36	Comportamiento de las columnas cortas.....	66
Figura 37	Falla por cortante.....	67
Figura 38	Ausencia de juntas de dilatación	67
Figura 39	Efecto de columnas cortas	68
Figura 40	Falla de columna corta generada por semisótano.....	68
Figura 41	Efecto de columna corta debido a losa y escalera	69
Figura 42	Rótulas plásticas en columnas	71
Figura 43	Choque entre edificios.....	71
Figura 44	Los efectos de torsión.....	73
Figura 45	Desplazamiento máximo y mínimo.....	73
Figura 46	Torsión y posibles soluciones.....	74
Figura 47	Colapso de edificaciones por licuefacción de suelo	76
Figura 48	Juntas de viga-columna en edificios.....	76
Figura 49	Anclajes de barras de vigas	78
Figura 50	Losa en dos direcciones.....	79
Figura 51	Losa armada en una dirección	80
Figura 52	Comportamiento de una viga.....	81
Figura 53	Rigidez lateral.....	84
Figura 54	Grados de libertad.....	86
Figura 55	Desplazamiento de la estructura	87
Figura 56	Deriva de entrepiso.....	88
Figura 57	Principio de espectro de respuesta.....	89
Figura 58	Frecuencia natural de un edificio	90
Figura 59	Modos de vibración	93
Figura 60	Modos de vibración de un edificio multipiso	93
Figura 61	Esfuerzo de cortante basal	96
Figura 62	Fuerza de inercia por movimiento sísmico.....	99
Figura 63	Localización y ubicación.....	100
Figura 64	Vista satelital de la UNHEVAL dentro de la zona urbana de Pillco Marca.....	100
Figura 65	Periodos de vibración en los modos 1,2 y 3	124
Figura 66	Máximos desplazamientos de entrepiso en dirección "X" y "Y"	128

Figura 67	Derivas en "X" y en "Y"	131
Figura 68	Cortante basal dinámico en direcciones "X" y "Y"	137
Figura 69	Pesos sísmicos de las edificaciones.....	141
Figura 70	Curva de probabilidad de la prueba de hipótesis de periodos de vibración (modos 1,2 y 3).....	146
Figura 71	Curva de probabilidad de la prueba de hipótesis de desplazamientos máximos en direcciones "X" y "Y"	149
Figura 72	Curva de probabilidad de prueba de hipótesis de derivas en "X" y "Y"	152
Figura 73	Curva de probabilidad de prueba de hipótesis de cortante basal dinámico en "X" y "Y"	155
Figura 74	Curva de probabilidades de prueba de hipótesis de cortante basal estático en "X" y "Y"	156
Figura 75	Curva de probabilidad de la prueba de hipótesis del peso sísmico	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de las viguetas de acero	30
Tabla 2 Características de los casetones	32
Tabla 3 Código y nomenclatura de la UNESCO	107
Tabla 4 Edificaciones de la zona urbana del distrito de Pillco Marca según categorías	110
Tabla 5 Viviendas de concreto armado de la zona urbana de Pillco Marca	110
Tabla 6 Muestra estratificada por categorías (uso)	111
Tabla 7 Muestra estratificada de viviendas de material noble según número de pisos	112
Tabla 8 Edificaciones de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán- Huánuco-2023	113
Tabla 9 Operacionalización de variables	114
Tabla 10 Periodos de vibración correspondientes a los tres primeros modos, en el sistema convencional y en el sistema con viguetas de acero.	122
Tabla 11 Estadígrafo de los periodos de vibración	125
Tabla 12 Máximos desplazamiento de entrepiso medido en los centros de masas (cm).....	126
Tabla 13 Descriptivos de los desplazamientos máximos medidos en el centro de masa	129
Tabla 14 Distorsiones angulares de entrepiso (derivadas)	130
Tabla 15 Descriptivos de las derivadas máximas o distorsiones	133
Tabla 16 Cortante basal (tnf)	135
Tabla 17 Descriptivos de los cortantes basales.....	138
Tabla 18 Pesos sísmicos de las edificaciones	140
Tabla 19 Descriptivos de los pesos sísmicos de las edificaciones.....	142
Tabla 20 Normalidad para periodos de vibración.....	144
Tabla 21 Significancia para periodos de vibración.....	145
Tabla 22 Prueba de normalidad para desplazamientos máximos medidos en el centro de masa	148
Tabla 23 Significancia para desplazamientos máximos medidos en el centro de masa	149
Tabla 24 Prueba de normalidad de las derivadas máximas o distorsiones	150
Tabla 25 Significancia para derivadas máximas	151
Tabla 26 Prueba de normalidad para los cortantes basales.....	153
Tabla 27 Significancia para cortantes basales	154
Tabla 28 Prueba de normalidad de los pesos sísmicos de las edificaciones.....	157
Tabla 29 Significancia de los pesos sísmicos de las edificaciones.....	157

RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación fue determinar en qué medida la incorporación de viguetas de acero afecta el comportamiento sísmico de las edificaciones en la Región de Huánuco. Metodológicamente se modelaron y analizaron 30 edificaciones de concreto armado de la zona urbana de la región de Huánuco, mediante el programa ETABS v 19.1. así que la muestra estuvo constituida por 21 viviendas de 3 a más pisos y 9 edificaciones o pabellones de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Se analizó y comparó el comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado con y sin viguetas de acero en losas aligeradas. La prueba de hipótesis se realizó a través del software SPSS. Los resultados revelan que con la incorporación de viguetas de acero (sistema no convencional) en losas aligeradas, redujo significativamente los periodos de vibración, las derivas y los desplazamientos de las edificaciones haciendo que mejore su rigidez, también se redujo notablemente el cortante basal, el cual permite optimizar la resistencia de la estructura y emplear miembros de menores dimensiones; finalmente disminuyó considerablemente el peso sísmico de las edificaciones haciendo que disminuya las fuerzas inerciales. Cumpliendo de esta manera con los requisitos básicos exigidos por la Norma E-03 de Diseño Sismorresistente para materiales no convencionales. Por lo que se concluye que la incorporación de viguetas de acero (sistema no convencional) en losas aligeradas tiene un efecto positivo, en el comportamiento sísmico de las edificaciones de la Región de Huánuco.

Palabras claves: Viguetas de acero, comportamiento sísmico, sistema de losa aligerada, sistema no convencional, periodos de vibración, desplazamientos, derivas, cortante basal, peso sísmico

ABSTRACT

The general objective of the present investigation was to determine to what extent the incorporation of steel joists affects the seismic behavior of buildings in the Huánuco Region. Methodologically, 30 reinforced concrete buildings in the urban area of the Huánuco region were modeled and analyzed using the ETABS v 19.1 program. So the sample consisted of 21 homes with 3 or more floors and 9 buildings or pavilions from the Hermilio Valdizán National University. The seismic behavior of reinforced concrete buildings with and without steel joists in lightened slabs was analyzed and compared. The hypothesis testing was carried out through SPSS software. The results reveal that with the incorporation of steel joists (non-conventional system) in lightened slabs, the periods of vibration, drifts and displacements of the buildings were significantly reduced, improving their rigidity; the basal shear, the which allows optimizing the resistance of the structure and using smaller members; Finally, the seismic weight of the buildings was considerably reduced, causing the inertial forces to decrease. Thus complying with the basic requirements demanded by Standard E-03 of Seismic-resistant Design for non-conventional materials. Therefore, it is concluded that the incorporation of steel joists (non-conventional system) in lightened slabs has a positive effect on the seismic behavior of buildings in the Huánuco Region.

Keywords: Steel joists, seismic behavior, lightened slab system, non-conventional system, vibration periods, displacements, drifts, basal shear, seismic weight.

I. INTRODUCCIÓN

Hace aproximadamente diez años un nuevo sistema de losa aligerada con viguetas de acero incursiona en el Perú. Sistema conformado por viguetas prefabricadas de acero estructural galvanizado, casetones de poliestireno expandido EPS de alta densidad y una losa de concreto y malla de temperatura. El sistema se promociona con ciertos beneficios económicos y técnicos. Sin embargo, la empresa quien lo produce no hace referencia del comportamiento sísmico de edificios cuando se usa el sistema. Haciendo que despierte el interés para realizar investigaciones en este rubro. En tal sentido el objetivo de esta investigación es determinar en qué medida la incorporación de viguetas de acero afecta el comportamiento sísmico de las edificaciones en la Región de Huánuco. Traducido el comportamiento sísmico en función de la rigidez, cortante basal y peso sísmico.

Para cumplir con los objetivos trazados, tomamos como elemento de estudio a treinta (30) edificaciones de la zona urbana de la región de Huánuco, a los que analizamos sus comportamientos sísmicos antes y después de haber incorporado las viguetas de acero, mediante el programa de diseño estructural ETABS v 19.1, software que realiza los cálculos con tanta exactitud y precisión según investigaciones hechas y no cabe la posibilidad en este mundo globalizado hacer los análisis en forma manual. La investigación está estructurada en seis capítulos: El capítulo I de la introducción, presenta el planteamiento, descripción y formulación del problema, antecedentes, justificación y limitaciones de la investigación, finaliza con la hipótesis El capítulo II del marco teórico, referido a las bases teóricas, marco filosófico, marco tecnológico y definición de términos. El capítulo III del método, conformado por el tipo y nivel de investigación, población, muestra, operacionalización de variables, instrumentos, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas. El capítulo IV de resultados, la contrastación y análisis de hipótesis. Los capítulos V, VI, VII, VIII y IX son de discusiones, conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos respectivamente.

1.1. Planteamiento del problema

La evolución de los sistemas constructivos a nivel mundial ha sido un proceso continuo, influenciado por una amplia gama de factores que incluyen avances tecnológicos, el crecimiento descontrolado y acelerado del sector de la construcción, así como el aumento de la población urbana y las crecientes preocupaciones ambientales, sociales y económicas. Estos factores nos impulsan a proyectar construcciones que sean seguras, resistentes, confortables, ligeras, funcionales y económicas. Sin embargo, existen desafíos significativos que pueden obstaculizar la adopción de sistemas constructivos no convencionales. La falta de familiaridad o la percepción de riesgo por parte de los inversores y desarrolladores, así como la carencia de información detallada sobre el comportamiento estructural en zonas sísmicas, son algunas de las barreras a enfrentar. Además, la falta de historial de desempeño sísmico y experiencia en la implementación de estos sistemas, junto con la ausencia de normativas claras o reconocimiento oficial, pueden dificultar su aceptación y uso en proyectos de construcción.

Se sabe que los conocimientos acerca del comportamiento de las estructuras y de los materiales de construcción cada vez son más precisos y exactos, todos ellos apuntan a la disminución del tiempo de ejecución de la obra y la reducción de personal, generando mayores utilidades. Razones que la industria de la construcción se ve constantemente obligada a ofrecer nuevos sistemas constructivos, adaptables a los requisitos económicos, estructurales y funcionales de las personas, demostrando su seguridad y eficiencia a las funciones para las cuales fueron diseñados, no obstante, continuamente se diseñan sistemas constructivos más osados y novedosos, y en la mayor parte de los casos no se encuentran reglamentados; su diseño y construcción se apoyan únicamente en la pericia de los ingenieros o en el cumplimiento mínimo de los requerimientos considerados en los reglamentos. Sin embargo, lo anterior no garantiza que tal sistema sea el más adecuado o resistente ante las sollicitaciones a las que pueda ser sometido. Tal es el caso del sistema de losa aligerado conformado por viguetas

prefabricadas de acero estructural galvanizado y casetones de poliestireno expandido EPS de alta densidad, que viene utilizándose a nivel nacional en edificios residenciales, universidades, hospitales, etc. Este sistema de losa aligerada con viguetas de acero es nuevo, la empresa que fabrica éste producto en el Perú es Arcotecho de vigacero la misma que promociona en su broucher (ver Anexo 09) las ventajas del sistema dentro de las cuales hace referencia del 32% de resistencia frente a otros techos, sin embargo la información global acerca del comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado con viguetas de acero no se encuentra en los reglamentos y existe poca información al respecto, en ese sentido y considerando que el Perú se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico y que Huánuco no es la excepción, es crucial realizar un estudio detallado de este sistema. para brindar a los profesionales información técnica fiable sobre su efectividad en la mejora del comportamiento sísmico de los edificios y así poderlas aplicar en los diseños y construcciones para salvaguardar vidas humanas y reducir pérdidas económicas.

1.2. Descripción del problema

El Perú pertenece al Círculo del Fuego del Pacífico en donde el 85% de los terremotos del mundo ocurren en esta zona, los cuales la mayoría son destructores causando grandes pérdidas de vidas y de bienes materiales. Huánuco no es una excepción, y está considerado de peligrosidad sísmica moderada y este no debería hacernos descuidar en las precauciones básicas de protección frente a los terremotos. En promedio, 10,000 personas fallecen cada año debido a estos eventos naturales de la geodinámica interna de la tierra, y las pérdidas económicas van en el orden de los miles de millones de dólares y representa un elevado porcentaje del presupuesto nacional de los países afectados. (Elnashai y Di Sarno, 2008) Justamente la ingeniería antisísmica trata de prevenir los daños que pueden ser ocasionados por los movimientos sísmicos, protegiendo la vida humana y los recursos materiales. Se trata de que las estructuras puedan soportar terremotos de baja intensidad sin sufrir daños

significativos, sismos moderados con daños reparables y terremotos de alta intensidad que no provoquen colapso. Sin embargo, el solo considerar la prevención de colapso ante grandes eventos sísmicos no se traduce siempre como un comportamiento adecuado, sino que más importan es la distribución de la resistencia de sus elementos en toda la estructura. La losa de los entresijos, elemento que forman parte de la estructura de una edificación, al unirse con otros elementos estructurales (columnas, vigas y muros) hace que la estructura trabaje en conjunto por lo que esta debe actuar como un diafragma rígido sin deformarse ni doblarse ante las cargas sísmicas.

El sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas de acero galvanizado es un nuevo sistema no convencional, producido por Arcoteco Perú S.A.C, el cual recibió el premio CAPECO a la Innovación Tecnológica por su producto vigacero en el marco de Excon del 2014. Este sistema fue aprobado por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento con Resolución Ministerial N° 269-2014-Vivienda (ver Anexo 08) como nuevo sistema constructivo no convencional conforme al informe técnico de una comisión evaluadora, en la que resume que es un sistema que cuenta con las condiciones estructurales de seguridad contra incendios y de durabilidad. En la memoria descriptiva presentada por la empresa señala que el sistema con viguetas de acero reemplaza al sistema de losa aligerada convencional, debido a que es posible cubrir paños más grandes con menor espesor de losa, es ligera y fácil de instalar reduciendo de este modo el tiempo y el costo. Pero el desempeño sísmico global de la estructura cuando se usa este sistema aún queda suelto, y requiere ser estudiado para evitar que la estructura colapse y se pierdan vidas humanas y económicas. La Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente (2016) hace referencia que los nuevos sistemas que no están considerados en ella, lo mínimo que debe cumplir son con los requisitos de: rigidez, resistencia básicamente frente a las principales solicitaciones o acciones exteriores a que puedan estar sometidos. Por lo tanto, se hace pertinente el estudio de los aspectos básicos considerados en

la normativa, para analizar el comportamiento sísmico de las estructuras de concreto armado con y sin viguetas de acero, comparar los resultados y ver su incidencia.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de las viguetas de acero en el comportamiento sísmico de las edificaciones en la Región de Huánuco?

1.3.2. Problemas específicos

¿En qué medida la incorporación de viguetas de acero en losas incide en la rigidez de las edificaciones?

¿En qué medida la incorporación de viguetas de acero en losas incide en el cortante basal de las edificaciones?

¿En qué medida la incorporación de viguetas de acero en losas incide en el peso sísmico de las edificaciones?

1.4. Antecedentes

1.4.1. Internacionales

Diéguez et al. (2015) analizaron el comportamiento estructural de edificaciones de acero sismorresistentes de gran altura, utilizando el sistema estructural Diagrid para ello diseñaron seis estructuras en acero de 20, 30 y 40 pisos considerando dos tipos de sistema estructural; tres estructuras en sistema aporticado y tres en sistema Diagrid para lograr comparar su comportamiento. Dichos diseños se realizaron mediante el programa de cálculo estructural ETABS. Las estructuras cuentan con una misma geometría en planta y el mismo uso, sus diferencias radica en número de pisos y sistema estructural empleado. La investigación metodológicamente fue de nivel descriptivo, de diseño fue no experimental y la técnica de recolección de datos que se empleó fue la observación documental. Se concluyó que el comportamiento estructural bajo acciones sísmicas del sistema Diagrid resulta más eficiente en

comparación con el sistema aporticado, logrando ahorrar el material (acero) de hasta un 56%, rápida construcción consiguiendo minimizar considerablemente los costos. El sistema estructural Diagrid contó con una considerable rigidez lateral, superior al del sistema aporticado, brindando una mejor respuesta ante las cargas horizontales sísmicas y eólicas. Esto se demuestra gracias a los periodos de vibración, desplazamientos máximos y derivas inherentes a las estructuras, cuyos valores resultaron mucho más favorables que en aquellas que utilizaron el sistema aporticado. La configuración de los módulos triangulares del Diagrid en conjunto con las propiedades mecánicas del acero, permitió que la distribución de las cargas verticales y horizontales se efectuara de la manera más favorable. Asegurando la participación conjunta de todos los elementos estructurales que conforman el Diagrid, se generó una reducción de los esfuerzos a los que se encuentran sometidos cada uno de los miembros, lo que permitió optimizar la resistencia de la estructura y emplear miembros de menores dimensiones en comparación con el sistema aporticado. Por otro lado, el sistema estructural Diagrid demostró tener mayor capacidad de resistencia ante la acción sísmica, representada a través del cortante basal, cuyos resultados fueron más favorables que los obtenidos en el sistema aporticado.

Saifulla y Azeem (2017) del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Tecnología de Hyderabad en la India estudiaron sobre el desempeño sísmico comparativo de una losa convencional y losa plana sobre una losa de plataforma de burbujas. La losa de plataforma de burbujas consiste en esferas de plástico huecas fundidas en el hormigón para crear una cuadrícula de formas vacías dentro de la losa, para el estudio se utilizó bolas de polietileno de alta densidad (HDPE). El sistema optimiza el tamaño de los elementos verticales y aligera el peso de las losas también permite la realización de luces más largas, montaje más rápido y menos costoso. En este estudio se analizó y comparó el comportamiento sísmico de diferentes tipos de losa entre ellas tenemos: losa convencional, losa plana y losa de

plataforma de burbujas los tamaños fueron: losas de panel 6x6m, 7x7m, 8x8m, 8x8,5m, 9x9m y 10x10m.usando SAP 2000 las cuales fueron evaluadas bajo diferentes cargas. Los principales parámetros evaluados en este estudio fueron desplazamientos, momentos flectores, tensiones de la carcasa, fuerza axial y reacción de cimentación. Se concluyó que la losa de plataforma de burbujas tiene una gran cantidad de ahorro de concreto, ya que reduce el peso muerto de la estructura y por tanto la cantidad de hormigón se reduce hasta un 50% es decir, (1 kg de plástico reemplaza 101 kg de hormigón). La cantidad de acero requerida es la mitad en comparación con la losa plana. Las reacciones son menores y la fuerza cortante es mayor en la losa de plataforma de burbujas en comparación con otros sistemas de losa. La losa de la plataforma de burbujas tiene deflexiones comparativamente mayores, pero están dentro de los límites definido según los códigos IS 456.

Morales y Santamaría (2018) estudiaron sobre la influencia de los paneles modulares M2 en el comportamiento sismo resistente de edificaciones, cuyo objetivo fue implementar paneles modulares M2 en los sistemas estructurales de edificaciones, con el fin de disminuir el peso de la edificación con respecto a la losa con placa cooperante o tradicional, de ese modo lograr reducir el cortante basal, derivas de piso y periodos de vibración. Se analizó y comparó las respuestas estructurales máximas de una edificación residencial de 6 pisos y otra de oficinas de 16 pisos, que constan de un sistema estructural tradicional (columnas y vigas) de hormigón armado, en las cuales se implementan dos sistemas de piso, losas con tecnología M2 (compuestos por planchas de poliestireno expandido, malla electro-soldada, conectores de acero y hormigón) y losas con placa cooperante o steel deck (conformadas por planchas de acero estructural que se combinan con el hormigón), que fueron implantados dentro del Distrito Metropolitano de Quito. Concluyó que al reemplazar la losa de placa colaborante por la losa de tecnología M2 existe una reducción del 5.00%, 2.06% en el peso, del 2.79%, 2.27% en el

periodo de vibración y del 5.26%, 4.44% en el cortante basal de las edificaciones de 6 y 16 pisos respectivamente.

1.4.2. Nacionales

Hidalgo y Zapata (2021) de la universidad Ricardo Palma realizaron una propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero en el distrito de Rímac cuyo objetivo general fue realizar una propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero en el distrito de Rímac. Y los objetivos específicos fueron: realizar el análisis sismorresistente de la propuesta de vivienda progresiva con el software ETABS 2018 v18.1.1, diseñar la superestructura de la vivienda progresiva considerando el cumplimiento de las normas vigentes y realizar una valoración técnico-económica de la implementación del sistema vigacero en las losas aligeradas frente a un sistema de losa aligerada tradicional. Los autores **concluyen** que la propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero cumplió con todos los parámetros establecidos en las normas vigentes como pesos totales de las estructuras, las cortantes basales y las derivas de entrepiso, presentando mejoras en la respuesta sísmica de la estructura con la implementación del sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero. Otra de las conclusiones fue que el software ETABS 2018 v18.1.1. permitió obtener los parámetros de respuesta sísmica de la estructura donde se determinó que la estructura con el sistema de losa aligerada vigacero ofreció un mejor desempeño sísmico frente a un sistema de losa aligerada convencional. A partir de estos resultados, se logró determinar una reducción de 10.32% del peso de la estructura y de la cortante sísmica. Además, se obtuvo una mejora en el control de derivas de entrepiso de 13.10%. La superestructura cumplió satisfactoriamente con los parámetros que establecen las normas técnicas vigentes, tales como cortantes basales, peso propio de estructura y derivas de entrepiso. También se encontró que el precio de la losa

vigacero reduce un 10.03% el costo por metro cuadrado en comparación con el sistema tradicional.

Cueto (2019) en su estudio sobre edificaciones multifamiliares en Surquillo, descubrió que el empleo de viguetas prefabricadas de acero en los entrepisos resultó en una reducción del 1.64% en el periodo fundamental de la estructura, en comparación con los sistemas convencionales. La cortante de diseño para la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricadas se redujo para las dos direcciones en 5.67% respecto a la edificación con el sistema de entrepisos convencional. El desplazamiento absoluto de la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricadas se redujo en un 1.01% en la dirección X-X y 2.11% en la dirección Y-Y respecto al sistema de entrepisos convencional. El desplazamiento relativo máximo de la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricadas se redujo en un 0.98% en la dirección X-X y 2.22% en la dirección Y-Y respecto al sistema de entrepisos convencional. El concreto obtenido en el metrado para la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricadas se redujo en 7.59% (21.3m³) respecto a la edificación con el sistema de entrepisos convencional. La madera para el encofrado obtenido en el metrado para la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricadas se redujo en 29.35% (913.30m²) respecto a la edificación con el sistema de entrepisos convencional. El área obtenida por cada unidad de ladrillo (0.30x0.30x0.15) en el metrado para la edificación con el sistema de entrepisos convencional es de 582.21m². El área obtenida por cada unidad de casetón de EPS (1.00x0.75x0.15) en el metrado para la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricados es de 740.25m². La cantidad de acero para la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricadas aumento en 3.98% (1229.84kg). El presupuesto de las columnas de la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricas se mantuvo igual respecto al sistema de entrepisos convencional. El presupuesto de las vigas de la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricas se redujo en un 2.99% (S/

3,763.64) respecto al sistema de entrepisos convencional. El presupuesto de las placas de la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricas se redujo en un 2.67% (S/ 2,145.11) respecto al sistema de entrepisos convencional. 142 el presupuesto de la losa aligerada de la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricas se redujo en un 12.64% (S/ 11,221.54) respecto al sistema de entrepisos convencional. El presupuesto de estructuras de la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricas se redujo en un 4.12% (S/ 20,213.38) respecto al sistema de entrepisos convencional. El peso de la edificación con el sistema de entrepisos de viguetas prefabricas se redujo en un 5.67% (62.32Tn) respecto al sistema de entrepisos convencional.

Hernández y Tacas (2022) evaluaron la influencia de distintos sistemas de entrepiso (viguetas pretensadas Firth, Prelosas, losas convencionales y Vigacero) en la respuesta sísmica de tres edificios multifamiliares peruanos (El Rosario, Chiclayo y Quiñones), cuantificando variaciones en fuerza sísmica, masa sísmica, períodos, desplazamientos y derivas. Los autores obtuvieron como resultados que el sistema de vigacero logra reducir el primer modo de vibración con respecto al sistema tradicional en un 7.74 % (edificio el Rosario), 7.74 % (edificio Chiclayo) y 4% (edificio Quiñones) esta disminución significa una mayor rigidez de la estructura al usar losa aligeradas del tipo Vigacero. En cuanto al cortante basal, el sistema de vigacero redujo con respecto al sistema tradicional en un 12% (edificio el Rosario), 11.23% (edificio Chiclayo) y 5.08% (edificio Quiñones). Ahora bien, el peso con el uso del sistema de vigacero logra reducir con respecto al sistema tradicional en un 12.93% (edificio el Rosario), 11.05% (edificio Chiclayo) y 9.89% (edificio Quiñones). Y a la ratio de peso sobre el área construida para el uso de la losa aligerada tradicional es de 1.26 ton/m² mientras que en el empleo de losa vigacero es de 1.12 ton por m² de construcción, obteniendo una diferencia de 140 kg por metro cuadrado, en porcentaje resulta una reducción del 11.11%. También se halló que el desplazamiento de entrepisos, en ambos sentidos, usando el sistema de vigacero se

redujo con respecto al sistema tradicional en un 12 % (edificio el Rosario), 7.62 % (edificio Chiclayo) y 4.61% (edificio Quiñones).

El análisis de Quingua y Reyes (2016) reveló que los sistemas de losas aligeradas con viguetas metálicas y pretensadas ofrecen ventajas económicas gracias a su doble función como elemento estructural y encofrado. Los bloques de EPS, a pesar de sus buenas propiedades, incrementan significativamente el costo del sistema. Los autores recomiendan evaluar cada caso particular para determinar el sistema de losa más adecuado en función de los requerimientos del proyecto. La vigueta metálica se diseñó para que trabaje como encofrado, pero también para que cumpla la función del acero positivo de la losa, y resultó que esta característica disminuyó el metrado y su costo. En conclusión, resulta más económico optar por este sistema; además la losa tendrá mejores características como mejor comportamiento acústico, más ligero, auto extingible, y se podrá construir en menor tiempo.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación

1.5.1.1. Teórica. Los resultados de la investigación pueden contribuir a la revisión y a la incorporación del sistema de losa aligerada con viguetas de acero en la actual Norma Peruana E.030 de Diseño Sismorresistente, proporcionando una base científica en cuanto al comportamiento de edificaciones en zonas sísmicas, cuando estas usan el sistema no convencional. Los resultados hacen también que se tenga mayor conocimiento de esta nueva tecnología.

1.5.1.2. Práctica. La investigación se justifica en la práctica porque los resultados sirven para realizar una buena selección del tipo de losas que se desea emplear en nuestras construcciones haciendo que se tenga más confianza en el uso de viguetas de acero tanto en viviendas como en pabellones académicos.

1.5.1.3. Metodológica. Para lograr los objetivos de la investigación y obtener los resultados se utilizaron procedimientos metodológicos ordenados y sistematizados válidos y confiables, los cuales fueron creados para modelar y analizar el comportamiento sísmico de las edificaciones con viguetas de acero, por lo que pueden ser utilizados en otros trabajos de investigación afines y en otros lugares.

1.5.1.4. Social. La mejora del comportamiento sísmico de viviendas y edificios académicos con la utilización de las viguetas de acero hace que la comunidad universitaria y la población de la zona urbana de Huánuco se sientan más seguras frente a un sismo, evitando en todo momento pérdidas de vidas humanas.

1.5.2. Importancia

Contribuir con el uso de tecnologías nuevas para el diseño de estructuras técnicamente aceptables y acorde con la importancia de la misma, promoviendo una mejor respuesta sísmica de la estructura con la utilización de un nuevo sistema no convencional de losa aligerada, teniendo como razón de uso que el usuario no se vea afectado en su integridad física y minimizar los daños materiales. Para lograr dicho objetivo depende en gran medida del diseño estructural, estudio de suelos, calidad de los materiales utilizados y los procesos constructivos adecuados.

Los nuevos sistemas constructivos significan una mayor rapidez en el proceso constructivo, reducción en los costos, tiempos, mejora en la calidad y buen desempeño estructural frente a cargas verticales y horizontales, etc. es decir, representan un aspecto muy importante en el desarrollo de nuevas generaciones e infraestructura. Las investigaciones nos permiten tener un conocimiento más amplio de todos estos aspectos, haciendo que estas se apliquen o se mejoren, en este sentido es de gran importancia conocer el comportamiento sísmico de las edificaciones aplicando este sistema no convencional ya que el resultado nos

permitirá proponer alternativas para optimizar este sistema y por ende obtener una mejor respuesta estructural frente a movimientos sísmicos ya que el Perú es una zona sísmica.

El interés por investigar es dar a conocer el comportamiento que tendrán las edificaciones de concreto armado al aplicar viguetas de acero en las losas aligerada. A través de este trabajo investigativo se logra ampliar los conocimientos e incentivar a estudiantes y a profesionales para la utilización de nuevos sistemas que ayuden a conseguir estructuras con buen desempeño sísmico.

1.6. Limitaciones de la investigación

Se tuvo limitaciones en cuanto a la escasez de la bibliografía; no se ha encontrado trabajos de investigación a nivel internacional que trate exclusivamente de viguetas de acero en losas aligeradas, sin embargo, se puede advertir que este sistema constructivo es reciente y es un producto nacional.

El acceso a la información para acopiar los expedientes técnicos de las viviendas con licencia de construcción en la Municipalidad de Pillco Marca fue otra limitante, el caso es que la atención al público fue restringida debido al estado de emergencia sanitaria declarado a nivel Nacional.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la incorporación de viguetas de acero afecta en el comportamiento sísmico de las edificaciones en la Región de Huánuco.

1.7.2. Objetivos específicos

Determinar en qué medida la incorporación de viguetas de acero en losas incide en la rigidez de las edificaciones.

Determinar en qué medida la incorporación de viguetas de acero en losas incide en el cortante basal de las edificaciones.

Determinar en qué medida la incorporación de viguetas de acero en losas incide en el peso sísmico de las edificaciones.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

La incorporación de viguetas de acero en losas afecta significativamente el comportamiento sísmico de las edificaciones en la Región de Huánuco.

1.8.2. Hipótesis específicas

H₁: La incorporación de viguetas de acero en losas, mejora significativamente la rigidez de las edificaciones.

H₂: La incorporación de viguetas de acero en losas, reduce significativamente el cortante basal de las edificaciones.

H₃: La incorporación de viguetas de acero en losas, disminuye significativamente el peso sísmico de las edificaciones.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Viguetas de acero

El uso temprano de las armaduras de hierro en las construcciones de concreto data de 1852 en el techo de la casa de François Coignet en Saint Denis, Francia (ver Figura 1), la cual consiste en una losa plana de concreto de 30 cm de espesor reforzada con viguetas de hierro de sección transversal en doble T colocadas en su parte inferior.

Figura 1

Casa de Francois Coignet



Nota: Tomado de Allorge, 2013

En el siglo XIX, con el auge del hierro en la construcción, los entrepisos con viguetas metálicas se generalizaron, con una amplia variedad de disposiciones. En su intento por conseguir un sistema económico y resistente al fuego, el inglés William Boutland Wilkinson dio un paso en otra dirección al aplicar barras de hierro como refuerzo para forjados de hormigón. Patentó su sistema en 1854, y lo aplicó por vez primera en 1865 en la construcción de una villa en Newcastle. (Cehopu, 2010)

En Inglaterra uno de los primeros proyectos en los que se usaron viguetas y bovedillas fue en la construcción de la fábrica de hilados de algodón de Philips & Lee, en donde se usó una viga de hierro en doble T, también se incluyó una especie de bovedilla en forma de arco y un relleno de concreto simple para nivelar la superficie. En 1882 en New York la compañía de Tomas Alva Edinson construye la estación generadora de corriente Pearl Street donde se aplica

las viguetas de hierro en doble T (ver Figura 2) (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción [SENCICO], 2015)

A nivel mundial, Custodio (2014) detalla un ejemplo en la Factoría de Salford que fue construida en Manchester en el año 1801 como una de las primeras construcciones en utilizar un sistema de losa aligerada no convencional, en esta construcción se utilizó una vigueta de acero y el edificio representó, para su época, una de las primeras edificaciones de hierro en toda su estructura.

En Arequipa luego del fuerte sismo de 1911 que afectó la ciudad, se realizó la reconstrucción de muchas edificaciones que hoy tienen más de 100 años. Los techos aligerados se realizaron con rieles de ferrocarril (separados a 80 cm entre sí), piedra sillar tallados (bovedillas o casetones) la parte superior tiene una mezcla de cal y arena, y por la parte inferior se enlucieron con cal. Aun se puede observar que estas edificaciones de uno, dos y tres pisos son utilizadas como viviendas, locales comerciales, hoteles, entre otros. Sin haber sufrido consecuencias a pesar de los sismos ocurridos en 1960 y 2001, que causaron daños al Centro Histórico de Arequipa, pero sin afectar estas edificaciones que hoy en día podemos admirar (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción [SENCICO], 2015) (ver Figura 2)

Actualmente, según el Ing. Jaime Rengifo Estrella, representante de la empresa Arcotecho en San Martín, indicó que en la región ya se vienen realizando edificaciones con el producto. En Tarapoto, por ejemplo, la Universidad Alas Peruanas, ha utilizado vigacero para la construcción de sus ambientes ubicado en la parte baja de la ciudad, así como otras empresas. También se tiene el hospital de Tocache con el sistema Vigacero. (Voces, 2018) También edificios que fueron construidos con viguetas prefabricadas de acero galvanizado fueron: el centro empresarial “Los Inkas”, obra realizada en Av. Javier Prado, cdra. 50, frente al Wong de Camacho. 2 torres de 15 pisos y área de losas aligeradas 21,400 m² entre otros.

Figura 2

Edificaciones con viguetas metálicas.



Nota. A la izquierda la estación Pearl Street y a la derecha construcciones de entepiso de riel con sillar en Arequipa. Tomado del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción [SENCICO], 2015

Viguetas de acero. Es un sistema de losa aligerada conformada por viguetas prefabricadas de acero estructural galvanizado y casetones de poliestireno expandido (EPS de alta densidad) que facilita la construcción de entepisos de una manera más rápida y sencilla. Las viguetas se apoyan sobre las vigas perimetrales ya sean de concreto, metálicas o placas de concreto y que junto con los casetones de EPS (tecnopor), la malla de temperatura y el concreto forman un diafragma rígido. (ver Figura 3)

Tabla 1

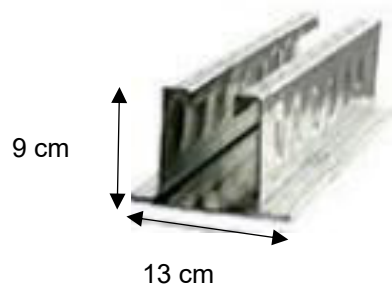
Características de las viguetas de acero

Dimensiones	h = 9 cm b = 13 cm
Peso	4.86 kg/ml
Espesor	1.5 mm
Rendimiento	180 m ² /día
Acabado	Negro y/o Galvanizado
Calidad de Acero	ASTM A 1011 ASTM A 1008 ASTM A 653
fy	Min 2530 kg/cm ²
Luz Libre Máximo	8.00 m

Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Detalle isométrico de las viguetas

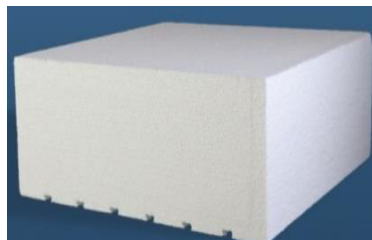


Nota. Imagen tomada de file:///C:/Users/PC%20HP/Downloads/Brochure%20Vigacero.pdf

Casetones de poliestireno expandido (EPS). Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire (ver Figura 4). La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded polystyrene o embalaje de poliestireno expandido. Este material es conocido también como tecnopor o corcho blanco. Las bolitas de poliestireno se le expande dentro de una cámara de vapor a 200°C de temperatura provocando que las bolitas se escapen con lo que entra aire dentro y las bolitas se inflan hasta alcanzar 40 veces su tamaño original. En las máquinas de formación de bloques se echan las bolitas expandidas, cuantas más bolitas entran por metro cúbico más denso será el bloque, aplicando vapor se fusionan las bolitas hasta formar bloque de 1m de ancho por 5m de largo, finalmente se realizan los cortes con alambre níquel sometido a calor.

Figura 4

Casetones de poliestireno



Fuente: Imagen tomado de <https://mgsaavedra.com/casetones-de-porexpan>

Tabla 2

Características de los casetones

CARACTERÍSTICAS DE LOS CASETONES DE POLIESTILENO (EPS)	
Dimensiones	Largo: 1.20m Ancho: 0.75m Espesor: entre 9 cm y 12 cm (*)
Peso máximo por	1.2 kg/m ² (casetón de 9 cm de espesor)
Unidad	1.62kg/m ² (casetón de 12 cm de espesor)
Densidad	15 kg/m ³
Color	Blanco
Comportamiento físico	Material auto extingible e ignífugo, materia prima:
Químico	el poliestireno tipo F. inerte

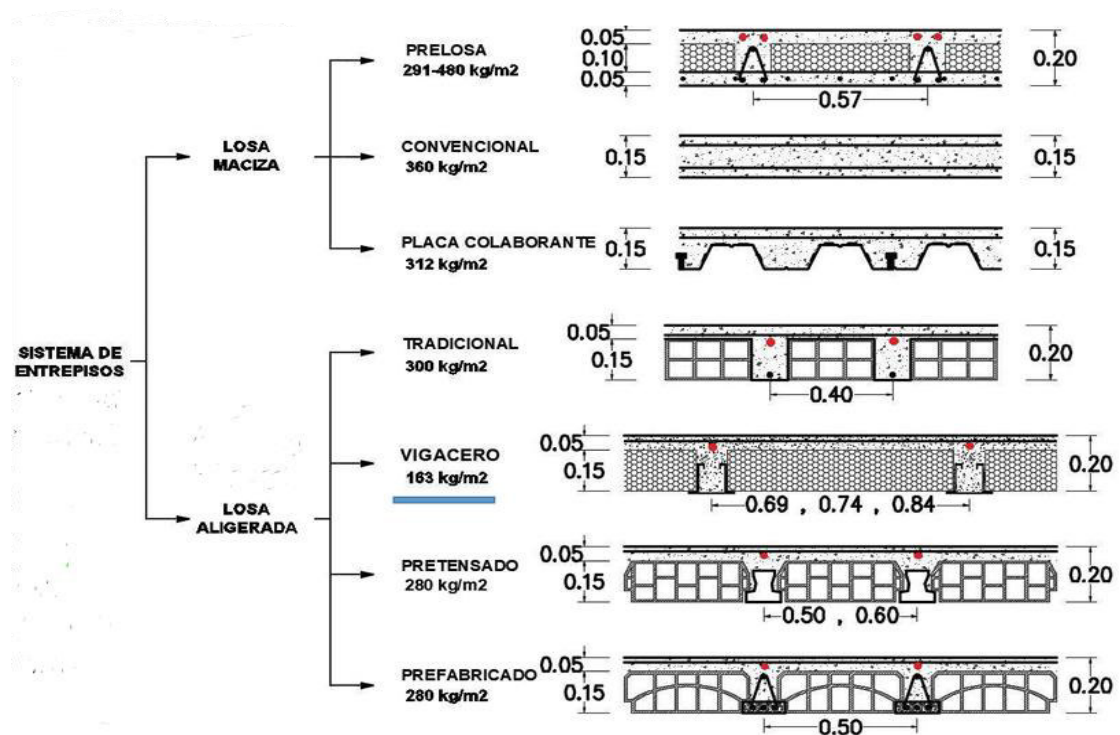
(*) Esta condición dependerá de las luces que se pueda plantear por proyecto

Fuente: Elaboración propia

Sistema de losas. Normalmente en una construcción tenemos (ver Figura 5)

Figura 5

Sistema de entrepisos



Fuente: Tomado de

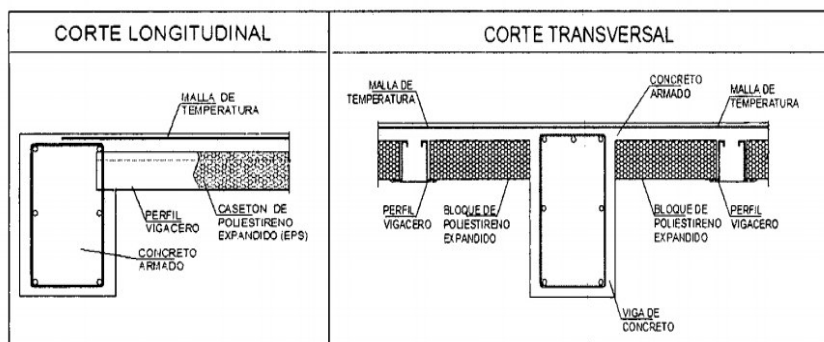
[https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/VIGACERO_en%20Edificios%20Corporativos_A1%20\(2\).pdf](https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/VIGACERO_en%20Edificios%20Corporativos_A1%20(2).pdf)

El sistema de viguetas prefabricadas de acero se utiliza para armar losas aligeradas reemplazando las viguetas convencionales de pisos y techos. Trabaja con todos los sistemas constructivos como: el sistema de albañilería confinada, el sistema aporricado, sistema dual y las estructuras metálicas, entre los usados.

Detalle estructural. La parte estructural del sistema está constituida por viguetas prefabricadas de acero con concreto y una losa superior vaciado in situ de 4 cm como mínimo ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) y una malla de temperatura (malla electrosoldada $\Phi \text{ min} = 4.5 \text{ mm}$ colocada de $25 \times 25 \text{ cm}$ o alambrcn de $\Phi = 6 \text{ mm}$ armado en dos sentidos) de . La parte no estructural entre viguetas se completa con casetones de poliestireno expandido de alta densidad. El espaciamiento entre viguetas de eje a eje es de 84cm, las viguetas tienen la forma de TT invertida de 9cm de altura y 13 cm de ancho en el ala inferior es recomendable usar de 1 hasta 8m lineales de luz libre de luz. En las salientes de las alas se apoyan los casetones de EPS (poliestireno expandido), evitándose el fondo de encofrado. El sistema no requiere de encofrado, en luces libres mayores a 4.50 m, solo requiere apuntalamiento. En la parte superior van embebidas las instalaciones sanitarias y eléctricas, la malla de temperatura y el acero negativo (opcional para espesores de losas continuas superiores a 25cm). La losa final tiene una sección compuesta por concreto y acero, que permiten formar un diafragma rígido, toda vez que sus componentes están integrados mediante una adherencia mecánica. (ver Figura 6)

Figura 6

Corte longitudinal y transversal

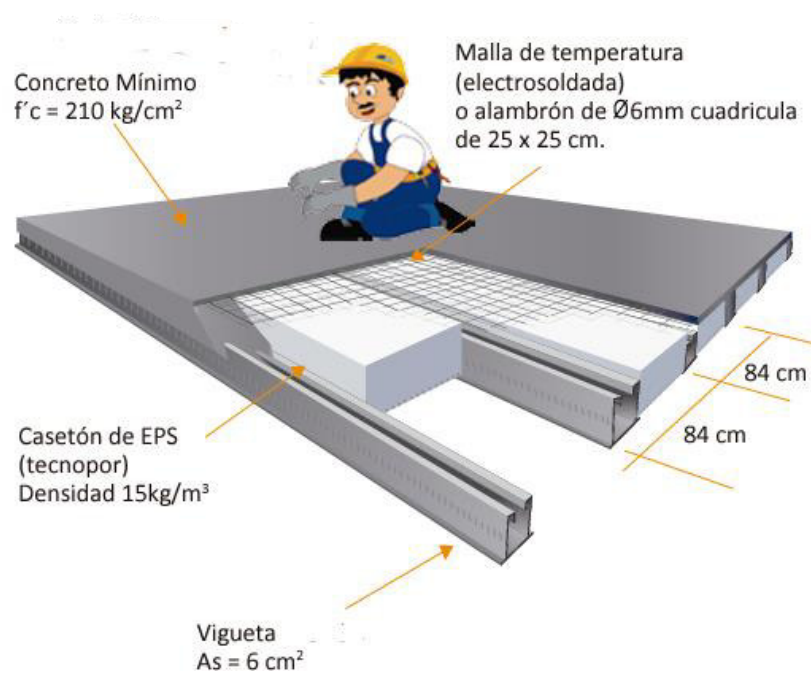


Fuente: Imagen tomado de https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/07/resolucion_ministerial.pdf

Elementos horizontales. El sistema de losas aligeradas está formado por las viguetas de acero, los casetones de poliestireno expandido (EPS), la malla de temperatura y el vaciado de concreto armado los cuales conforman una losa aligerada que funciona como un diafragma rígido. Las alturas de las losas pueden ser de distintas dimensiones, variando el espesor de los casetones, manteniendo el espesor de la vigueta de acero. De este modo se puede tener losas de: 13,16, 20, 25 y 30 cm. Otros espesores se pueden lograr variando el espesor de la losa superior y el espesor del casetón de poliestireno expandido (ver Figura 7).

Figura 7

Isométrico de losa aligerada con viguetas de acero



Fuente: Imagen adaptada de https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/10/Manual-T%C3%A9cnico-Vigacero-2018_web.pdf

Instalación del sistema

1. Se apoya la vigueta de acero a 2.5 cm como mínimo a cada lado sobre el muro o viga de soporte. La distancia entre los ejes de las viguetas es de 84 cm. (ver Figura 8)

Figura 8

Viguetas de acero sobre vigas



Fuente: Imagen adaptada de https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/10/Manual-T%C3%A9cnico-Vigacero-2018_web.pdf

2. Se instala los casetones de EPS (tecnopor de 15 kg/m³ de densidad) sobre las viguetas de acero (ver Figura 9). Los casetones EPS se perforan con el uso de una pistola de aire caliente para canalizar las instalaciones eléctricas, sanitarias y de gas.

Figura 9

Instalación de casetones



Fuente: Tomada de

[https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/VIGACERO_en%20Edificios%20Corporativos_A1%20\(2\).pdf](https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/VIGACERO_en%20Edificios%20Corporativos_A1%20(2).pdf)

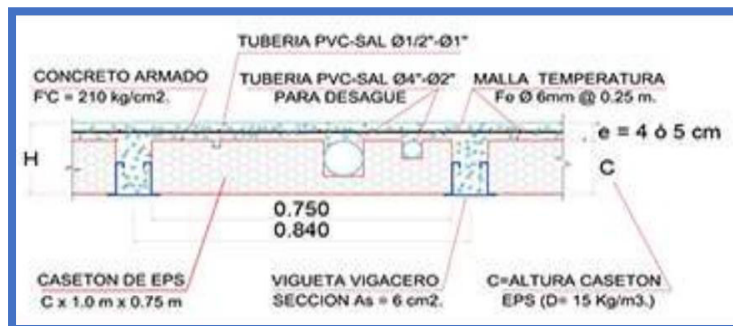
Para hacer empalmes o algunos cortes cuando a veces hay estribos se hace un par de cortes con una amoladora y con un alicate se dobla de ese modo se empalmará la viga de

acero con la viga principal de apoyo de cualquier sistema convencional sea viga chata o peraltada.

El recorrido horizontal de los tubos eléctricos pasa sobre la superficie de los casetones del poliestireno expandido, aprovechando que los casetones son de gran dimensión. Las cajas octogonales para fijar los puntos de luz se pueden adosar a los casetones mediante perforaciones sencillas. (ver Figura 10)

Figura 10

Sección de losa



Fuente: Imagen adaptada de https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/10/Manual-T%C3%A9cnico-Vigacero-2018_web.pdf

Las tuberías de agua fría y caliente y desagüe pasaran a través de los casetones realizando su recorrido horizontal entre los casetones de EPS y malla de temperatura. (ver Figura 11)

Figura 11

Tendido de tuberías



Fuente: Imagen adaptada de https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/10/Manual-T%C3%A9cnico-Vigacero-2018_web.pdf

3. Se coloca una malla de temperatura de 6 mm cada 25 cm en dos direcciones.
4. Se realiza el vaciado del concreto fabricado en obra o premezclado con su respectivo vibrado (ver Figura 12). Cumplir con el curado durante los siguientes 7 días posteriores al vaciado.

Figura 12

Vaciado de concreto



Fuente: Imagen tomada de https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/10/Manual-T%C3%A9cnico-Vigacero-2018_web.pdf

5. No necesita encofrado y solo se requiere apuntalamiento en luces libres mayores a 4.5 m. En caso de que se trabaje encima de la losa recién vaciada el día anterior, es necesario colocar un apuntalamiento cada 1.20 m y por 5 días como mínimo; el mismo que deberá ubicarse mediante una solera perpendicular a la vigueta y al centro de los casetones (ver Figura 13).

Figura 13

Apuntalamiento de viguetas

		ACERO GALVANIZADO ESPESOR 1.50 mm							
		DISTANCIA ENTRE EJES DE VIGUETAS ES 0.84 m y CASETON DE 0.75 m							
		Sobrecarga kg/m ²							
Luz (m)	e = 4 cm				e = 5 cm				
	100	200	300	400	500	600	700	800	
SIN APUNTALAMIENTO	2.0								
	2.2								
	2.4								
	2.6	LOSA DE H = 13 cm				LOSA DE H = 14 cm			
	2.8	LOSA DE H = 13 cm				LOSA DE H = 14 cm			
	3.0								
	3.2								
	3.4								
	3.6					H = 17 cm			
	3.8								
	4.0								
	4.2				LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE H = 25 cm (*)		
	4.4		LOSA DE H = 16 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE H = 25 cm (*)		
	CON APUNTALAMIENTO	4.6		LOSA DE H = 16 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE H = 25 cm (*)	
4.8			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
5.0			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
5.2			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
5.4			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
5.6			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
5.8			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
6.0			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
6.2			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
6.4			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
6.6			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
6.8			LOSA DE H = 19 cm		LOSA DE H = 20 cm		LOSA DE 30 cm (*)		
7.0		HASTA LUCES LIBRES DE 8 m CON EL DISEÑO DEL PROYECTISTA							
7.2		HASTA LUCES LIBRES DE 8 m CON EL DISEÑO DEL PROYECTISTA							
7.4	HASTA LUCES LIBRES DE 8 m CON EL DISEÑO DEL PROYECTISTA								
7.6	HASTA LUCES LIBRES DE 8 m CON EL DISEÑO DEL PROYECTISTA								
7.8	HASTA LUCES LIBRES DE 8 m CON EL DISEÑO DEL PROYECTISTA								
8.0	HASTA LUCES LIBRES DE 8 m CON EL DISEÑO DEL PROYECTISTA								

H = Espesor de la losa aligerada en cm.
e = Espesor de losa de concreto encima de casetones EPS en cm.
c = Espesor de casetones EPS en cm.

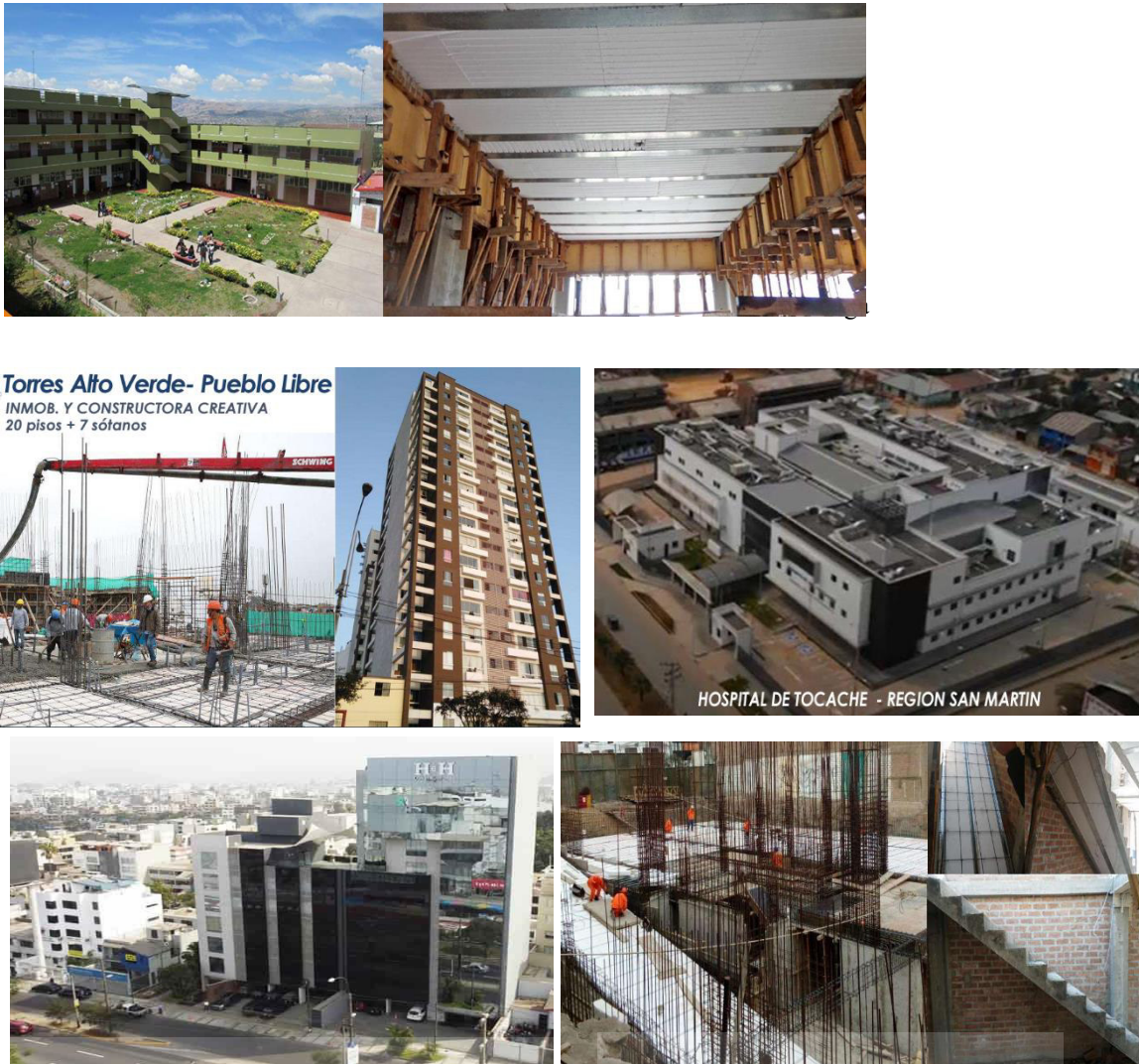
Fuente: Imagen adaptada de https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/10/Manual-T%C3%A9cnico-Vigacero-2018_web.pdf

Edificaciones con viguetas de acero. Según Custodio (2022) muchas edificaciones importantes en todo el país ya utilizan el Sistema Vigacero (ver Figura 14) y entre ellos destacan el hospital de Tocache, facultad de ciencias económicas y sociales de la universidad “San Cristóbal de Huamanga”, pabellones en universidades de la Selva norte de San Martín, escuelas en Cajamarca, Salón Multiusos y oficinas del Colegio de Ingenieros en Ayacucho,

Centro Comercial Chancay, Planta de molienda de caucho en Ate, las torres de oficinas en Centro Corporativo “Los Inkas” en Camacho y para financieras en Miraflores y Surco, además de edificios residenciales altos y medianos en Avenidas principales de Lima, Arequipa y Trujillo, entre otras obras

Figura 14

Construcciones con viguetas de acero



Edificio Corporativo H&H, Av. Javier Prado, Surco

Viguetas de acero en rampas y escaleras

Fuente: Imágenes tomadas de <https://coovias.com/innovacion-en-losas-aligeradas/> y

[https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/VIGACERO_en%20Edificios%20Corporativos_A1%20\(2\).pdf](https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/VIGACERO_en%20Edificios%20Corporativos_A1%20(2).pdf)

2.1.2. Comportamiento sísmico de edificios

2.1.2.1. Estudio del sismo. El estudio de los sismos, también conocido como sismología, es una rama de la geofísica que se ocupa de entender todo lo relacionado con los terremotos y las ondas sísmicas que estos generan. El cual implica varias disciplinas y técnicas para entender los terremotos, la propagación de las ondas sísmicas, y la estructura de la Tierra. La sismología no solo se enfoca en los aspectos físicos de los sismos sino también en la mitigación de sus efectos en la sociedad. Los sismos ocurren principalmente por la liberación repentina de energía en la corteza terrestre que crea ondas sísmicas. Esta liberación de energía suele ser el resultado de la ruptura de rocas a lo largo de fallas geológicas, actividad volcánica, movimiento de placas tectónicas (ver Figura 15) o incluso actividades humanas como la minería y la acumulación de grandes masas de agua en presas.

La interpretación de las ondas sísmicas (P, S, y ondas superficiales) ayuda a determinar las características de un terremoto, incluyendo su ubicación (epicentro y profundidad) y magnitud (ver Figura 15). Las ondas P son las más rápidas y pueden moverse a través de sólidos y líquidos, mientras que las ondas S son más lentas y solo pueden moverse a través de sólidos. Las ondas superficiales se mueven a lo largo de la superficie de la Tierra y suelen causar más daños.

El estudio de la estructura terrestre se realiza a través de una tomografía sísmica algo similar a la tomografía médica, utiliza las ondas sísmicas para crear imágenes del interior de la tierra, revelando detalles sobre la composición dinámica del manto y el núcleo y la técnica de reflexión y refracción sísmica para estudiar las capas de la Tierra, identificando variaciones en la velocidad de las ondas sísmicas que indican diferentes tipos de rocas y estructuras geológicas. También el instrumento para registrar el movimiento del suelo se llama sismógrafo. La magnitud de un terremoto mide la energía liberada en el epicentro del terremoto. La escala sismológica de magnitud de momento (M_w) es una escala logarítmica usada para medir y

comparar terremotos. La intensidad se refiere a los efectos de un terremoto en la superficie de la tierra y sobre las estructuras y personas. La Escala Mercalli Modificada es una de las más utilizadas para describir la intensidad.

Predecir el tiempo y lugar exactos de los terremotos sigue siendo un desafío, los modelos estadísticos y la identificación de patrones sísmicos ayudan a estimar la probabilidad de futuros sismos. Los avances tecnológicos han permitido a los sismólogos mejorar la precisión en la detección y análisis de terremotos. Esto incluye redes de sismógrafos digitales de alta sensibilidad distribuidos por todo el mundo, análisis de GPS para medir los desplazamientos del suelo, y modelos informáticos para simular terremotos y sus efectos en las estructuras urbanas. Los mapas evalúan el riesgo sísmico en diferentes regiones, basándose en la historia sísmica, geología, y modelos de terremotos. Son herramientas cruciales para la planificación urbana y el diseño de estructuras resistentes a sismos. El desarrollo e implementación de códigos de construcción basados en el conocimiento sismológico ayudan a minimizar los daños y pérdidas durante los sismos, también los programas de educación sobre cómo prepararse y responder durante y después de un terremoto son esenciales para reducir el impacto humano y material. El uso de modelos computacionales para simular terremotos y sus efectos en las estructuras ayuda a mejorar las técnicas de diseño y construcción.

Cuando ocurre un sismo, los edificios experimentan una serie de fuerzas que pueden afectar su integridad estructural y la seguridad de quienes se encuentran dentro. El impacto de un sismo en un edificio depende de varios factores, incluyendo la magnitud y profundidad del sismo, la distancia del edificio al epicentro, el tipo de suelo sobre el cual está construido el edificio, y, crucialmente, cómo ha sido diseñado y construido el edificio para resistir las fuerzas sísmicas. Cada edificio tiene una respuesta única a las cargas sísmicas, influenciada por su altura, forma, construcción, y materiales. Los edificios altos pueden tener modos de vibración complejos, mientras que los edificios bajos y rígidos pueden ser más susceptibles a daños por

Es necesario recordar algunos de los movimientos telúricos más devastadores que han sucedido en el Perú, sobre todo en regiones costeras, tomando en cuenta los últimos 50 años: En 1970 un terremoto de magnitud 7,8 y un gran aluvión se registró en el Callejón de Huaylas (Áncash), dejó como saldo 67 mil muertos. En diciembre del mismo año un terremoto de magnitud 7,2 ocurrió entre las regiones Piura y Tumbes. dejó como saldo 48 muertos. En 1974 un terremoto de 8,0 grados se registró en Lima., dejó como saldo 252 muertos. En 1979, un fuerte sismo de magnitud 6,2 se sintió en la región de Arequipa afectó seriamente algunas viviendas de sillar. En 1990, un sismo de 6,4 grados afectó las ciudades de San Martín, Amazonas, Cajamarca, Rioja, Moyobamba, Chachapoyas, Jaén y Bagua; dejó como saldo 77 muertos y 11 mil viviendas destruidas. En 1991., un sismo de magnitud 6,2 se sintió en San Martín, Amazonas y La Libertad.; se registraron 53 muertos y 30.224 viviendas destruidas y 139 escuelas se desplomaron. En 1996, se produjo un violento terremoto en el Sur del país, en las ciudades de Ica, Pisco, Nazca y Palpa en el departamento de Ica; Caravelí y Caylloma en el departamento de Arequipa, Lucanas y Coracora en Ayacucho, Huaytará en Huancavelica; el terremoto tuvo una magnitud de 6,4 y dejó como saldo 17 muertos, 5.346 viviendas destruidas, los mayores daños se registraron en dicha ciudad destruyendo el 90% de las viviendas. (El comercio, 2020)

2.1.2.2. Características de los edificios sismorresistentes. Cada estructura frente a un sismo debe asegurar la vida de las personas y los elementos que se encuentran en el interior del edificio. Se deben cumplir criterios estructurales, arquitectónicos y de otras especialidades, de manera que resulte una estructura segura, funcional, económica y que no sufra daños irreparables o colapse. Las características generales que deben poseer los edificios para un buen comportamiento sísmico son las siguientes:

A. Simplicidad y simetría. La configuración específicamente la geometría de la edificación debe ser sencilla y simétrica tanto en planta como en elevación sin afectar la

distribución de la arquitectura, ya que se comportan mejor ante sollicitaciones sísmicas y se evitan los efectos de torsión o que intente girar en forma desordenada, también son más fáciles de idealizar y predecir su comportamiento con un mayor grado de precisión. La falta de uniformidad provoca concentraciones de fuerzas en algunas esquinas que pueden ser difíciles de resistir. Por lo tanto, los edificios de formas complejas e irregulares generan un mal comportamiento cuando son sacudidas por un sismo.

B. Resistencia y ductilidad. Las estructuras deben tener resistencia sísmica adecuada en todas las direcciones por lo menos en las ortogonales, de tal manera que se garantice la estabilidad de la estructura en forma global y de cada uno de sus elementos.

Las cargas deben transferirse desde un punto de aplicación hasta su punto final de resistencia con trayectorias continuas con suficiente resistencia y rigidez para garantizar el adecuado transporte de las cargas.

Las fuerzas del sismo se establecen para valores intermedios de la sollicitación, debido a su eventualidad, confiriendo a la estructura una resistencia inferior a la máxima necesaria. debiendo complementarse el saldo con una adecuada ductilidad. Es así que se prepara a la estructura para ingresar en una etapa plástica, sin que se llegue a la falla.

Se debe tener en cuenta y es conveniente que las rótulas plásticas se produzcan en las vigas, por ser un elemento que contribuye menos a la estabilidad, pero si a la disipación de la energía sísmica, este control en la ubicación de las rótulas plásticas tiene la ventaja adicional de permitir que la ductilidad se otorgue en los puntos en que ella es necesaria, lo cual permite un diseño más económico.

La ductilidad depende de la carga aplicada al elemento y al tipo de material. Si éste es concreto armado, un aumento de la carga se traduce en un aumento de la resistencia con disminución de la ductilidad. Al suministrar ductilidad a una estructura debe tenerse presente que esta no depende únicamente de la ductilidad de sus elementos individuales, sino también

de la correspondiente a las conexiones entre ellos, Por lo cual éstas deben diseñarse para permitir el desarrollo de dicha ductilidad.

Al diseñar una estructura de concreto armado debe garantizarse que la falla se produzca por fluencia del acero y no por compresión del concreto.

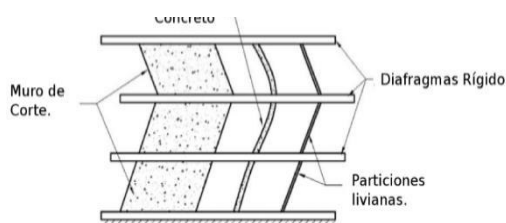
C. Continuidad de la estructura. Para evitar cambios bruscos de rigidez de los elementos estructurales y evitar la concentración de esfuerzos, la estructura debe ser continua tanto en planta como en alzado.

D. Rigidez lateral. Las sollicitaciones sísmicas se presentan como cargas laterales hacia la estructura y estas generan deformaciones laterales que producen daño de la misma, por lo tanto, se debe rigidizar la estructura usando muros de corte en ambas direcciones, los cuales también consiguen limitar la flexibilidad de los pórticos, disminuir las deformaciones y una mejor disipación de energía.

E. Diafragma rígido. Membrana que debe ser rígida en su plano, de tal manera que permita considerar a la estructura como una unidad con desplazamientos compatibles entre sí (ver figura 17). La membrana infinitamente rígida puede transmitir las fuerzas de inercia a los elementos resistentes que están conectadas con ellas, tales como pórticos y muros estructurales, las cuales se moverán con ella misma, mientras esta se traslade lateral y torsionalmente como un cuerpo rígido. Las losas irregulares y con aberturas hacen que el diafragma rígido se debilite.

Figura 17

Desplazamiento de losa como unidad



Fuente: Imagen tomada de <https://zm.linkedin.com/in/michael-nkalamo-chomba-834132136>

Las características mínimas de los edificios sismo resistentes con los que trabajan más los arquitectos e ingenieros son: configuración estructural sísmica, rigidez lateral, resistencia

lateral y ductilidad, además de otros aspectos como forma, estética, funcionalidad y comodidad del edificio. La rigidez lateral, la resistencia lateral y la ductilidad de los edificios se pueden garantizar siguiendo estrictamente la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones. Sin embargo, se puede garantizar una buena configuración estructural sísmica siguiendo características arquitectónicas coherentes que den como resultado un buen comportamiento estructural.

2.1.2.3. Configuración estructural sísmica. La configuración es fundamental para un buen comportamiento sísmico de los edificios y según Pankaj Agarwal and Manish. La configuración de una edificación puede ser descrita como regular o irregular en términos del tamaño y forma de la misma, la disposición de los elementos estructurales y de la masa. Las configuraciones regulares tienen en cuenta la simetría (en planta y alzado) y tienen una distribución uniforme de la gravedad y de la resistencia lateral. Las configuraciones irregulares no presentan simetría, y tienen discontinuidades en geometría, masa, o elementos resistentes de carga también pueden provocar interrupciones del flujo de fuerzas y causan concentración de esfuerzos. Las irregularidades de masa y rigideces de elementos también pueden dar lugar a elevadas fuerzas de torsión. Estas irregularidades pueden darse en elevación y en planta. (Shrikhande, 2006).

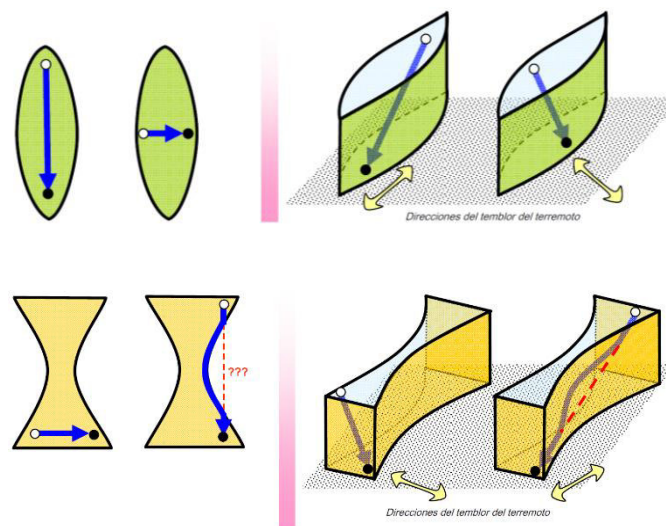
Los aspectos importantes que afectan la configuración sísmica de los edificios son: la geometría general, los sistemas estructurales y las rutas de carga.

A. La geometría general. Tiene que ver con la forma, tamaño y posición de los elemento estructurales y no estructurales del edificio. La influencia de la geometría de un edificio en su comportamiento sísmico se comprende mejor a partir de las geometrías básicas de convexo y cóncavo. Es convexa cuando la línea que une dos puntos tomados de la superficie convexa no se sale de la misma. Pero, no ocurre lo mismo con una geometría cóncava; una parte de la línea puede quedar fuera del área de la lente cóncava.

Se prefieren más las estructuras con geometrías convexas a las estructuras con geometrías cóncavas, ya que las primeras tienen un comportamiento sísmico superior. En el contexto de los edificios, los edificios de forma convexa tienen trayectorias de cargas directas para transferir fuerzas de inercia inducidas por sacudidas sísmicas a sus bases para cualquier dirección de sacudidas del suelo, mientras que los edificios cóncavos necesitan doblar las trayectorias que provocan estreches y concentraciones en todos los puntos donde las trayectorias de carga se curvan. (ver Figura 18)

Figura 18

Formas básicas de configuración estructural sísmica



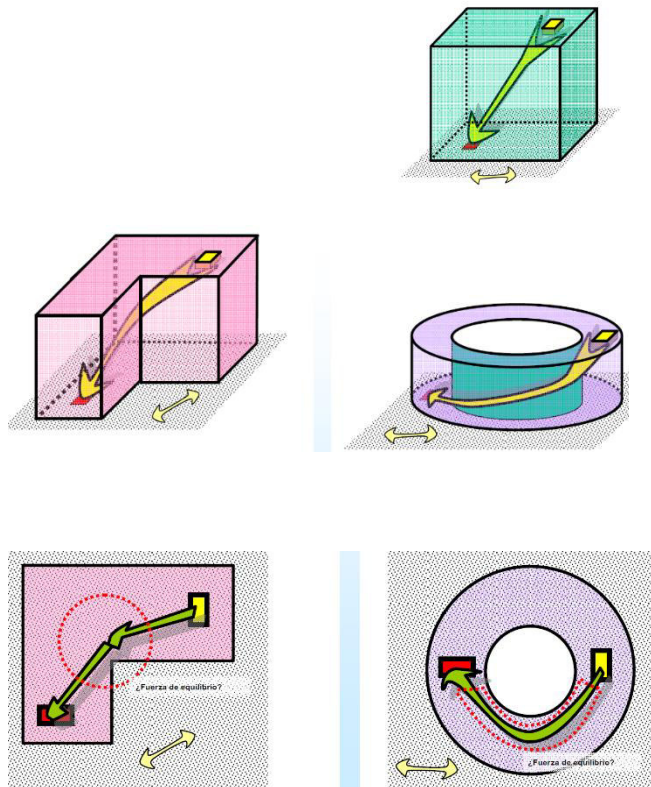
Nota. Dos geometrías de formas arquitectónicas (a)convexo y (b) cóncavo

Para Murty (2012) los edificios construidos normalmente se pueden clasificar en dos categorías, sencillo y complejo. Los edificios con planta rectangular y elevación recta tienen las mejores posibilidades de funcionar bien durante un terremoto, porque las fuerzas de inercia se transfieren sin tener que doblarse debido a la geometría del edificio (ver Figura 19). Pero los edificios con retrocesos y aberturas centrales ofrecen restricciones geométricas al flujo de fuerzas de inercia; estas trayectorias de fuerza de inercia deben doblarse antes de llegar al suelo.

Los edificios oscilan durante un sismo y las fuerzas de inercia se movilizan en ellos. Entonces, estas fuerzas de inercia viajan por diferentes flujos, llamados caminos de carga, a través de diferentes elementos estructurales, hasta que finalmente son transferidos al suelo a través de la cimentación. La generación de fuerzas basadas en el movimiento oscilatorio básico y la transferencia final de fuerza a través de los cimientos está significativamente influenciada por la geometría general del edificio, que incluye: la forma en planta, la configuración vertical y la relación de aspecto en planta.

Figura 19

Trayectorias de las fuerzas de inercia



Nota: Tomada de Murty, 2012

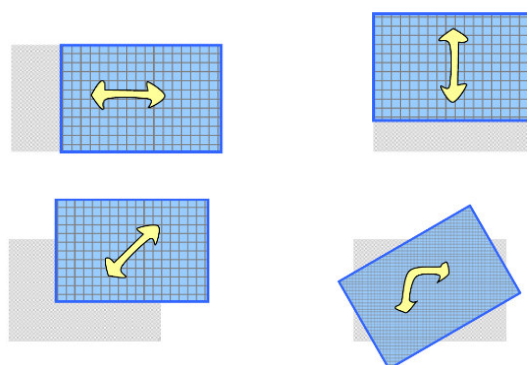
La forma en planta: edificaciones de formas alargadas presentan problemas sísmicos incluso cuando estas tienen formas sencillas y simétricas, dado a que no responden como unidad a las vibraciones sísmicas del suelo consiste en la transmisión de ondas, que se produce a una velocidad que depende de la densidad del suelo y de las partes de los elementos

estructurales puesto que estas vibran asincrónicamente con aceleraciones distintas causando grandes esfuerzos de tensión y compresión. Los edificios cortos se adaptan a las ondas con mayor facilidad que los edificios largos y reciben una excitación semejante en todos sus apoyos, a diferencia de los largos. Este hecho aparentemente conduce a una reducción en las aceleraciones de reacción de la estructura debido a la intervención de pequeñas excitaciones en algunos apoyos. Se recomienda un largo máximo de 40 metros o en su defecto el largo no debe exceder de 2.3 veces de su ancho.

Para resolver este problema de plantas alargada, se introducen juntas de dilatación sísmica de tal manera que cada una de las estructuras separadas se trata como una estructura corta. Estas conexiones deben diseñarse de tal manera que, debido al movimiento independiente de las partes individuales, no ocurran colisiones entre las partes separadas. La otra forma de resolver es agregar muros de corte, que reduzca la luz del diafragma el cual evitará la torsión, y darán más rigidez y resistencia lateral; también se recomienda utilizar los tipos de cimientos más rígidos, los efectos adversos pueden ser esencialmente amortiguados. (Dowrick, 1987)

Figura 20

Movimiento oscilatorio de edificios



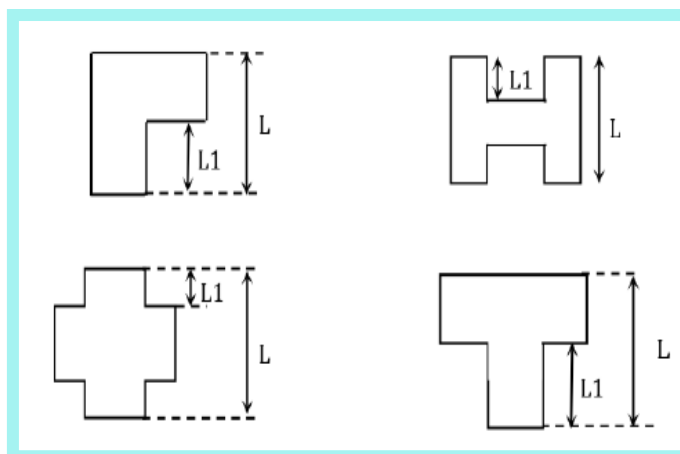
Nota. Arriba lo deseable de traslación pura, abajo no se prefieren de traslación diagonal y oscilación de torsión. Tomada de Murty, 2012

Es importante que los edificios oscilen principalmente a lo largo de sus lados, es deseable tener movimientos de traslación pura que tener los modos de traslación torsional o diagonal (ver Figura 20), estos modos surgen mayormente en estructuras irregulares o asimétricas.

La situación de las esquinas reentrantes, referidas en todos los códigos sísmicos, es una decisión importante en el diseño de la forma del edificio y tiene un efecto fundamental en el comportamiento sísmico de los edificios. Los edificios con formas complejas, particularmente con salientes o esquinas reentrantes y proyecciones o alas (ver Figura 21) a menudo han resultado severamente dañados por terremotos, por lo general estos edificios, además de tener modos de traslación (puros o diagonales) o de torsión presentan modos de oscilación especiales los cuales son: modo de apertura-cierre y el modo oscilatorio local de alta frecuencia único a lo que Murty (2012) llama el meneo de la cola de un perro en el que oscila una proyección delgada o larga y la parte restante del edificio casi permanece quieta, al igual que el cuerpo del perro permanece quieto cuando mueve la cola.

Figura 21

Plantas irregulares



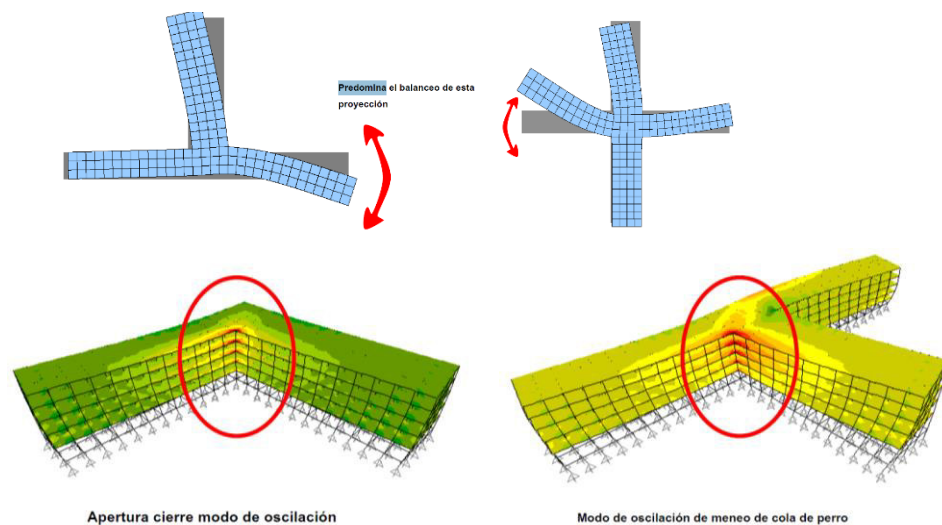
Nota. Si $L1 < 0.20 L$ entonces son consideradas como plantas regulares. Tomado de Blanco, 1994

Los modos de oscilación de apertura-cierre y meneo de cola de perro son predominantes en edificios con grandes brazos salientes; las proyecciones largas no son buenas así sean estas simétricas porque producirán en las esquinas interiores severas concentraciones de esfuerzos y torsión, estas deben ser breves, aunque todavía ofrecen concentración de esfuerzos en sus esquinas de reentrada, pero a menor escala. Algunos códigos consideran con salientes o entrantes del 20 % ó $L1 < 0.20 L$ como una planta regular, este aplica a las plantas en forma de “E, T, L, H, entre otras. (ver Figura 21)

Los efectos de estos modos especiales de oscilación inducen a una alta concentración local de esfuerzos en las esquinas reentrantes que pueden causar un daño estructural significativo. (ver Figura 22).

Figura 22

Modo de oscilación



Nota. Arriba modo de oscilación de meneo de cola de perro. Sólo una proyección oscila. Abajo concentración de esfuerzos en las esquinas entrantes. Tomado de Murty, 2012.

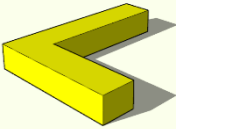
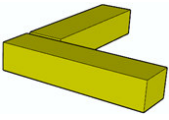
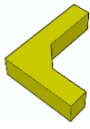

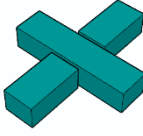
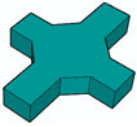
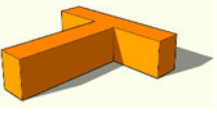
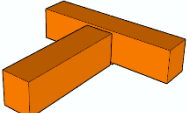
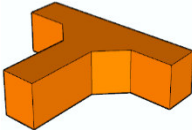
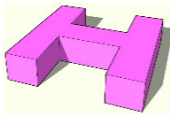
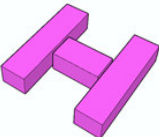
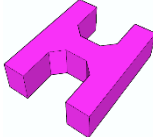
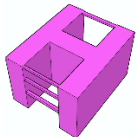
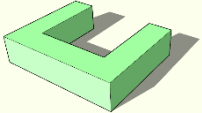
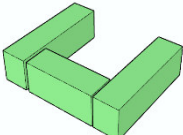
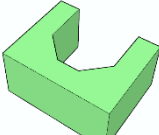
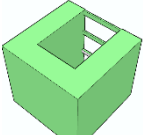
Los modos de traslación diagonal de las oscilaciones son predominantes en los edificios con formas de planta L y X. En los edificios con formas de planta L, X e Y, predominan los modos de oscilación torsional, que tienden a distorsionar la forma y son muy difíciles de

analizar y predecir, el centro de masa y el centro de rigidez de estas formas no coinciden geoméricamente para todas las posibles direcciones de un sismo.

Los problemas de esquinas entrantes se pueden resolver dividiendo la estructura en bloques simples y colocando entre ellos juntas de dilatación antisísmica, biselando o suavizando las esquinas entrantes en lugar de ángulos rectos, usando elementos estructurales verticales para proporcionar rigidez a la estructura en respuesta al comportamiento de torsión también se puede solucionar colocando elementos rigidizadores en las plantas en forma de “H” y “U” (ver Figura 23)

Figura 23

Posibles soluciones de estructuras irregulares con esquinas entrantes

Estructuras irregulares con esquinas entrantes	Posibles soluciones		
	Separar el edificio en bloques	Suavizar las esquinas entrantes	Colocar elementos rigidizadores
			
			
			
			
			

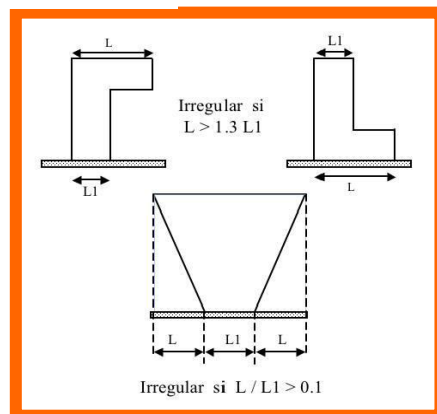
Fuente: Elaboración propia

Configuración vertical. Al igual que en planta se busca que el flujo de esfuerzos sea directo y no este concentrados en determinadas zonas puesto que las acumulaciones de esfuerzos son producidas por variaciones violentas de rigidez, resistencia y masa de un nivel a otro, también se demanda la reducción de las amplificaciones de vibración en la parte superior del edificio, control del volteo debido a la relación de esbeltez y disminución de escalonamientos por lo tanto, es importante que la configuración vertical sea sencilla, simétrica y regular.

Lo establecido por que la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, (2018) indica que la configuración es irregular si la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la dimensión en un piso adyacente (ver Figura 24). Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.

Figura 24

Irregulares verticales



Nota: Tomado de Blasco, 1994

Los problemas que más se presentan en elevación son:

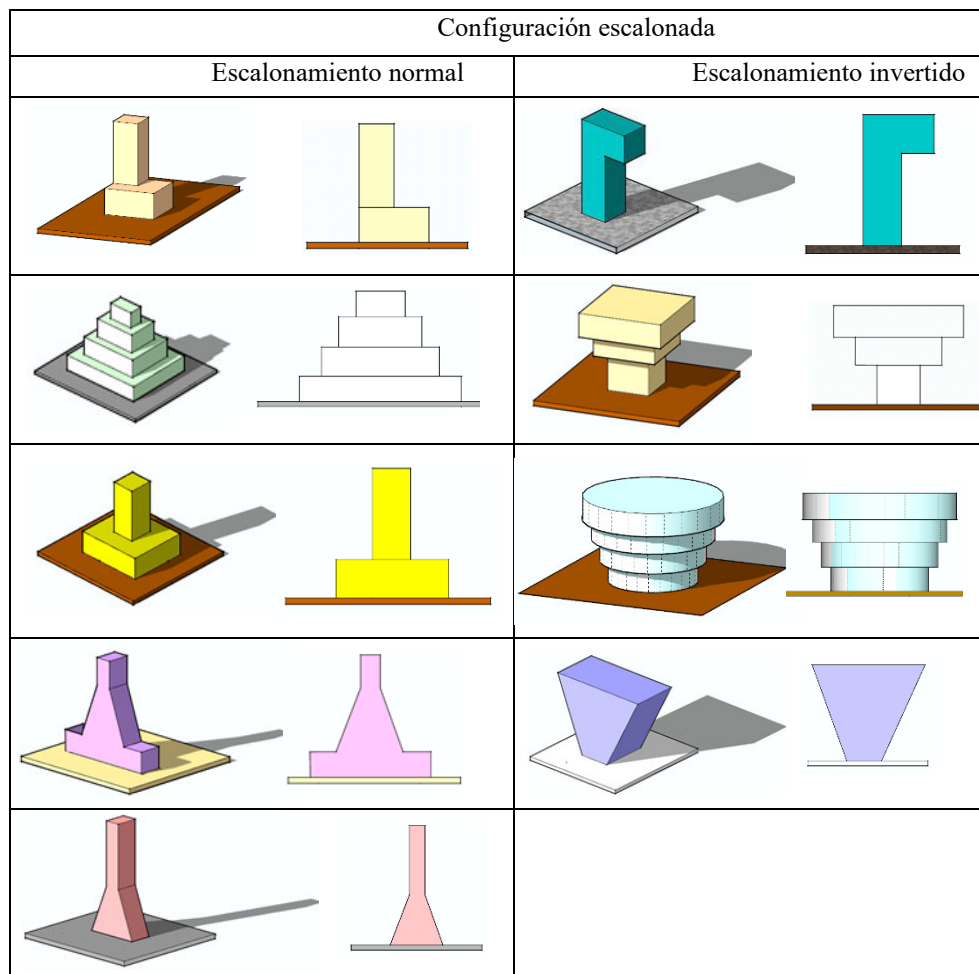
Esbeltez de un edificio: La proporción de un edificio puede ser más importante que su tamaño o altura, porque cuanto más esbelto y largo es el edificio, mayor será el efecto de vuelco. La contribución de los modos superiores es importante porque el desplazamiento en el

techo aumenta durante un sismo haciendo que el edificio se vuelva inestable. Estudiosos recomiendan que la relación de esbeltez (altura/anchura) debe limitarse de 3 o 4.

Configuraciones escalonadas: estas pueden ser de escalonamiento normal o invertida (ver Figura 25); consideradas como elevaciones irregulares, complejas y discontinuas.

Figura 25

Configuraciones escalonadas



Fuente: Elaboración propia

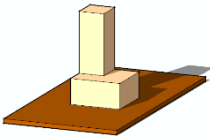
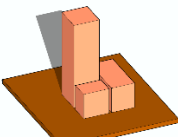
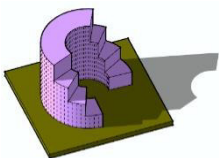
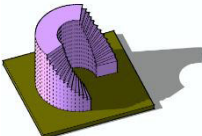
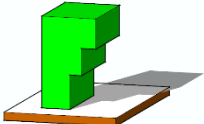
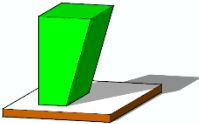
Los pisos superiores de un edificio se escalonan mayormente hacia atrás para poder aprovechar mejor la iluminación y ventilación natural o por razones de programación arquitectónica cuando se tenga que colocar espacios más pequeños en pisos superiores. Los edificios escalonados causan problemas cuando experimentan cambios bruscos de resistencia rigidez y tamaño de un nivel a otro, y es muy probable que ocurran en los puntos de

escalonamientos o sea en los cambios de sección ya que la ruta de esfuerzos es indirecta rodeando las esquinas de elevación. El problema se complica más cuando la planta del edificio escalonado es irregular o cuando el escalonamiento es invertido generándose grandes momentos de volcamiento puesto que el centro de gravedad o masa se ubica alejado del suelo, se sabe que las fuerzas a menores alturas implican menores brazos de palanca y por lo tanto menores momentos.

Las soluciones para la configuración escalonada es separar en bloques de tal modo que resistan en forma independiente, procurar que los escalones o cambios de sección sean pequeños, acartelar suavemente para evitar los cambios bruscos de sección y disminuir las concentraciones de esfuerzos, escalonar con pendiente continua para impedir los cambios abruptos de rigidez.(ver Figura 26)

Figura 26

Soluciones para configuraciones escalonadas

Escalonamientos	Posibles soluciones
	 <p data-bbox="963 1406 1169 1435">Separar en bloques</p>
	 <p data-bbox="948 1621 1182 1680">Escalonamientos mas pequeños</p>
	 <p data-bbox="1015 1832 1118 1861">Acartelar</p>

Fuente: Elaboración propia

Discontinuidad de diafragma. Durante el terremoto, la fuerza de inercia se moviliza en el edificio, generalmente en los niveles del piso donde la masa es grande. La fuerza de inercia luego se distribuye en forma proporcional a su rigidez hacia diferentes sistemas de resistencia de carga lateral (columnas y / o muros estructurales), y la losa de entrepiso conocida como **diafragma rígido** ayuda a distribuir dicha fuerza de inercia, y la idea es que la haga sin deformarse en su propio plano de lo contrario sobrecargaría a los elementos de menor capacidad causando daños considerables al edificio. Las losas de piso en edificios con una relación de aspecto en planta grande (> 4) pueden no proporcionar una acción de diafragma rígida sino flexible.

La deformación de la losa en su propio plano depende básicamente de la distribución en planta de la rigidez lateral de los elementos verticales del sistema de resistencia de carga lateral, y de la distribución en planta de la masa del edificio a ese nivel del piso.

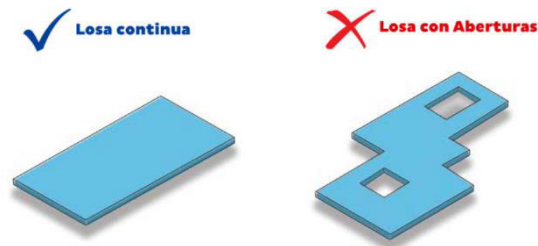
No es deseable tener un edificio con un tamaño de planta grande porque se requiere que los sistemas de resistencia a la carga lateral estén distribuidos a lo largo del plano del edificio para llevar la fuerza de inercia a través de trayectorias de carga directa sin desvíos. Con frecuencia los pisos y los techos son perforados por escaleras, ascensores, ductos, tragaluces y otros elementos arquitectónicos (ver Figura 27), agravando aún más la efectividad de las losas porque las aberturas empujan a los diafragmas de los entrepisos del edificio para que no se queden rígidos en sus propios planos, provocando que la fuerza de inercia movilizadora durante la sacudida sísmica se distribuya de forma desigual entre los elementos resistentes de carga lateral. Esto no es deseable para un buen comportamiento sísmico de edificios; esta irregularidad y/o discontinuidad debe evitarse o minimizarse en lo posible tener losas más continuas.

Algunos códigos de diseño prefieren restringir la apertura máxima al 50% del área del diafragma. Se espera que este limite la flexibilidad en el plano del diafragma y asegure el

desplazamiento lateral del diafragma en el plano en cualquier punto dentro de 1,5 veces los desplazamientos promedio de todo el diafragma

Figura 27

Losas continuas y discontinuas



Nota: Tomado de Construyendo, 2018

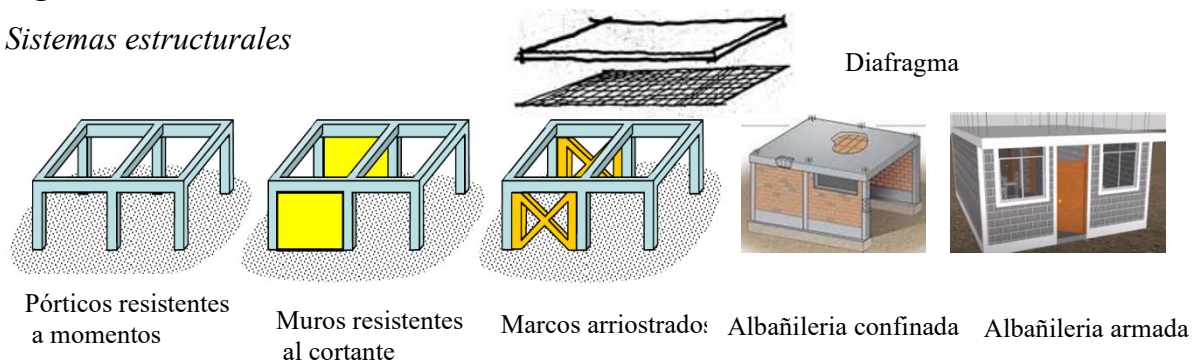
B. Los sistemas estructurales. El sistema estructural de un edificio está directamente relacionado con su configuración arquitectónica, ya que determina en gran medida el tamaño, la forma y la ubicación de los elementos estructurales como muros, columnas, vigas, entrepisos y la estructura del techo. Sin embargo, debido al análisis estructural del edificio estos elementos estructurales planteados en el diseño arquitectónico pueden sufrir modificaciones e incluso en otros casos se necesitará aumentar o disminuir dichos elementos.

Edificios con sistema de losa-columna se tornan un tanto flexible en la dirección lateral y como resultado, se deforma considerablemente incluso con movimientos menores. Además, tiene una resistencia lateral relativamente baja y, por lo tanto, la demanda de ductilidad durante un fuerte terremoto tiende a ser grande. Es recomendable no usar este sistema estructural a menos que se incorpore al edificio elementos rígidos y resistentes a la fuerza lateral como muros estructurales y arriostres. Para garantizar la resistencia de las fuerzas laterales de un edificio y consecuentemente un buen comportamiento estructural es indispensable considerar el uso de un buen sistema estructural, así se tiene en el plano horizontal diafragmas formados por entrepisos y techos del edificio y en el plano vertical: marcos o pórticos resistentes a momentos, muros resistentes al cortante y marcos arriostrados llamados también marcos

rígidos, estos son los más usados para mejorar el comportamiento de edificios frente a los terremotos (ver Figura 28).

Figura 28

Sistemas estructurales



Nota. Sistemas estructurales en el plano horizontal y vertical según Murty, 2012 y Christopher y Reitherman, 1987

Los sistemas de pórticos resistentes a momentos consisten en columnas y vigas sin arriostramiento diagonal, estos sistemas resisten cargas laterales a través de fuerzas axiales, momento flector y fuerza cortante generados tanto en vigas como en columnas. La falla por cizallamiento frágil debe evitarse mediante procedimientos de diseño de capacidad. Las vigas y columnas deben diseñarse para que estas experimenten un comportamiento dúctil y de flexión, este último se puede lograr utilizando miembros estructurales relativamente largos; las vigas y columnas cortas atraen grandes fuerzas y son susceptibles de fallar de manera frágil. Sin embargo, es mejor tener luces y cargas casi uniformes en cada dirección de los edificios para asegurar una distribución uniforme tanto del momento de flexión como de la fuerza cortante en todos los miembros del marco. Las cargas de gravedad y las cargas laterales causan diferentes acciones de momento en pórticos resistentes a momentos. Las cargas de gravedad causan momentos similares en las columnas, pero las cargas laterales inducidas por terremotos causan momentos diferentes. En el último caso, la transferencia de carga en una construcción de marco de momento depende críticamente de la relación relativa de momentos de inercia de vigas y columnas contiguas. Si los momentos de inercia son pequeñas en vigas que

interconectan las columnas, entonces las columnas no se restringen rotacionalmente en los niveles de las vigas; las columnas se doblan casi como voladizos desde sus bases Y, si los momentos de inercia son grandes, entonces las columnas se restringen de manera rotatoria significativamente en los niveles de las vigas; las columnas se doblan doble curvatura entre los niveles de las vigas diseñados para resistir cargas laterales. (Murty, 2012)

Los muros de corte están diseñados para recibir fuerzas laterales de los diafragmas y transmitirlos al suelo. Las fuerzas en estas paredes son predominantemente fuerzas de corte en las que las fibras de material dentro de la pared intentan deslizarse unas sobre otras. Para ser efectivos, los muros de corte deben correr desde la parte superior del edificio hasta los cimientos sin compensaciones y con un mínimo de aberturas. Finalmente, los marcos arriostrados actúan de la misma manera que los muros cortantes; sin embargo, generalmente ofrecen menos resistencia, pero mejor ductilidad dependiendo de su diseño detallado y proporcionan más libertad de diseño arquitectónico que los muros de corte (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos [FEMA 454], 2006)

C. Rutas de carga. Las fuerzas inerciales movilizadas en los edificios durante el terremoto se trasladan a los cimientos. Estas fuerzas viajan a través de los miembros estructurales y, por lo tanto, la elección y ubicación de los componentes estructurales afectan en gran medida el comportamiento sísmico de los edificios. Debe proporcionarse un camino suave, sin obstáculos, lo más directo posible y con la menor resistencia para una transferencia eficiente de fuerzas a la base.

Una discontinuidad en la trayectoria de carga en la dirección vertical se presenta cuando una columna que viene de la parte superior del edificio se interrumpe en un nivel inferior, generalmente en el piso del suelo en este caso las porciones colgantes toman un desvío y viajan a la columna más cercana que es continua hasta la base. Esto conduce a un aumento de la

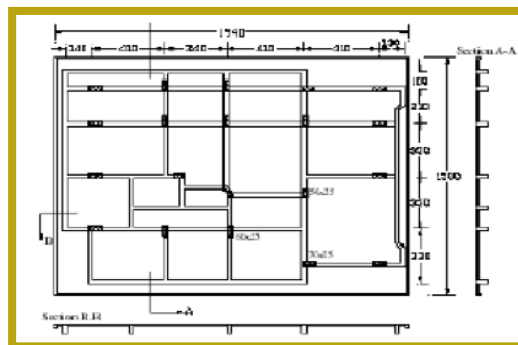
demanda de las columnas en la planta baja y puede provocar la falla de los elementos estructurales verticales.

Se sabe que los muros estructurales soportan cargas laterales y ayudan a reducir las demandas de las columnas y vigas. Sin embargo, las aberturas de vanos en el muro, particularmente de gran tamaño, afectan la trayectoria o camino de carga y modifican el comportamiento estructural de los edificios. Es recomendable proporcionar paredes a lo largo de toda la altura de los edificios, de lo contrario causarán una interrupción grave de la ruta de carga, transfiriéndose a la base como fuerza axial, fuerza cortante y momento de flexión a través de las vigas y columnas, provocando grandes demandas en estos elementos estructurales los cuales pueden fallar. Es más fácil transferir fuerza mediante la acción axial que mediante acciones de flexión o cizallamiento. Por lo tanto, la mayoría de las cargas viajan a través de los arriostres en lugar de vigas y columnas.

Otra discontinuidad común de la trayectoria de carga en la dirección horizontal (en planta) ocurre cuando las columnas resistentes a la carga lateral no están alineadas a lo largo de una línea recta en planta es decir no hay claridad estructural, (ver Figura 29) sino que están interconectadas por vigas que forman ángulos rectos entre sí. Los efectos según Murty (2012) son la torsión del edificio y el aumento en el cortante en vigas de luz corta y consecuentemente aumenta en carga axial en columnas.

Figura 29

Discontinuidad de trayectoria de carga



Nota. Discontinuidad de trayectoria de carga en la dirección horizontal. Columnas no alineadas. EERI, 1999

2.1.2.4. Concentración de masa. Las fuerzas de inercia se generan en los edificios durante el terremoto en lugares donde hay masas presentes. Para una distribución uniforme de las fuerzas en los miembros estructurales, es importante que la fuerza de inercia se movilizce uniformemente en el edificio. Para ello, debe existir una distribución uniforme de la masa y estas no deben concentrarse, tanto en planta como a lo largo de la altura del edificio. Es una práctica común colocar en la azotea o en pisos elevados elementos de gran peso como equipos, piscinas, archivos, depósitos, tanques de agua entre otros. Al tener concentraciones de masa en pisos superiores se produce el efecto del péndulo invertido siendo este perjudicial puesto que aumenta la aceleración sísmica cuando las concentraciones de masas se encuentran a mayor altura, es por ello que se recomienda colocarlos en pisos inferiores o sótanos. Si las concentraciones de masa se colocan en una esquina provoca torsión del edificio durante el terremoto debido al desajuste del centro de masa y el centro de rigidez. (ver Figura 30)

Figura 30:

Tanque de agua en el techo de un hospital



Nota: Tomado de Cardona, 2004

2.1.2.5. Discontinuidades o irregularidades de resistencia y rigidez

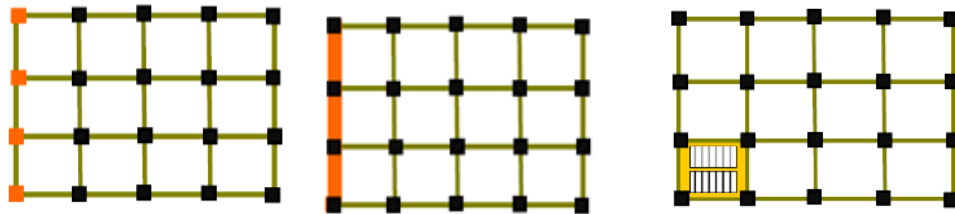
A. En planta. Es importante que el edificio, durante un terremoto, tenga rigidez adecuada para controlar los desplazamientos laterales de la misma, por lo tanto, se requiere que se le dote de una distribución uniforme de la deformación lateral y las fuerzas laterales sobre el plano y la elevación de un edificio. La cantidad de carga lateral resistida por los miembros

individuales en los edificios está controlada por su rigidez lateral, Cabe mencionar que los elementos más rígidos atraen más fuerza que los flexibles.

Según Murty (2012) la irregularidad de rigidez en el plano provoca la torsión de los edificios y esta ocurre debido al uso de columnas de diferentes tamaños, la presencia de un muro estructural en un lado de los edificios, la presencia de una escalera o un núcleo de ascensor en una esquina de los edificios (ver Figura 31).

Figura 31

Irregularidades de rigidez en planta



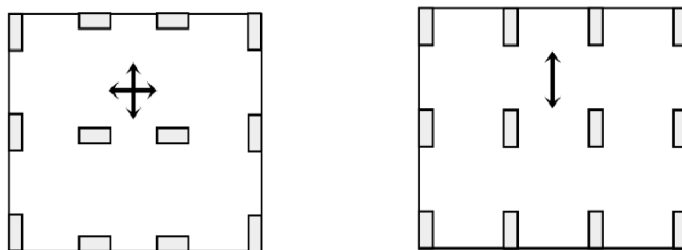
Nota. Rigidez desigual de elementos y su distribución en planta causar una irregularidad general de la rigidez

Para que un edificio sea resistente a las fuerzas laterales debido a sismo es importante que las rigideces laterales sean similares en todas las direcciones, para ello debe existir una orientación equilibrada de los elementos estructurales verticales.

Si el lado corto de los muros de corte y/o las columnas rectangulares son orientados en la misma dirección, la otra queda desprovisto de resistencia horizontal (ver Figura 32).

Figura 32

Rigideces laterales similares y distintas



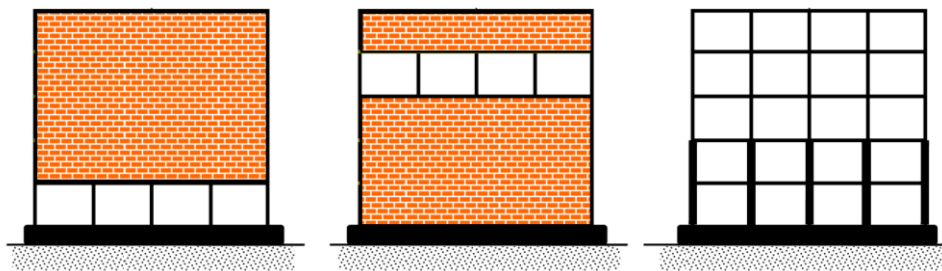
Nota: Tomado de Grases et al. , 1987

B. En elevación

Piso blando. La irregularidad de la rigidez lateral ocurre cuando los tamaños de los elementos resistentes a la carga lateral varían a lo largo de la altura de los edificios, o cuando se agregan o eliminan los elementos existentes (ver Figura 33).

Figura 33

Ausencia de elementos en elevación

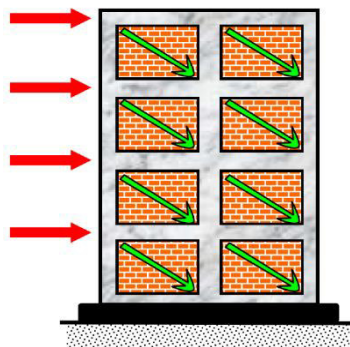


Nota. La presencia de adicionales o la ausencia de elementos en elevación y la variación del tamaño de elementos causas irregularidades de rigidez general.

El relleno del marco con mampostería de ladrillo tiene buena resistencia a la compresión y ayuda a transferir cargas laterales a través de la acción del puntal diagonal algo similar a la que se observa cuando hay tirantes diagonales de compresión en los marcos (ver Figura 34) de este modo se reduce la demanda de las columnas, también es importante señalar que la reducción de la rigidez lateral provoca un aumento en la demanda de desplazamiento en pisos con menor rigidez, llamado piso blando.

Figura 34

Marco relleno de mampostería de ladrillo



Nota: Tomado de [Ahttp://dastnameh.mech.sharif.ir/Tabeshpour/Downloads/Tabeshpour_Shiraz.pdf](http://dastnameh.mech.sharif.ir/Tabeshpour/Downloads/Tabeshpour_Shiraz.pdf)

La Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) menciona sobre la irregularidad de la rigidez si, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión del entrepiso (deriva) es superior a 1,4 veces el valor del entrepiso inmediato superior, o superior a 1,25 veces la media de las distorsiones de los entrepisos de los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión del entrepiso se calcula como la media de las distorsiones en los extremos del entrepiso.

Pisos débiles en un edificio. Los edificios de estructura de concreto armado de pisos abiertos son comunes en el Perú; son el conjunto dominante de edificios urbanos en la actualidad. Pero, desde hace casi un siglo, se conocían los malos resultados de dichos edificios en todo el mundo, pero debe haber razones de peso, por ejemplo, estética y funcionalidad. El piso del edificio se debilita cuando se usa vidrio por motivos de estética como material de relleno, el edificio se debilita en ese piso. Este es habitual en edificios que albergan estacionamientos, áreas comerciales, restaurantes y/o recepción en su planta baja. Además, cuando se eliminan todos los rellenos de mampostería no reforzada en la planta baja, el edificio se debilita significativamente en esta planta, pero es fuerte en los pisos superiores debido a la gran contribución a la rigidez lateral de los rellenos. Las demandas de resistencia de las columnas en el primer piso también son grandes, ya que el cortante en el primer piso es máximo, para los pisos superiores, sin embargo, las fuerzas en las columnas se reducen, así que se tiene una distribución de fuerza lateral desigual a lo largo de la altura del edificio, lo que se induce localmente a la concentración de esfuerzos. Esto tiene un efecto adverso en el comportamiento de los edificios durante el movimiento sísmico.

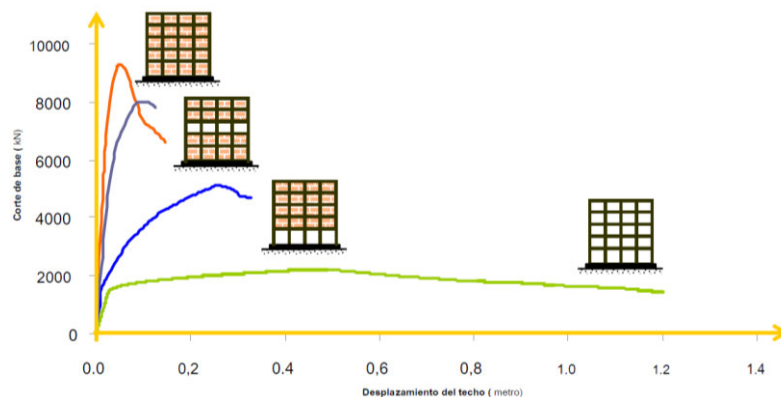
En otras ocasiones la reducción del tamaño de las columnas en un piso intermedio da como resultado un cambio repentino tanto en la rigidez como en la resistencia del edificio.

Murty (2012) realizó un análisis de desplazamiento de cuatro edificios de cinco pisos, el primero con relleno de mampostería de ladrillo en todas las plantas, el segundo sin rellenos

en ningún piso, el tercero con rellenos solo en los cuatro pisos superiores y el cuarto edificio con rellenos ausentes en el tercer piso. Llegando a la conclusión que las resistencias laterales de los edificios son diferentes; la resistencia lateral general del edificio con planta de piso abierto es menor que la del edificio con rellenos de mampostería de ladrillos en todos sus pisos, la deformación es uniforme cuando el edificio no tiene discontinuidad, pero toda la deformación lateral en el edificio se concentra en pisos abiertos sin rellenos (flexibles y débiles). Los edificios con pisos abiertos tienen mayor ductilidad que los cerrados, pero presentan menos fuerza cortante (ver Figura 35)

Figura 35

Piso abierto en un edificio



Nota: Tomado de Murty, 2012

La Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) sobre el piso débil nos dice que hay una irregularidad de resistencia cuando, en uno de los sentidos de análisis, la resistencia de un entrepiso contra fuerzas cortantes es menos del 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.

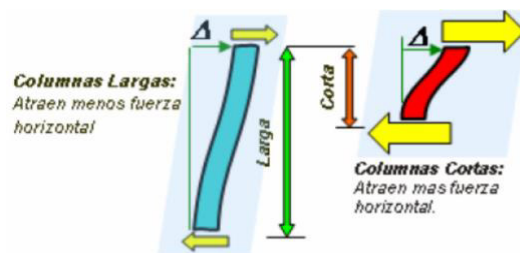
Efecto de columna corta. Frente a un evento sísmico, las columnas cortas de edificios aporricados provistos de columnas con alturas diferentes dentro de un mismo piso, son las que sufren más daño comparadas con las columnas largas de concreto armado.

Los sismos entregan energía a los edificios, los cuales deben ser capaces de liberar esta energía entrante a través de sus elementos estructurales para que no colapse durante un movimiento sísmico. Al desplazarse la columna libera energía, estos desplazamientos son proporcionales a sus longitudes. La capacidad de consumo de energía de las columnas cortas es muy bajas debido a su desplazamiento que experimenta.

Las columnas de diferentes alturas libres tienen la misma demanda de desplazamiento lateral, no obstante, las columnas cortas atraen mayor fuerza horizontal debido a su rigidez (ver Figura 36). A mayor rigidez, se necesitará mayor fuerza para deformarla y a este comportamiento se le llama efecto de la columna corta. Si una columna corta está diseñada para resistir esta fuerza, es poco probable que sufra daño durante un terremoto.

Figura 36

Comportamiento de las columnas



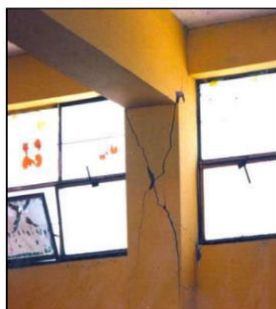
Nota: Tomado de Murty, 2012

La fuerza cortante que experimenta la columna durante un sismo tiene que ver con su longitud, dado que la rigidez lateral de una columna es inversamente proporcional al cubo de su altura, este efecto de columna corta es más severo cuando las alturas sobre las que se impide el movimiento de las columnas son grandes (o la altura no restringida de las columnas es pequeña). La altura efectiva en la que la columna corta pueda desplazarse o flexionarse es pequeña mientras que las columnas regulares se desplazan a lo largo de toda su altura. esta es la razón por la que las columnas cortas atraen fuerzas sísmicas mayores comparadas a las columnas largas o esbeltas. Como consecuencia de esto, las columnas cortas sufren mayores

daños. El daño en estas columnas cortas suele ser grietas en forma de X, característico de la falla por cortante. (ver Figura 37)

Figura 37

Falla por cortante



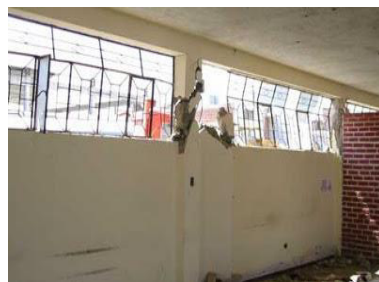
Nota: Tomado de Muñoz, 2020

Varias son las razones por las cuales la columna de un edificio de estructura de concreto armado no pueda moverse debido a algún obstáculo o por las cuales el valor de la longitud libre de columnas se reduce considerablemente, entre estas razones tenemos:

- a) Presencia de rellenos de mampostería no reforzada de altura parcial de la columna de concreto armado contigua. Al no ser separado la columna de los muros de albañilería se producen grandes concentraciones de esfuerzos en los extremos (ver Figura 38). La falla se debe al hecho de que las columnas de un mismo nivel presentan similar desplazamiento lateral durante un sismo, sin embargo, al ser las columnas cortas más rígidas absorben mucha más fuerza lateral

Figura 38

Ausencia de juntas de dilatación

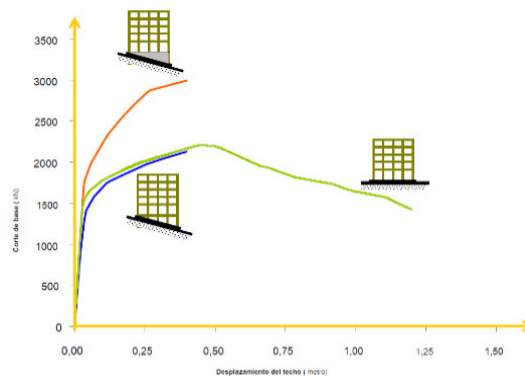


Nota. Los muros no están separados de la columna mediante juntas. Tomado de Guevara y García, 2013

- b) Condiciones que surgen de un terreno inclinado, cuando algunas columnas del sótano son más cortas que otra. Murty (2012) puso a prueba el efecto de columnas cortas en tres edificios: de 5 plantas, uno de ellos sin columnas cortas, el otro algo similar al primero, pero en un terreno inclinado; y el tercero similar al segundo, pero en la parte inclinada con muro de concreto armado. Los resultados fueron que las columnas de menor altura atraen más cizallamiento lateral temprano en la demanda de desplazamiento y reducir la capacidad de deformación del edificio (ver Figura 39).

Figura 39

Efecto de columnas cortas



Nota: Tomado de Murty, 2012

- c) El efecto de las columnas cortas también puede presentarse en las edificaciones con semisótanos en la que los muros de contención son interrumpidos para la ubicación de vanos que permiten la iluminación y la ventilación natural (ver Figura 40)

Figura 40

Falla de columna corta generada por semisótano

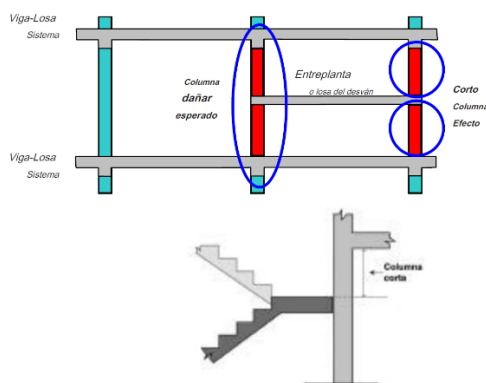


Nota: Tomado de https://civil808.com/sites/default/files/publication/node_17971-wallsinetabs.pdf

- d) Presencia de vigas o losas de los descansos de escaleras y rampas, tirantes en K en niveles intermedios de las columnas y presencia de una losa de entrepiso que se encuentra a una altura intermedia de las columnas entre el sistema habitual viga-losa en edificios concreto armado (ver Figura 41).

Figura 41

Efecto de columna corta debido a losa y escalera



Nota. Efecto de columna corta debida losa de entrepiso y losa del descanso de una escalera. Murty, 2012

Muchas investigaciones hechas sobre columnas cortas y evidencias observadas durante los terremotos ocurridos han demostrado que la aplicación de este elemento produce falla por corte, frente a este problema se espera que en la norma peruana de diseño sismorresistente se tome en cuenta la formación del efecto de columna corta estableciendo requisitos mínimos que deben cumplirse en caso de que se tenga un elemento de este tipo. Los valores de desplazamiento, momento y fuerza cortante de las columnas bajo cargas verticales están relacionados con la altura de la columna.

Una forma de mitigar este efecto es mediante el incremento del refuerzo transversal en toda la longitud de la columna, es decir acortando la distancia entre los estribos, la otra forma de prevenir este efecto es aislar la columna de los muros dejando espacio para rellenar con algún material plástico o elastomérico, generalmente en estas juntas de dilatación se

acostumbran a colocar tecnopor. En edificios nuevos, el efecto de columna cortas se debe evitar durante la etapa de diseño arquitectónico.

Columna débil, viga fuerte. Las columnas transfieren las cargas a la cimentación y mantienen al edificio en posición vertical de allí que juega un papel importante dentro del sistema estructural. Las columnas que están sometidas a carga axial generalmente fallan en compresión, por aplastamiento del concreto bajo la acción combinada de fuerza axial y momento flector. Por lo tanto, sufren una falla frágil. Es recomendable que la columna sea dúctil.

Si bien se tolera un cierto nivel de daño en la estructura antisísmica, se debe anticipar que, si ocurren, es mejor que sea en las vigas y no en las columnas. Se genera una falla "local" en la viga, que altera principalmente al piso afectado. De producirse la falla en la columna, estaría comprometiendo a toda la estructura y se daría el colapso total apitonándose los pisos por escombros.

El diseño ideal es columna fuerte - viga débil, se espera que las vigas se comporten plásticamente antes que las columnas es decir que cuando la viga empieza a fallar lo hará de un comportamiento elástico a uno inelástico y empezará a deformarse permanentemente. Esta acción disipará o absorberá una parte de las fuerzas sísmicas y se distribuirá el daño entre las vigas y así se logrará un mecanismo de colapso ideal y no una falla frágil por cortante. El cálculo se debe verificar que el momento total de resistencia en la columna dividido por el de las vigas sea mayor o igual a 1.20. Una buena disipación de energía en el edificio se realiza a través de cada una de las rótulas plásticas ubicadas en los extremos de las vigas mas no en las columnas (ver figura 42), este asegura que las vigas cedan antes que las columnas y que se produzcan daños dúctiles por flexión en los extremos de las vigas; esto sucede cuando el edificio tiene columna fuerte - viga débil.

Figura 42*Rótulas plásticas en columnas*

Nota. Rótulas plásticas en las columnas, “columna débil, viga fuerte”. Tomado de <https://pin.it/2lhJLsHRj>

2.1.2.6. Impacto entre edificios colindantes. El movimiento de un sismo hace que dos edificios cercanos se golpeen mutuamente produciendo fuerzas cortantes en las columnas golpeadas, Si estos edificios son de diferentes alturas y sus plantas no coinciden, las losas y el techo del edificio más bajo pueden pegar a media altura de las columnas del edificio más alto, a este efecto se le conoce como el martilleo el cual puede causar importantes daños.

Es conveniente controlar las derivas utilizando juntas de separación entre edificios de diferentes alturas, para que puedan oscilar de forma distinta durante un movimiento sísmico y evitar así el choque violento entre ellos. (ver Figura 43)

Figura 43*Choque entre edificios*

Nota. Choque entre edificios, ciudad de México. Tomado de Blanco, 2012

También es importante saber que la norma peruana de diseño sismorresistente no refleja la necesidad de tener en cuenta este efecto de golpeteo o martilleo, ya que solo considera la

separación mínima de las estructuras para evitar el contacto durante un movimiento sísmico. Una forma de demostrar este efecto para evitar fallas inesperadas es graficando los desplazamientos en función del tiempo obtenidos en el análisis dinámico no lineal, en la que se verifica si el desplazamiento de las curvas es igual a la distancia de separación entre los edificios previstos en el diseño original o si existe una interceptación entre las dos curvas.

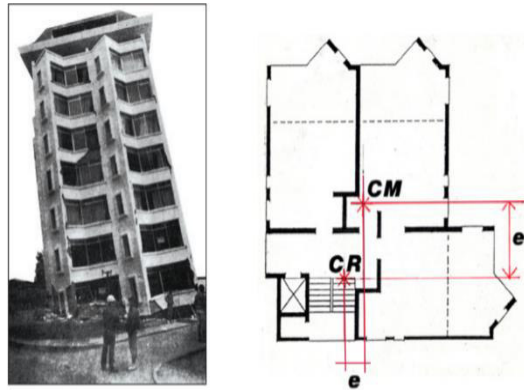
2.1.2.7. Torsión. Estudiar el comportamiento torsional es complejo debido al gran número de parámetros que lo gobiernan. Cuando la distribución de masa no es uniforme, entonces el centro de la misma no coincide con el centro geométrico de planta por lo tanto no existe equilibrio y provoca rotación es decir si la masa estuviera situada excéntricamente, entonces la carga sísmica también lo estará, puesto que el sismo sólo genera cargas por la presencia de masas. Por eso si la carga es excéntrica entonces se espera que la resistencia también lo sea. Es preferible que la localización del centro de masa y el centro de resistencia horizontal estén en el mismo punto y de ese modo se evite la torsión. Si los elementos de resistencia lateral no están distribuidos en forma uniforme habrá torsión a pesar de que las fuerzas laterales estén uniformemente distribuidas.

Las excentricidades entre el centro de masa y el centro de resistencia sumada las fuerzas sísmicas producen movimiento torsional en una estructura. En estructuras asimétricas los centros de masa y resistencia no coinciden (ver Figura 44) y el movimiento de torsión de estas estructuras durante un terremoto se define como torsión natural o torsión estructural. (Gómez y Maldonado, 2005)

A medida que el edificio se vuelve más simétrico, su tendencia a experimentar concentraciones de tensión y torsión se reducirá, y su comportamiento bajo cargas sísmicas será menos difícil de analizar y más predecible.

Figura 44

Los efectos de torsión

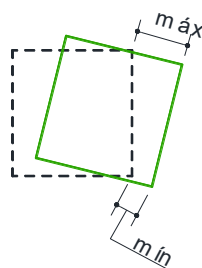


Nota. Los efectos de torsión, durante el terremoto de Chile 1985. Excentricidad entre los centros de masa y de rigidez. FEMA 454, 2006

La Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) indica que existe irregularidad torsional cuando, en una de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{\max}) en esta dirección, calculado incluyendo la excentricidad accidental, es mayor que 1,3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{promedio}). Este criterio solo se aplica en edificaciones con diafragmas rígidos y solo si el desplazamiento relativo máximo del piso es mayor al 50% del desplazamiento admisible. (ver Figura 45).

Figura 45

Desplazamiento máximo y mínimo



Fuente. Elaboración propia

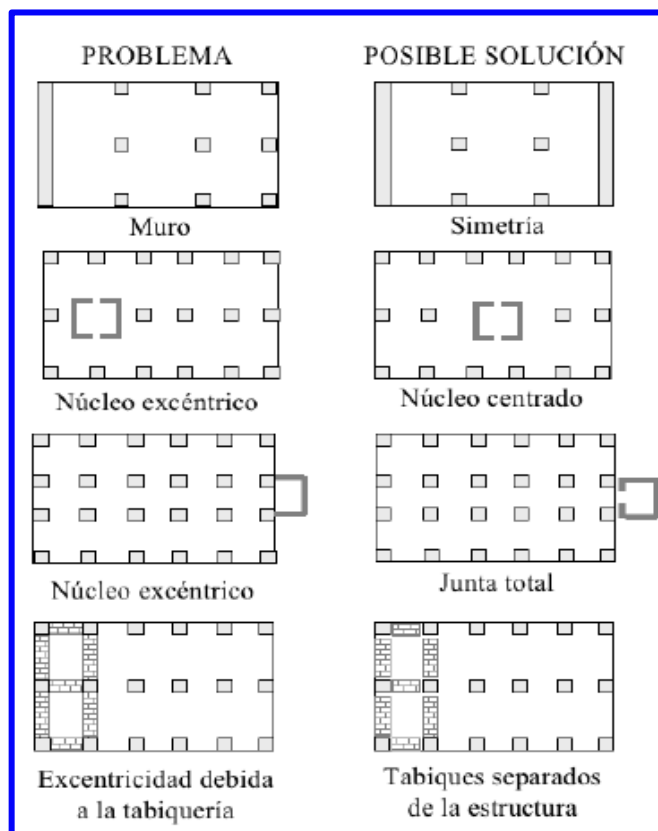
$$\Delta_{Prom.} = \frac{\Delta_{m\acute{a}x} + \Delta_{m\acute{i}n}}{2} \quad (1)$$

Irregularidad Torsional, $I_p = 0.75$	
$\frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{h_i} > 1.3 \frac{\Delta_{PROM}}{h_i}$	y $\frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{h_i} > 0.5 \left(\frac{\Delta}{h}\right)$ permisible

A continuación, se muestran algunos ejemplos de estructuración con problemas de torsión y su posible solución (ver Figura 46)

Figura 46

Torsión y posibles soluciones



Nota: Tomado de Grases et al. (1987)

2.1.2.8. Flexibilidad del suelo. Los comportamientos sísmicos de los edificios son afectados en gran medida por la flexibilidad del suelo sobre el cual se apoyan los edificios, y por la elección del sistema de cimentación. El suelo se comporta elásticamente y para comprenderlo se divide en tres tipos: flexible, medio y rígido.

En toda obra de ingeniería, para una adecuada elección del tipo de cimentación a usarse en una edificación es imprescindible conocer la actividad sísmica de la zona, las características de la estructura del suelo las cuales se obtienen del estudio de mecánica de suelo que toma en cuenta la altura, peso y uso de la edificación.

El sistema de cimentación deberá ser capaz de transferir al suelo las fuerzas sísmicas y gravitatorias, sin que éste supere la capacidad portante del suelo, y/o produzca movimientos entre los elementos de fundación que puedan originar deformaciones inaceptables en la estructura.

El suelo se comporta como un conjunto de resortes elásticos los cuales se presentan debajo de las zapatas aisladas, conectadas y combinadas de las cimentaciones o a lo largo de los pilotes y de las plateas de cimentación Norma E.050 (2006).

Los edificios ubicados en zonas de alta sismicidad, con zapatas aisladas y apoyadas en suelos flexibles presentan un mal comportamiento sísmico, por lo tanto, debe evitarse preferiblemente, dichos edificios deberían estar completamente apoyadas o en su defecto en bases de mayor superficie.

Los efectos locales indirectos como licuefacción, asentamientos, deslizamientos y avalanchas pueden ser causa de importantes daños en estructuras, ocasionando en muchos casos pérdidas humanas. La licuefacción es un fenómeno que se produce en terrenos arenosos, y blandos saturados de agua, también es importante señalar que, debido a vibraciones sísmicas, el suelo se comporta como un fluido. En el caso de edificaciones, los cimientos apoyados directamente sobre la arena que licúa generan en el apoyo una pérdida prácticamente total de la capacidad de soporte. Por ende, aparecen asentamientos totales o diferenciales, causantes de daños en tuberías de distribución de agua, gas y otras obras, consecuentemente las edificaciones se hundien y/o vuelcan (Nallely, 2015) (ver Figura 47)

Figura 47

Colapso de edificaciones por licuefacción de suelo



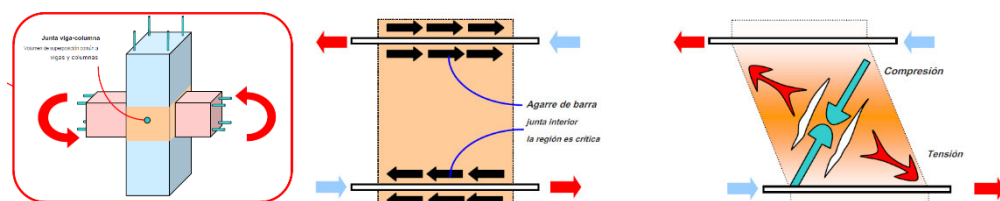
Nota. Colapso de edificaciones por licuefacción de suelo a causa del terremoto ocurrido en Niigata en 1964. Tomado de Kramer y Stewart, 2004

2.1.2.9. Unión viga-columna. Las columnas de secciones transversales pequeñas sometidas a una gran tensión axial tienden a agrietarse, lo que a su vez da como resultado una entrada más rápida de humedad. Por lo tanto, las barras de acero sufren corrosión a un ritmo más rápido.

Las uniones viga-columna de los edificios de concreto armado, tienen una capacidad de carga de fuerza limitada, ya que cuando se aplican fuerzas mayores como las de un sismo, las juntas se dañan gravemente y su reparación es difícil, por lo que deben evitarse haciendo diseños detallados (ver Figura 48)

Figura 48

Juntas de viga-columna en edificios



Nota: A la izquierda momentos de vigas contiguas. Al centro pérdida de agarre en las barras de la viga en la región de la articulación. A la derecha distorsión de la junta: provoca agrietamiento diagonal y aplastamiento del concreto. Tomado de Murty, 2012

Las vigas contiguas a una junta están sujetas a momentos en la misma dirección bajo sacudidas sísmicas cíclicas. En estos momentos, las barras superiores en la unión viga-columna se tiran y se empujan en la misma dirección y las inferiores hacen lo mismo, pero en sentido opuesto. Estas fuerzas se equilibran con la tensión de unión desarrollada entre el concreto y el acero en la región de la junta. Si la columna no es lo suficientemente ancha o si la resistencia del concreto en la junta **viga-columna** es baja, el agarre del hormigón en las barras de acero es insuficiente. En tales circunstancias, las barras de las vigas se deslizan dentro de la región de la junta y las vigas pierden su capacidad para soportar cargas. Además, bajo la acción de las fuerzas de empuje y tracción anteriores en los extremos superior e inferior, tipo cizalla; una diagonal de la articulación se alarga y la otra se comprime (ver Figura 48). Si el tamaño de la sección transversal de la columna es insuficiente, el concreto de la junta desarrolla fisuras diagonales.

Se debe evitar el agrietamiento diagonal y el aplastamiento del concreto en la región de la junta, para ello es necesario que las secciones de las columnas sean de gran tamaño, los amarres de acero de bucle sean cerrados con ganchos de 135° alrededor de las barras de la columna y para mantener unido el concreto en la región de la junta y resistir las fuerzas cortantes horizontales se debe usar en las columnas las barras intermedias. En la práctica, esto se puede lograr preparando entramado de refuerzos longitudinales y transversales.

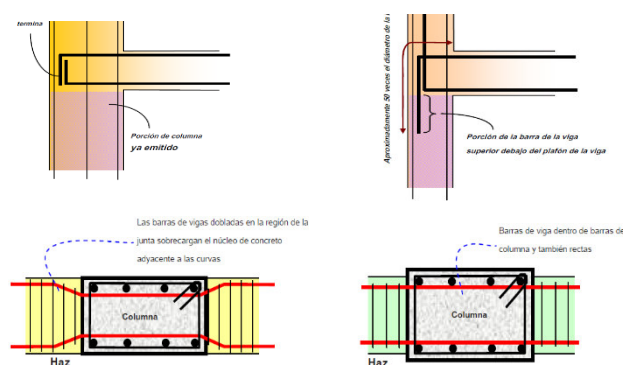
El agarre de las barras de vigas por el concreto en la región de la junta se mejora mediante el uso de columnas de sección transversal de tamaño razonablemente grande no menos de 0.25 m según la norma peruana o no menos de 20 veces el diámetro de la barra longitudinal según las recomendaciones de la ACI.

En juntas exteriores, donde las vigas terminan en columnas, las barras de vigas longitudinales deben anclarse en la columna aproximadamente 50 veces su diámetro para asegurar un agarre adecuado de la barra en la junta. Esta longitud se mide desde el frente de la

columna hasta el final de la barra anclada en la columna. En juntas interiores, las barras de la viga superior e inferior deben atravesar la intersección sin ningún corte en esta región. Además, estas barras deben colocarse dentro de las barras de la columna y sin dobleces (ver Figura 49)

Figura 49

Anclajes de barras de vigas



Nota. A la izquierda la mala práctica y a la derecha la buena práctica de anclajes de barras de vigas de juntas interiores y exteriores. Tomado de Murty, 2012

2.1.2.10. Otras consideraciones. Los sistemas estructurales formados por losas y columnas (sin vigas), carece de un buen comportamiento sísmico, puesto que la columna actúa como un punzón ocasionando daños severos en la losa. Para mitigar las fuerzas cortantes y garantizar un adecuado confinamiento del concreto e impedir el pandeo de los elementos longitudinales es necesario que los diámetros de los refuerzos transversales (estribos) sean la separación entre estas ligaduras no estén muy separadas. La calidad de los materiales y los procesos constructivos juegan un papel importante en el comportamiento sísmico de las edificaciones.

2.1.3. Comportamiento de elementos estructurales

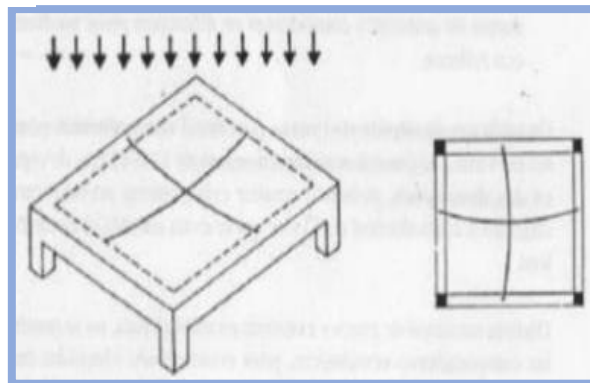
Los elementos estructurales principales en una edificación son las losas, vigas, columnas, placas, escaleras y la cimentación.

2.1.3.1. Losas. Las losas tienen dos funciones principales desde el punto de vista estructural, la primera relacionada con las cargas por gravedad que es la transmisión de cargas

hacia las vigas, de las propias losas, del piso terminado, la sobrecarga y eventualmente tabiques u otros elementos apoyados en ellos y la segunda ligada a las cargas de sismo, que es la obtención de la unidad de la estructura de manera que esta tenga un comportamiento uniforme en cada piso, provocando que las columnas se deformen una misma cantidad de cada nivel. Dada las dimensiones de las losas de una edificación se puede considerar prácticamente indeformable en su plano por lo que en los análisis se habla de que la losa es un diafragma rígido. Las losas frente a cargas de gravedad y teniendo 4 apoyos en sus bordes, formado por vigas peraltadas o muros de corte se podrá indicar que ella tendrá tracciones en la zona central en las dos direcciones (ver Figura 50) ya que la deformada de la losa será en sus dos direcciones y como el acero de refuerzo se usa principalmente para absorber esfuerzos de tracción que el concreto no puede resistir, deberá colocarse en las dos direcciones teniendo así la denominada losa armada en dos direcciones. (Blasco, 1994)

Figura 50

Losa en dos direcciones



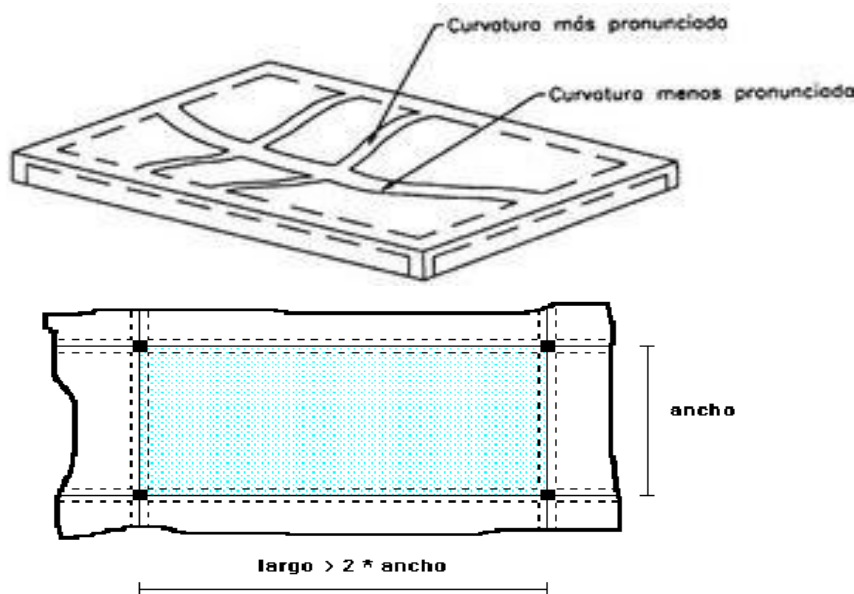
Nota: Tomado de Blasco, 1994

A medida que vayamos variando una de las longitudes se puede apreciar que el lado de longitud corta se hace más importante que la otra puesto que existirá una zona hacia el centro de la dirección larga, donde no habrá curvatura que origine esfuerzos por lo tanto se armará en una dirección, debiendo colocarse los refuerzos en la dirección larga solo en los extremos (ver Figura 51). En el diseño de losas se considerará que cuando un lado es mayor o igual al doble

del otro, basta con armarla en la dirección corta colocándose para la dirección larga solamente un refuerzo mínimo por efectos de temperatura y/o contracción de fragua. (Proaño, 2016)

Figura 51

Losa armada en una dirección



Nota: Tomado de Romo, 2016

Las losas pueden dividirse en: losas macizas, nervadas y aligeradas. Las losas macizas como elementos estructurales dispuestos en posiciones horizontales, verticales y/o inclinadas, sometidas a cargas perpendiculares a su plano, razón por la cual resisten principalmente esfuerzos de flexión y corte. Presentan un espesor (peralte) pequeño en comparación con sus dimensiones en planta, cuyas superficies superior e inferior son paralelas entre sí, todo su espesor está constituido por concreto y barras de acero. (Nilson, 1999)

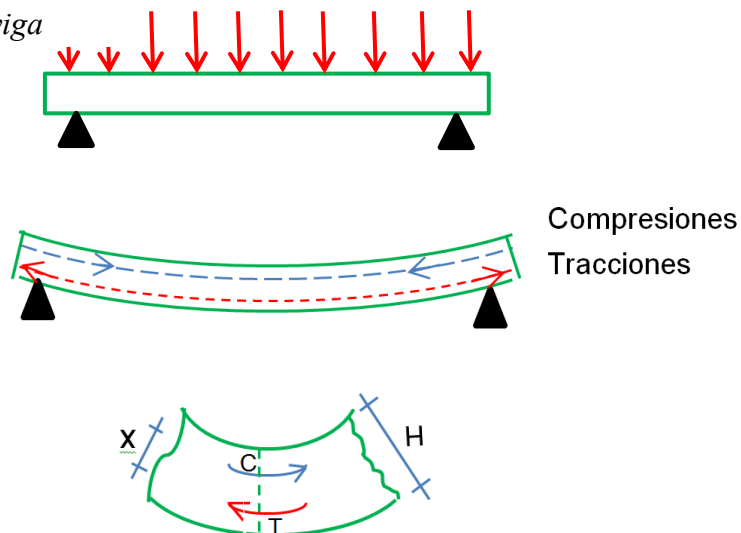
Según Manzano (2010) las losas nervadas tienen nervios o viguetas cada cierta distancia, unidas por una losa maciza superior más delgada y las losas aligeradas son en esencia losas nervadas, pero tienen como diferencia, que el espacio existente entre las nervaduras o viguetas este relleno por un ladrillo aligerado (con espacios vacíos tubulares).

2.1.3.2. Vigas. Son elementos que reciben cargas de las losas y las transmiten hacia las columnas o muros. Junto con las columnas y los muros constituye elemento resistente a los

diversos esfuerzos producidos por las fuerzas horizontales de sismo (cortantes, momentos y axiales), contribuye a asegurar la rigidez lateral. Las vigas pueden ser peraltadas o chatas depende de su altura o peralte, las vigas peraltadas son las que tienen una altura mayor al espesor del techo y es visible. Debido a su mayor inercia y a su mayor brazo de palanca interno, una viga peraltada se deformará menos y tendrá mayor capacidad resistente que una viga chata. El comportamiento en flexión de una viga origina esfuerzos de compresión y tracción. Estas fuerzas internas están espaciadas una cierta distancia que será mayor mientras mayor sea el peralte de la viga. La deflexión de una viga es inversamente proporcional a la inercia (momento de inercia) de la sección, y esta depende del cubo del peralte por lo tanto la deformación de una viga también depende de su peralte. (Blasco, 1994) (ver Figura 52). Dos pórticos con iguales características solo cambiamos la sección de la viga encontramos que el pórtico con viga de mayor peralte se deformará lateralmente menos que el de la viga chata o menos peraltadas.

Figura 52

Comportamiento de una viga



$$\text{Momento resistente} = \text{Fuerza} \times \text{distancia} = \text{Compresión} \times X$$

Nota. Comportamiento de una viga (flexión). X depende de $H = \text{Tracción} \times X$. A mayor H mayor momento resistente Adaptado de Blanco, 1994

2.1.3.3. Columnas. Por lo general, son elementos verticales que reciben cargas de las losas y vigas para luego transmitirlos hacia la cimentación. Las columnas forman el esqueleto sísmo resistente conjuntamente con las vigas y las placas. Las columnas son elementos sometidas a esfuerzos de flexo compresión, debido a que tienen momentos flectores transmitidos por las vigas y reciben las cargas axiales de los diferentes niveles de la edificación. Sin embargo, existen situaciones en las que las columnas trabajan a flexo tracción, este caso se da cuando las columnas se encuentran cercanas a las placas o muros de corte unidas por una viga rígida, las columnas trabajan a tracción, cuando la fuerza axial de compresión supera a las cargas de gravedad. La sección transversal de la columna dependerá de la magnitud de la carga vertical que recibe y de la magnitud de los momentos flectores actuantes. (Ottazzi, 2013)

Las columnas pueden tener secciones de diferentes formas, siendo las más utilizadas, las columnas de secciones rectangulares, circulares, en L y en T. Para que las columnas puedan ser capaces de resistir fuerzas sísmicas horizontales, es necesario que tengan peraltes suficientes en las dos direcciones principales del edificio. (Sánchez, 2020)

Las columnas ven afectadas su resistencia debido a los efectos de esbeltez, estos afectan deformaciones transversales, produciendo momentos que afectan la capacidad resistente de las columnas. Mientras mayor sea la altura de la columna o menor su sección transversal, mayores serán las deformaciones transversales y por tanto mayores los momentos adicionales. Cuando se usan columnas rectangulares los efectos de esbeltez son más críticos en la dirección de menor espesor, no siendo recomendables espesores menores de 25 cm. El objetivo principal debe ser proporcionar rigidez y resistencia en las dos direcciones de la edificación, para lo cual debemos tener algunas columnas peraltadas en una dirección y otras en la dirección perpendicular y recurrir al uso de placas. (Blasco, 1994)

Según McCormac (2012) la esbeltez de las columnas se basa en su geometría y en su arriostramiento lateral. Conforme crece su esbeltez, sus esfuerzos de flexión también aumentan por lo que puede ocurrir el pandeo

2.1.3.4. Placas. Son muros de concreto armado, cuya resistencia y rigidez a cargas horizontales, los tienen en la dirección de mayor longitud. Al igual que una columna, reciben cargas de losas y vigas para después transmitirla a la cimentación y reciben momentos de estas, cuando un edificio es muy flexible, las fuerzas sísmicas horizontales generan mayores problemas de deformación horizontal, causando pánico en sus ocupantes, choques con edificaciones vecinas, rotura de vidrios, desprendimiento de enchapes y parapetos, fisuras en tabiques de albañilería, mayores efectos de esbeltez en columnas, etc. Frente a estos problemas uno de los criterios de diseño es limitar los desplazamientos laterales de una edificación durante los sismos recurriendo al uso de muros o placas en las dos direcciones. Dada su gran rigidez, los muros terminan absorbiendo la mayor parte de los cortantes de sismo lo cual obliga a ser muy cuidadoso con su ubicación en planta, con el objeto de no crear efectos de torsión si se colocan estos en forma asimétrica. (Blasco, 1994)

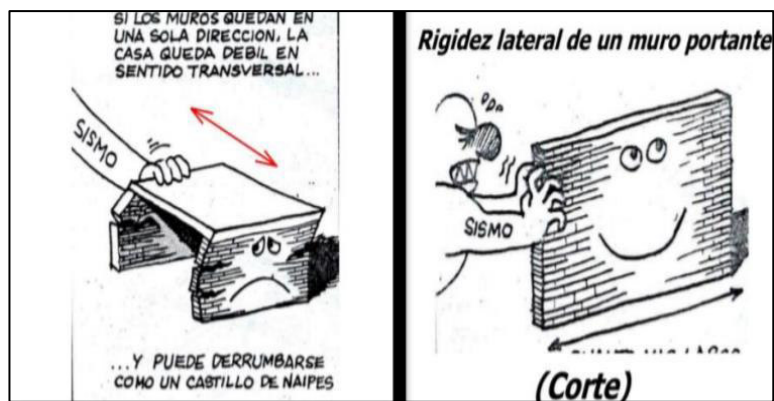
2.1.4. Rigidez

La rigidez es la propiedad o capacidad que tiene un cuerpo, elemento o estructura de soportar cargas o tensiones sin deformarse o desplazarse excesivamente. Las estructuras deben ser rígidas para evitar deformaciones por acción de fuerzas. El problema de rigidez o de deflexión horizontal es como evitar que la estructura se desalinee más allá de una cierta cantidad, según Uniform Building Code, el desplazamiento lateral se debe limitar en un máximo del 0.5% de la altura del piso. (Christopher y Reitherman, 1987)

La rigidez podemos incrementarla colocando mayor cantidad de elementos estructurales verticales o aumentando la sección de estos elementos, la otra forma también es añadiendo materiales con mayor módulo de elasticidad, o disminuyendo la longitud del elemento o haciendo que las disposiciones de los muros de corte sean paralelos a las fuerzas horizontales del sismo (ver Figura 53)

Figura 53

Rigidez lateral



Nota. A la izquierda fuerza sísmica perpendicular al muro y a la derecha paralelo al muro lateral. Tomado de <https://es.slideshare.net/rogerlom/1a-clase-40685003>

Los factores que influyen en la rigidez son:

- Propiedades de los materiales: Los que influyen en la rigidez lateral sobre todo en la etapa inelástica son: el módulo de Young (E) y el módulo de cortante (G).
- Propiedades de la sección: los que afectan a la rigidez axial, de momento y cortante del sistema son: el área transversal y el momento de inercia I y el momento torsional J . Cuando se hacen modificaciones de la geometría de los elementos estructurales, también varía notoriamente su inercia y rigidez.
- Propiedades del sistema: La rigidez de la estructura depende del tipo de sistema utilizado para oponerse a las cargas horizontales sísmicas, la distribución de la rigidez de los elementos

estructurales y de los tipos de diafragmas horizontales que conectan los miembros verticales. Un ejemplo sería el caso de pórticos arriostrados son más rígidos a momentos que los pórticos. Los muros estructurales son más rígidos que cualquier otro tipo de elemento estructural. Es necesario considerar una distribución horizontal y vertical de la rigidez en forma uniforme para así, prevenir la presencia de una alta demanda sísmica. La interacción suelo-estructura se debe tomar en cuenta a la hora de evaluar la rigidez global de una estructura. Este tipo de interacción reduce la rigidez de la superestructura y puede también alterar la distribución de las acciones sísmicas y deformaciones producto de los movimientos del suelo (Marte et al., 2014)

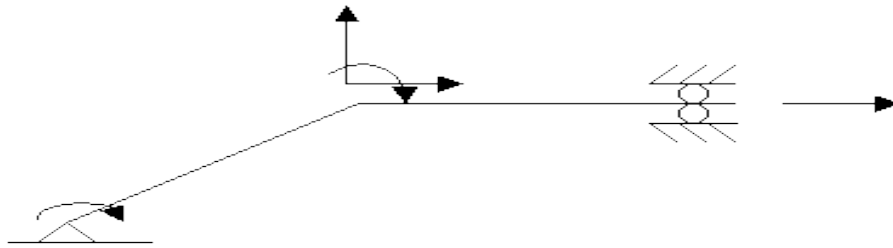
Para cuantificar la rigidez de un elemento resistente sometido a diferentes cargas se utiliza una magnitud física que es el **coeficiente de rigidez**, el cual es la razón entre la fuerza aplicada y el desplazamiento producido por la aplicación de esa fuerza.

$$k_i = \frac{F_i}{\delta_i} \quad (2)$$

Por otro lado, existen muchos tipos de rigideces como: rigidez axial, rigidez flexional, rigidez a cortante, rigidez torsional.

Es importante definir lo que es un **grado de libertad**, puesto que la rigidez tiene que ver con el desplazamiento en un punto determinado ya sea en los apoyos o en los nudos.

La figura de la deformada o las formas de moverse de una estructura se puede describir a través de los grados de libertad. En apoyos podemos determinar cuándo un grado de libertad es libre o restringido, en nudos también podemos identificar los grados de libertad libres. (Civilarq.com, 2007) (ver Figura 54).

Figura 54*Grados de libertad*

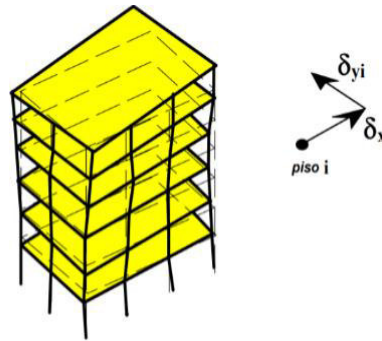
Nota. Esta estructura tiene 5 grados de libertad libres. Tomado de Civilarq.com, 2007

2.1.4.1. Desplazamientos laterales. Las cargas sísmicas son cargas vivas laterales muy complejas, instantáneas inciertas y potencialmente más dañinas que otras cargas, por suerte los sismos no ocurren con frecuencia, de ocurrir estos generan "sacudidas", "traqueteo" y "balanceo". Cada estructura en una zona sísmica debe resistir estas tres cargas de diferentes intensidades. aunque el suelo debajo de una estructura puede moverse en cualquier dirección, solo los componentes horizontales de este movimiento generalmente se consideran críticos, se supone que una estructura diseñada correctamente para soportar cargas vivas y muertas también se comporta bien para la componente vertical del terremoto. Los sistemas de resistencia a cargas laterales para cargas sísmicas están diseñados como si estuvieran aplicados horizontalmente al sistema estructural. La magnitud de la carga sísmica depende de la ubicación geográfica del edificio, los materiales estructurales, la altura, la forma, la masa de la estructura, la rigidez del sistema estructural y la aceleración de la superficie.

Cuando una estructura está bajo la acción de fuerzas o cargas del sismo, los elementos que lo constituyen sufren "deformaciones" (ver Figura 55) (o pequeños cambios en su forma) y, como consecuencia, cualquier punto de la estructura se desplazará hacia una nueva posición. En general, todos los puntos de la estructura, excepto los puntos de apoyo inmóviles sufrirán dichos desplazamientos. (Fonseca, 2020)

Figura 55

Desplazamiento de la estructura



Nota: Tomado de NSR-10, 2012

El desplazamiento lateral es importante cuando las estructuras están sujetas a cargas laterales como un terremoto y cargas de viento. El desplazamiento lateral depende de la altura de la estructura y la esbeltez de la estructura porque las estructuras son más vulnerables a medida que aumenta la altura del edificio al convertirse más flexible a las cargas laterales.

2.1.4.2. Derivas. El control de los daños en las edificaciones se suele establecer imponiendo limitaciones a los desplazamientos y deformaciones laterales de la estructura. La “deriva normalizada” se define como la diferencia de desplazamientos laterales entre dos niveles consecutivos de un edificio, dividida por la distancia que separa ambos niveles (ver Figura 56). El límite de la deriva de entrepiso se expresa generalmente como el valor máximo y depende del sistema estructural. (López, 2014)

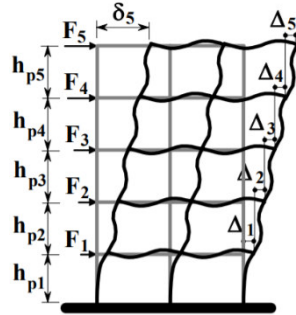
Según la Norma peruana de Diseño sismorresistente E-030, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, o el límite de la distorsión (deriva) es de siete por mil para concreto armado

En determinado estado de daño, la deriva asociada depende del tipo de estructura, de su altura o número de pisos y del nivel de diseño empleado en la construcción; éste último está relacionado con la antigüedad de la edificación. Estructuras dúctiles diseñadas con las normas

modernas pueden soportar mayores derivas que estructuras de baja ductilidad diseñadas con normas antiguas, para el mismo nivel de daño. (Ghobarah, 2004)

Figura 56

Deriva de entrepiso



Nota: Tomado de NSR-10, 2012

Procedimiento para la verificación de derivas

$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta_i}{h_{pi}} \leq 0.007 \quad \text{Para concreto armado} \quad (4)$$

2.1.4.3. Periodo fundamental de vibración según modos de resonancia. Al oscilar un edificio durante un terremoto provoca que se induzca una fuerza de inercia en el edificio. La intensidad y duración de la oscilación, y la cantidad de fuerza de inercia inducida en un edificio, dependen de las características propias del mismo sismo y de las características dinámicas del edificio como son los modos de oscilación, los cuales están definidos por el periodo natural y la forma deformada en el que oscila.

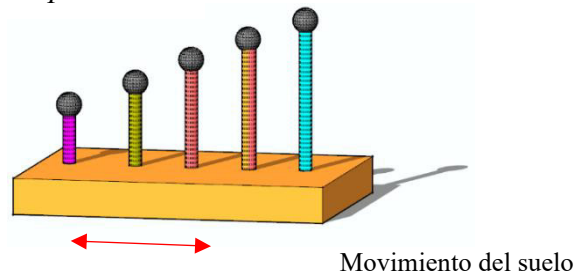
Si se sacudiera un péndulo invertido en volado, con el intento de quebrarlo, de un lado a otro, pronto los empujones y jalones se sincronizarán con la tendencia natural del péndulo a vibrar con un ritmo determinado que es su periodo fundamental. Los periodos fundamentales de las estructuras pueden fluctuar desde 0.005 segundos para una pieza de equipo bien anclada, 0.5 segundos para una estructura de cuatro niveles, 2 segundos para un edificio de veinte pisos, 4 segundos para un tanque elevado de agua o 6 segundos para un puente colgante, Usualmente

los periodos naturales del suelo son entre 0.5 y 1 segundo por lo tanto hay una alta probabilidad que el edificio se aproxime a una resonancia puesto que el edificio y el suelo puedan presentar el mismo periodo fundamental.

Los periodos naturales de los diferentes tipos de suelos se calculan a través de registro de sismos ocurridos en una zona o en suelos similares. Estas estimaciones se expresan mediante el uso de un espectro de respuesta, cuya explicación se puede hacer a través del comportamiento de una serie de péndulos invertidos en voladizo unidos en una base móvil que se desplaza para representar el movimiento de un sismo cuyos periodos de los péndulos van creciendo, es decir cuanto mayor longitud tenga el péndulo mayor será su periodo (ver Figura 57)

Figura 57

Principio de espectro de respuesta



Fuente: Elaboración propia

Según Christopher y Reitherman (1987) la respuesta máxima de cada péndulo en cuanto a tiempo y frecuencia se registra para luego ser graficada en función del periodo y se obtendrá una curva o un espectro de respuesta para un lugar específico que relacione el movimiento del suelo con un intervalo de periodos naturales completo de oscilación. El periodo es una propiedad inherente del edificio, controlado por su masa (m) y rigidez (k) cuya unidad está dada en segundos (s).

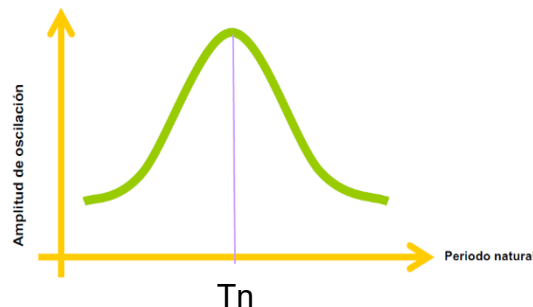
El recíproco del período natural de un edificio se llama frecuencia natural (f_n); su unidad es Hertz (Hz). Los edificios pesados con mayor masa y flexibles con menor rigidez tienen un período natural más largo que los edificios ligeros y rígidos.

Los edificios oscilan al trasladarse a lo largo de las direcciones X, Y o Z, o al girar alrededor de los ejes paralelos, o mediante una combinación de los anteriores. Cuando el edificio es agitado a su periodo natural que, a otras frecuencias, este sufre una mayor oscilación y resiste menos. (ver Figura 58).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (5)$$

Figura 58

Frecuencia natural de un edificio



Nota. Frecuencia natural de un edificio: Amplitud de oscilación (o cualquier respuesta) del edificio. aumenta cuando el edificio se agita en o cerca de su frecuencia natural. Tomado de Christopher y Reitherman,, 1987

El Movimiento de terreno de periodo largo es una oscilación lenta y mucho más prolongada y diferente que los terremotos tradicionales de movimiento muy rápido como el de Kobe, El movimiento de periodo largo como el ocurrido en Ciudad de México afecta más a los edificios altos y en el movimiento de periodo corto los que más se balancean son los edificios bajos, esto significa que diferentes longitudes de ondas sísmicas convierten en vulnerables a edificios de diferentes alturas.

Cada edificio tiene una serie de frecuencias naturales, en las que ofrece una resistencia mínima a las sacudidas inducidas por efectos externos e internos. Cada una de estas frecuencias naturales y la forma de deformación asociada de un edificio constituyen un modo natural de oscilación. Para fines de estudio, el número de modos es finito, pero en realidad es infinito. Cuando se prepara el modelo de elementos finitos del edificio, este se discretiza en miembros

reunidos en nodos. Cada nodo tiene un máximo de 6 grados de libertad, tres de traslación y tres de rotación.

Factores que influyen en el período natural son: la rigidez (los edificios más rígidos tienen un período natural más pequeño), la masa (los edificios más pesados tienen un período natural más grande), la altura del edificio (los edificios más altos tienen un período natural más grande), la orientación de la columna (los edificios tienden a oscilar en las direcciones en las que son más flexibles y tienen períodos naturales de traslación más largos), los muros de relleno de mampostería no reforzada en los marcos de concreto armado (los períodos naturales de los edificios dependen de la cantidad y extensión de la distribución espacial de los muros de relleno de mampostería no reforzada) (Christopher y Reitherman, 1987).

Cuando se agita en el período natural, la forma de modo de oscilación asociada con un período natural es la forma deformada del edificio. Por tanto, un edificio tiene tantas formas modales como períodos naturales. Pero, en el modelado matemático de edificios, estos son discretizados en una serie de elementos. Las uniones de estos elementos se denominan nodos y cada nudo es libre de trasladarse en las tres direcciones cartesianas y rotar alrededor de los ejes paralelos. La forma deformada del edificio asociada con la oscilación en fundamental período natural se denomina su forma de primer modo. De manera similar, las formas deformadas asociadas con oscilaciones en segundo tercero, y otros períodos naturales superiores se llaman formas de segundo, tercer modo y así sucesivamente. La geometría general del edificio, el suelo en la que se emplaza la estructura, los materiales y la conexión de los miembros estructurales tienen que ver con las formas modales de los edificios. Los edificios exhiben forma de modo de flexión, forma de modo de corte o una combinación de estos, dependiendo de los factores anteriores.

Hay tres modos básicos o fundamentales de oscilación, a saber, traslación pura a lo largo de la dirección X, traslación pura a lo largo de la dirección Y y rotación pura alrededor

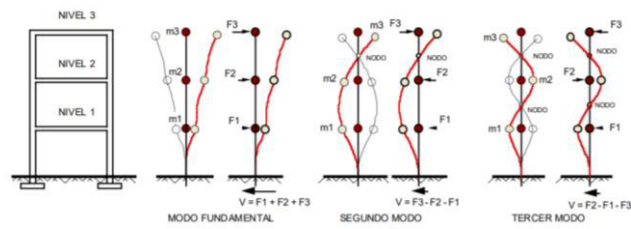
del eje Z. Las formas de modo puro presentan los edificios regulares y los edificios irregulares tienen formas modales que son una mezcla de estas formas modales puras. La respuesta general de un edificio es la suma de las respuestas de todos sus modos. Las contribuciones de los diferentes modos de oscilación varían; por lo general, dominan los primeros modos.

Durante un corto período de tiempo la tierra vibra por efecto de la energía que se libera súbitamente y se transmite por los estratos del terreno. La vibración del suelo se transmite a las edificaciones a través de la cimentación. Las edificaciones pasan bruscamente del estado de reposo en que se encuentran soportando principalmente cargas gravitacionales verticales a sufrir un movimiento vibratorio, que le genera cargas dinámicas actuando en todas las direcciones, siendo las componentes horizontales las más críticas pues en esa dirección las construcciones empotradas en sus cimientos actúan como voladizos. Las edificaciones de un piso al tener una sola masa vibran solamente de un solo modo, la masa desplazándose a cada lado de la vertical. Las edificaciones de varios pisos son péndulos múltiples que pueden vibrar de diferentes modos: Todas las masas a un mismo lado de la vertical o unas masas a un lado de la vertical mientras las otras masas se desplazan al otro lado de la vertical, Por ejemplo, una edificación de tres niveles tendrá el comportamiento de un péndulo de tres masas que representa tres modos diferentes de vibración (ver Figura 59). De los tres modos de vibrar el péndulo de tres masas el mayor cortante en la base de la estructura corresponde al modo fundamental para el cual las fuerzas inerciales tienen la misma dirección mientras en los otros dos modos las direcciones de estas fuerzas se alternan resultando menor el cortante basal, resultante de la sumatoria vectorial. (Domínguez, 2014)

Un edificio de varios niveles puede presentar varios modos de vibración (ver Figura 60) Tanto como pisos tenga, donde el primer modo de vibración le corresponde el mayor periodo y cada modo de vibración posterior se representa para un periodo cada vez menor. (Domínguez, 2014)

Figura 59

Modos de vibración

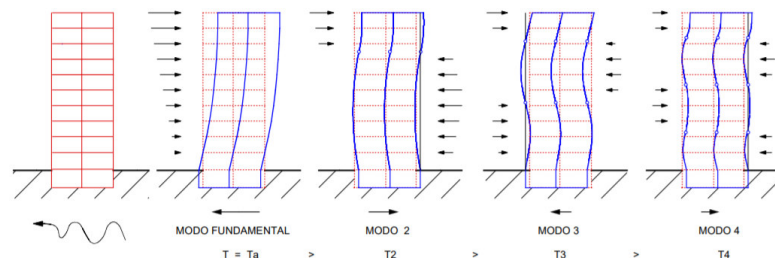


Nota. Edificio de tres pisos y sus modos de vibrar como péndulo de tres masas. Tomado de Domínguez, 2014

La resonancia ocurrirá en un edificio, solo si la frecuencia a la que el suelo tiembla es constante o cerca de cualquiera de las frecuencias naturales del edificio y se aplica sobre un extenso período de tiempo. Pero, el movimiento del suelo del terremoto se aparta de estas dos condiciones puesto que el movimiento del suelo contiene una serie de frecuencias que cambian continua y aleatoriamente en cada instante de tiempo. Así mismo la pequeña duración durante la cual se produce el temblor del suelo a frecuencias cercanas a frecuencia natural del edificio, es insuficiente para constituir condiciones de resonancia. La idea es evitar o reducir la resonancia para ello el diseño del edificio se debe sintonizar de tal modo que su propio periodo este fuera del intervalo de los periodos probables del suelo, para ello es necesario elegir bien las configuraciones, alturas y materiales.

Figura 60

Modos de vibración de un edificio multipiso



Nota. Primeros modos de vibración de un edificio multipiso. Tomado de Domínguez, 2014

2.1.5. Resistencia.

Resistencia es la capacidad de un cuerpo, elemento o estructura de soportar cargas sin colapsar. El problema de la resistencia de una estructura consiste en como soportar una carga o la acción de una fuerza dada, sin exceder cierto esfuerzo o sin que esta se rompa o colapse, para ello es necesario que los elementos de la estructura también contribuyan a la resistencia a los esfuerzos que actúan sobre ella. El cortante basal es la resultante de un conjunto de fuerzas sísmicas laterales proporcionales al peso de la estructura producidas por los terremotos, es por ello que las estructuras deben ser resistentes a cortante, axial y a flexión y hacer frente a las fuerzas sísmicas de cada piso y a esa fuerza total. La combinación de cargas verticales con horizontales durante un evento sísmico incrementa el nivel de tensión en los elementos y uniones. Si este total de tensiones excede la capacidad de cada elemento, el fallo estructural es eminente; esto corresponde a un estado límite de daño estructural. (Cabrera, 2020)

Factores que influyen a la resistencia son:

- a) **Propiedades del material:** La resistencia de los materiales puede ser expresada a través de la relación resistencia y peso específico del material (σ/γ). Los materiales de construcción pueden ser ortótropos o anisótropos, dependiendo en la distribución de las propiedades a lo largo de los tres ejes principales. La resistencia de los materiales es influenciada por el endurecimiento por deformación (strain hardening) y también debilitados por los efectos de tipo de deformación. (Paulay y Priestley, 1992)

Una pérdida de resistencia y rigidez toma lugar en el concreto con el incremento de las deformaciones; esto se conoce como debilitamiento o degradación de la rigidez y resistencia del concreto. Los estribos circulares son más efectivos debido que confinan el núcleo del elemento más uniformemente. (Marte et al., 2014)

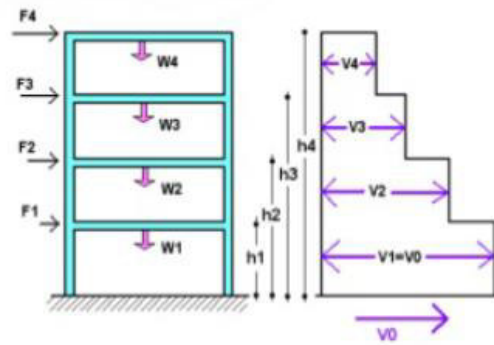
- b) **Propiedades de las secciones:** La resistencia estructural lateral de las estructuras está directamente influenciada por las propiedades de las secciones. El área de la sección transversal

influye tanto a la resistencia axial como en cortante. La resistencia de las secciones aumenta a medida que se coloca mayor cantidad de acero longitudinal. El sismo, genera cargas horizontales que inducen grandes momentos y cortantes en las columnas. Las fallas en vigas suelen ser por la interacción del momento y el cortante., mientras que la interacción momento-cortante y axil-cortante, son causantes de la falla en columna. (Marte et al., 2014)

- c) **Propiedades de los elementos estructurales:** La resistencia global de la estructura depende también de cómo es la respuesta estructural de sus componentes. Generalmente, las columnas poseen menos resistencia a la flexión y cortante que los muros de carga. Los muros esbeltos son empleados para incrementar la rigidez lateral y resistencia a pórticos de media y gran altura. Tales muros son capaces de contrarrestar los altos momentos de vuelco y cortantes en la base. La posición en el que se coloquen los aceros de refuerzo en la sección transversal de los muros afecta de manera positiva en la resistencia y ductilidad del mismo. Estudios ha determinado que la concentración de barras en los bordes influye más en el aumento del desempeño de éstos que lo que hace el uso de barras distribuidas de manera equitativa a lo largo del ancho del muro (Paulay y Priestley, 1992)

2.1.5.1. Cortante basal. A la fuerza cortante resultante en la base de una edificación se le conoce como cortante basal, el mismo que es la acumulación gradual de las fuerzas cortantes de cada entrepiso, y esta se refleja en la base del edificio (ver Figura 61).

Es necesario aclarar que el cortante basal adquiere relevancia cuando se realiza el análisis sísmico estático y/o dinámico, siendo su uso diferente por cada tipo de análisis. Cuando se realiza el análisis sísmico estático de fuerzas equivalentes, se calcula un valor aproximado de este para luego distribuirlo en el edificio con respecto a la altura de los entrepisos.

Figura 61*Esfuerzo de cortante basal**Nota:* Tomado de Saavedra, 2016

Según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) la fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

El valor de C/R no deberá considerarse menor que:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P \quad (6)$$

$$\frac{C}{R} \geq 0.11 \quad (7)$$

Para como se sabe, los parámetros: Z , U , C , S y R dependen del lugar en el que se construye, el uso de la edificación, la amplificación sísmica, el tipo de suelo, el sistema estructural a usar por cada dirección, la regularidad estructural y el valor del peso sísmico (P), este último representa el peso total de la estructura, considerando las cargas muertas o permanentes, y un porcentaje de la carga viva dependiendo de la importancia y el posible aforo de la construcción.

$$P = \%CV + CM \quad (8)$$

Por otro lado, cuando se realiza un análisis sísmico dinámico el cortante basal se usa para validar el análisis que se realizó y se calibra. Según se explica en la norma E.030, se tiene

que verificar que el cortante basal del análisis dinámico no tiene que ser menor a un porcentaje del cortante basal estático de acuerdo a su regularidad estructural:

$$V_{dinámica} \geq \begin{cases} 90\%, & \text{irregular} \\ 80\%, & \text{regular} \end{cases} \quad (9)$$

2.1.6. Ductilidad

La ductilidad es la capacidad que tienen las estructuras, sus componentes o los materiales que las constituyen, de deformarse más allá del límite elástico sin pérdida de resistencia y de acumular energía durante los ciclos de carga (histéresis). (Pérez, 2008)

Estructuras frágiles fallan a pocas deformaciones inelásticas después de alcanzar su resistencia máxima. El colapso de estas estructuras es repentino y no avisan. Opuestamente, las estructuras dúctiles son capaces de mantener mayor cantidad de deformación inelástica luego de haber alcanzado el pico más alto de resistencia a cortante, manteniendo la rigidez y resistencia en rangos aceptables. Las amplitudes de respuesta de terremoto inducidas por vibraciones dependen del nivel de energía de disipación de las estructuras, el cual es una función de su habilidad para absorber y disipar energía a través de deformaciones dúctiles. Esto es antieconómico en todas las aplicaciones prácticas, con excepción de las plantas nucleares, plataformas de alta mar, etc. El parámetro para medir la ductilidad global de una estructura bajo cargas sísmicas es empleando el factor de ductilidad el cual está dado por el cociente de desplazamientos últimos (U_m) y de plastificación (U_y). (Marte et al., 2014)

Para asegurar el comportamiento dúctil, los diseñadores deben dar especial atención a los detalles tales como cuantía de refuerzo longitudinal (la ductilidad es una estructura de concreto armado es determinada por la cuantía de acero), anclaje del refuerzo y confinamiento del concreto comprimido, evitando así los tipos frágiles de falla. (Morales, 2015)

2.1.7. Fuerza de inercia y peso sísmico

Primero distinguiremos dos términos, las fuerzas sísmicas y las fuerzas de inercia. Las fuerzas sísmicas son las fuerzas externas aplicadas a una estructura debido al movimiento del suelo durante un terremoto, las fuerzas de inercia son las fuerzas internas generadas dentro de la estructura como respuesta a este movimiento. Las fuerzas de inercia son una consecuencia directa de las fuerzas sísmicas, y juntas determinan la respuesta de la estructura a un sismo.

Una fuerza inercial en edificios es un tipo de fuerza que se genera como respuesta a la aceleración o desaceleración del suelo durante eventos sísmicos. Cuando un sismo genera ondas que hacen vibrar el suelo, el movimiento se transmite a los edificios y otras estructuras en contacto con el suelo. Sin embargo, debido a la inercia, las diferentes partes de un edificio querrán permanecer en su estado de movimiento original (ya sea en reposo o en movimiento uniforme) incluso cuando el suelo se mueve debajo de ellas. Esto genera fuerzas de inercia que actúan a través de la masa del edificio, intentando resistir el cambio de movimiento. Cuando el suelo se mueve, la base del edificio intenta seguir este movimiento, pero la masa del edificio tiende a permanecer en su estado original debido a la inercia. Esta diferencia de movimiento entre la base y la masa del edificio genera fuerzas de inercia que actúan a través de la estructura, intentando acelerarla para que coincida con el movimiento del suelo (ver Figura 62).

A pesar de que la base del edificio se mueve con el suelo, el techo tiende a mantenerse en su posición inicial. Sin embargo, debido a que está sujeto a las paredes y columnas, arrastran el techo con ellos. De manera similar a cuando un autobús en el que estás parado arranca repentinamente, tus pies lo siguen, pero la parte superior de tu cuerpo tiende a quedarse atrás, ¡haciendo que caigas hacia atrás. La inercia es la tendencia a mantener en su propia posición después de cambiarla sismo. (Choudhury, 2022)

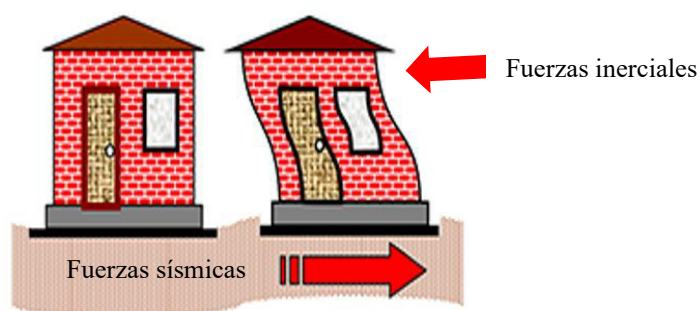
El peso de un edificio se deriva de su masa total y la fuerza de gravedad actuando sobre ella. Este peso proporciona una medida de la carga estática que la estructura impone sobre su

fundación y el suelo subyacente. En términos de respuesta sísmica, el peso del edificio influye en la magnitud de las fuerzas inerciales que se generan durante un terremoto, ya que estas fuerzas son proporcionales a la masa del edificio.

La relación entre el peso sísmico del edificio (una función de su masa) y la fuerza de inercia se puede entender a través de la segunda ley de Newton ($F = ma$), donde la fuerza (F) es igual a la masa (m) del objeto multiplicada por la aceleración (a) que experimenta. Durante un sismo, la aceleración del suelo induce fuerzas inerciales en el edificio que son proporcionales a su peso sísmico. Cuanto mayor es el peso del edificio, mayores son las fuerzas inerciales generadas durante un terremoto. La forma en que se distribuye la masa (y por lo tanto el peso) a lo largo de la altura del edificio afecta cómo se generan y distribuyen las fuerzas inerciales durante un sismo. Los datos que influyen en el cálculo del peso sísmico son: el peso propio de la estructura, las cargas permanentes y una fracción de cargas vivas que varían según su ocupación.

Figura 62

Fuerza de inercia por movimiento sísmico



Nota. Fuerza de inercia en un edificio por efectos del sismo. Adaptado de Choudhury, 2022

2.1.8. Descripción geográfica del lugar

El proyecto se encuentra ubicado en la región y provincia de Huánuco, zona urbana del distrito de Pillco Marca (ver Figura 63). de clima templado seco, con una temperatura media de 20°C. y con una altitud de 1940.00 m.s.n.m., zona sísmica Z_2

Figura 63

Localización y ubicación



Nota: Tomado de <https://pin.it/6PrEkaPGJ> y <https://pin.it/3adG5eaHR>

Figura 64

Vista satelital de la UNHEVAL dentro de la zona urbana de Pillco Marca



Nota: Vista satelital obtenido de Google Earth

2.2. Base filosófica

El Periódico El País de Europa, publica: **El terremoto y la filosofía** ¿Cómo es posible que siendo Dios tan omnipotentemente sabio y bueno permita que haya terremotos, con la consiguiente destrucción de personas y bienes materiales imprescindibles para vivir? Así preguntaba Voltaire en su *Poema sobre el desastre de Lisboa*, ocurrido el 1 de noviembre de 1755. ¡Ah, de la razón! -Nadie me responde. Nuestros muertos siguen esperando una respuesta. Pues bien, ahora que nuestros cansados de la modernidad y de la ilustración y de la ciencia y de la democracia nos van a salvar, del brazo del dogmatismo que como no espabilemos, pues "todo va bien", nos vamos a enterar, ahora que la tierra se mueve más que nunca, quién se lo iba a decir a Galileo, ahora aparece Voltaire para desencantarnos de nuestro propio desencantamiento. ¿Acaso no es preferible el desconsuelo ilustrado con los ojos abiertos al embaucamiento lógico-religioso? El problema filosófico del mal, con este Dios, no tiene solución. Pero nuestros arquitectos, científicos y políticos pueden ayudar a luchar mejor contra los terremotos y seísmos sociales y económicos en los que, como parte del plan general, siempre hay más muertos pobres que ricos. Y, desde luego, que un problema carezca de soluciones, posiblemente, lo que separa laicamente al filósofo del teólogo. Oración final: "¡Oh, ¡Dios mío, reveladnos que hay que ser humanos y tolerantes!" (nota de Voltaire al Poema añadido en 1771). Era esperanzador, y puede que haya dado sus frutos. Tras el reciente terremoto de Ankara, la primera ayuda humanitaria la recibieron los turcos de sus archienemigos, los griegos. Que así sea. (Quesada, 2018)

Octavio Paz publicó en El País el 10 de octubre de 1985; **Escombros y semillas**. Calificó el desastre como "la conjunción de una fatalidad natural y un error histórico", el error histórico era la ambición que genera un "urbanismo desenfrenado e inescrupuloso". Hoy estos problemas siguen estando en el centro de la herida, en la grieta (grieta por donde también entra la luz). Hoy se vuelven a ver las semillas en los escombros, los brotes de esa "marea social que

demuestra la realidad verdadera" de México, pero habrá que hacerlas germinar no con el ímpetu y el furor de la reacción heroica sino con el cuidado lento y meticulado de la razón y la organización concienzuda. La segunda fuerza ha sido de orden económico: el espíritu de lucro de los empresarios e industriales de la construcción, que aprovecharon el auge relativo de este cuarto de siglo para entregarse a una especulación urbana desenfrenada e inescrupulosa, con la complicidad de la burocracia gubernamental. Así, en unos cuantos años, la ciudad se extendió de manera caótica y se cubrió con multitud de edificios, no sólo feos, sino inseguros. Por último, la megalomanía de los últimos Gobiernos, empeñados en levantar en un parpadeo sexenal Babilonias de cemento del tamaño de su vanidad. Los cimientos de esas moles estaban podridos como la moral de los que las erigieron. Justicia poética: mientras el temblor, en unos pocos minutos, echó por tierra esas construcciones alzadas por la vanagloria, la ambición y la codicia, los viejos edificios siguen en pie. Lo verdaderamente terrible ha sido el costo en sangre: las víctimas nos duelen más que las pérdidas materiales. La naturaleza y la historia son divinidades crueles, y el desastre del 19 de septiembre debe verse como la conjunción de una fatalidad natural y un error histórico. (Paz, 2013)

La filosofía del diseño sismo resistente se orienta actualmente al diseño por capacidad, de tal manera de controlar los modos de falla o de deformación deseable o indeseable. La deformación indeseable es aquel que ocurren repentinamente sin posibilidad de ser controlado, o que llevan al colapso de la estructura. En general se busca controlar los daños de la estructura de acuerdo con los criterios de diseño. Con esta filosofía de diseño obra una importancia principal la configuración de la estructura, la distribución de las masas y la regularidad para que la respuesta sísmica del sistema sea considerada "aceptable" debe tomarse en cuenta la resistencia, la rigidez y la ductilidad de la estructura. La primera etapa en el diseño de la estructura consiste en la elección y definición de un sistema estructural sismo resistente que tenga una respuesta adecuada frente a las acciones sísmicas. (Cerroloza, 2014)

2.3. Base tecnológica

En el mundo de la ingeniería estructural, el ingeniero calculista y proyectista, hace uso de herramientas acordes con la versatilidad y ritmo de hoy en día. Una de las herramientas más utilizadas para el análisis, simulación, estudio del comportamiento sísmico de edificios y comparación de resultados es el ETABS v 19.1, software basado en el análisis de comportamientos lineales y no lineales de elementos estructurales, análisis por método de elementos finitos, aplicación de diafragmas rígidos y flexibles, análisis dinámicos y estáticos, análisis de grandes desplazamientos y diferentes tipos y combinaciones de aplicación de solicitaciones entre otros. El software que se utilizó para el análisis tridimensional ofrece gran cantidad de herramientas con comandos muy específicos, que promueven el modelado secuencial de todos los elementos estructurales de las edificaciones. De igual forma, cuenta con todos los parámetros de aplicación para el análisis sísmico, tomando en cuenta el espectro de respuesta, basados en las características del territorio donde será construida la edificación, aplicación de combinaciones modales, basados en SRSS raíz cuadrada de la suma de los cuadrados y CQC combinaciones cuadráticas completas. Se han tomado los planos estructurales de cada edificación los cuales nos fueron alcanzados en AutoCAD. Para los modelamientos en 3d con el programa ETABS se tomaron las especificaciones técnicas tal cual figuraba en el expediente de cada proyecto. Los modelos fueron de concreto armado midiendo su comportamiento sísmico con losas convencionales y no convencionales (losas con viguetas de acero). El desarrollo del modelo de las edificaciones en estudio, en ETABS, se fundamentó en tres pasos básicos: Se ha dibujado objetos puntos, áreas y líneas que representen el edificio usando herramientas y comandos desde la interfaz gráfica; se ha asignado propiedades estructurales (secciones y materiales) y solicitaciones a todos los elementos estructurales; se ha asignado medidas de división interna en secciones de área para el chequeo y control de elementos finitos.

2.4. Definición de términos

Cargas de diseño: La característica más importante de cualquier elemento estructural es su resistencia real a las cargas, la cual debe ser lo suficientemente elevada para resistir con algún margen todas las cargas previsibles que puedan actuar sobre la estructura durante toda su vida útil. Para el presente proyecto, las cargas a considerar son las cargas muertas, las cargas vivas y las cargas debido a sismo. (Morales, 2016)

Carga muerta (CM): Se consideran a todas aquellas cargas que se mantienen constantes en magnitud y fijas en posición durante la vida útil de la estructura, tales como el peso de los materiales, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la estructura, incluyendo el peso propio, que se entiende serán permanentes.

Cargas de sismo (CS): Son aquellas que se generan por la acción sísmica sobre la estructura.

Carga viva (CV): Se consideran las cargas debido al peso de los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles.

Sistema convencional: Se refiere a los métodos y materiales de construcción tradicionales que se han utilizado ampliamente durante décadas.

Cortante basal: Viene a ser la fuerza resultante de reacción que se localiza en la base de una edificación, la misma que es la acumulación gradual de las fuerzas cortantes de cada entrepiso.

Viguetas de Acero: Son elementos estructurales largos y delgados fabricados en acero, diseñados para soportar cargas entre apoyos, como muros o columnas.

Desplazamiento: El desplazamiento se refiere al movimiento o traslación que experimenta la estructura de un edificio respecto a su posición original y puede ser horizontal y vertical

La deriva de entrepiso: Es el desplazamiento del entrepiso dividido por la altura del mismo. se refiere a la deformación horizontal relativa entre dos niveles adyacentes de un edificio durante un terremoto. Esencialmente, mide cuánto se desplaza un piso con respecto al piso inmediatamente debajo de él. La deriva de entrepiso se mide como la diferencia en

desplazamiento horizontal entre dos pisos dividida por la altura entre esos pisos. Se expresa comúnmente en términos de una fracción o porcentaje de la altura del piso.

Fuerza de Inercia: Es la resistencia que opone un cuerpo al modificar su estado de movimiento, en cuanto a velocidad o en la dirección del movimiento. Una fuerza inercial en edificios es un tipo de fuerza que se genera como respuesta a la aceleración o desaceleración del suelo durante eventos como terremotos.

Irregularidades en planta y elevación de la rigidez y resistencia de masa: La regularidad o irregularidad estructural está determinado por la composición arquitectónica tanto en planta como en altura y la configuración de la estructura, la que está definida por la localización de los elementos resistentes, es decir, muros, columnas, sistemas de piso, elementos no estructurales, aberturas, masas, etc.

Modos de vibración: Son las diferentes formas de vibración propias de la estructura. Para cada modo de vibración se tiene una frecuencia de vibración propia.

Resistencia: Es la capacidad útil de una estructura o de sus miembros, para resistir cargas dentro de los límites de deformación establecidos en el reglamento.

Rigidez: La rigidez de una estructura se refiere a su capacidad para resistir deformaciones bajo la acción de cargas externas

Periodo fundamental: Es aquel de mayor duración por lo que hace más daño a la estructura ya que origina los mayores desplazamientos.

Prueba de hipótesis: Es un procedimiento estadístico utilizado para decidir si una suposición sobre un parámetro de la población (la hipótesis) es verdadera o falsa basándose en una muestra de datos.

ETABS: Es un software avanzado de análisis y diseño estructural utilizado principalmente en la ingeniería civil para modelar y analizar edificios y grandes estructuras.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. *Tipo*

3.1.1.1. De acuerdo a la orientación. Es **aplicada** porque la investigación se centra en comprender cómo el uso de viguetas de acero afecta el comportamiento sísmico de las edificaciones, lo cual tiene aplicaciones prácticas directas en la ingeniería estructural y la construcción de edificios más seguros en áreas propensas a sismos.

3.1.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación. Es **experimental** porque se manipuló la variable independiente (viguetas de acero) con el fin de observar los efectos en el comportamiento sísmicos de las edificaciones.

3.1.1.3. De acuerdo a la direccionalidad. Es de tipo **prospectiva** porque los datos del comportamiento sísmico fueron medidos y no copiados, es decir son datos primarios.

3.1.1.4. De acuerdo al tipo de fuente de recolección de datos. Es de tipo **prolectiva** porque se hizo una planeación para la recolección de datos de acuerdo a los criterios de la investigación.

3.1.1.5. De acuerdo a la evolución de fenómenos estudiados. Es de tipo **longitudinal** porque se ha observado el comportamiento sísmico de un mismo grupo de edificaciones en dos momentos y escenarios: primero antes de la incorporación de las viguetas de acero y luego después de haberlas incorporado,

3.1.1.6. De acuerdo a la comparación de la población. Es de tipo **comparativa** porque se comparó los resultados de los comportamientos sísmicos de las edificaciones antes y después de haberla incorporado las viguetas de acero.

3.1.2. *Nivel*

Es de nivel **aplicativo** porque la presente investigación además de centrarse en la evaluación de los efectos de las viguetas de acero en el comportamiento sísmico de las

edificaciones también busca aumentar la confianza del público en el uso del sistema de viguetas de acero y promover su adopción más amplia al difundir conocimientos sobre su comportamiento sísmico. Esto contribuirá a una mayor conciencia y comprensión más completa de los beneficios y las capacidades del sistema, lo que a su vez puede fomentar su adopción en una variedad de proyectos. El estudio permite que los profesionales de la construcción tomen decisiones informadas para mejorar la seguridad y resiliencia de las estructuras en zonas sísmicas al proporcionarles la confianza necesaria para utilizar viguetas de acero de manera segura.

3.1.3. Código y nomenclatura de la UNESCO

Tabla 3

Código y nomenclatura de la UNESCO

Campo	Disciplina	Subdisciplinas
33 ciencia y tecnología	3305 tecnología de la construcción	330532. Ingeniería de estructuras

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la UNESCO

3.1.4. Diseño

Los diseños cuasiexperimentales difieren de los verdaderos experimentos en la equivalencia inicial de los grupos. Los grupos se asignan en función de la situación real, es decir, son grupos intactos. Por criterio de selección del diseño experimental debe cumplirse con la aleatoriedad, homogeneidad y representatividad, y los grupos conformados para el estudio no estarían cumpliendo con los primeros criterios por lo que se ha tomado el diseño cuasiexperimental.

El tipo de diseño es el **cuasi- experimental** porque se manipuló la variable independiente (viguetas de acero) para conocer si con la incorporación de viguetas de acero

mejora o no el comportamiento sísmico de las edificaciones. En este diseño, el grupo de tratamiento sirve como su propio control (se compara el "antes" con el "después")

Esquema de diseño:

$E^{\circ}C^{\circ}A^{\circ}$ ----- CS_1

$E^{\circ}C^{\circ}A^{\circ}$ ----- X ----- CS_2

Donde:

$E^{\circ}C^{\circ}A^{\circ}$: Estructura de concreto armado

CS_i : Comportamiento sísmico

X : Variable independiente (viguetas de acero)

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Para seleccionar una muestra, lo primero que hay que hacer es definir la unidad de análisis (individuos, organizaciones, periódicos, comunidades, situaciones, eventos, etc.). Una vez definida la unidad de análisis se delimita la población. (Hernández, 2015)

Para el estudio se ha tomado las edificaciones de la zona urbana de la Región de Huánuco puesto que allí existe la mayor concentración de edificaciones con material de concreto armado según las estadísticas del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI). La zona urbana está conformada por tres distritos: Huánuco, Amarilis y Pillco Marca de los cuales se eligió al distrito de Pillco Marca por ser éste la zona urbana más joven de reciente creación, donde viene expandiéndose y consolidándose construcciones de material noble y diseños estructurales con normas vigentes, también elegimos este distrito porque allí se encuentra la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, la más grande de la región.

Los elementos de la población además de tener características en común como la de ser estructuras de concreto armado en las que albergan a personas, todas ellas se encuentran en la

zona sísmica 2 y según la norma de diseño sismorresistente E-030 están divididas en segmentos; es decir la normativa clasifica las edificaciones según categorías, importancia y uso.

Según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) clasifica a las edificaciones en: Edificaciones Esenciales (categoría A) estando en la categoría A1 los establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) y en la categoría A2 están los establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1, además, están incluidos puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones, estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía y todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Edificaciones Importantes (categoría B) engloba a edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. Edificaciones Comunes (categoría C), considera a las viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, etc..

La zona urbana del distrito de Pillco Marca no cuenta a la fecha con edificaciones comprendidos dentro de la categoría A1, pero si cuenta con edificaciones de concreto armado de las categorías: A2 (establecimientos de salud, instituciones educativas y universidades), B (centros comerciales, establecimientos penitenciarios), C (viviendas, hoteles, restaurantes)

La población, está constituida por 2572 edificaciones de concreto armado de la zona urbana del distrito de Pillco Marca, de las cuales 16 corresponden a la categoría A2, 3 a la categoría B y 2 553 a la categoría C (ver Tabla 4). Notándose en la tabla 4 el predominio de las viviendas, seguido por las edificaciones con las que cuenta la Universidad Nacional Hermilio

Valdizán. Ahora bien, las alturas de las viviendas de concreto armado fluctúan de uno a seis niveles (ver Tabla 5)

Tabla 4

Edificaciones de la zona urbana del distrito de Pillco Marca según categorías

CATEGORÍAS		DESCRIPCIÓN (USOS)	Nº DE EDIF.	EDIF. POR CATEGORÍAS.
A2	Edificaciones Esenciales	Dos puestos de salud	2	16
		Dos Colegios	5	
		Una Universidades	9	
B	Edificaciones Importantes	Centros comerciales	1	3
		Un establecimiento penitenciario	2	
C	Edificaciones Comunes	Viviendas	2 541	2 553
		Hoteles	7	
		Restaurantes	5	
TOTAL, DE EDIFICACIONES (N)				2 572

Fuente: adaptado de <https://es.scribd.com/document/319174693/diagnostico-de-pillco-marca>

Tabla 5

Viviendas de concreto armado de la zona urbana de Pillco Marca

MATERIAL	Nº DE PISOS	Nº DE VIV.
Concreto	1 piso	1 394
	2 pisos	982
	3 a más pisos	165
TOTAL		2541

Fuente: Adaptado de <https://es.scribd.com/document/319174693/diagnostico-de-pillco-marca>

3.2.2. Muestra

Hernández (2015) afirma que la muestra, subgrupo de la población del cual se recolectan los datos debe ser representativa de ésta. Para determinar la muestra de nuestra investigación se empleó el muestreo **probabilístico** porque a cada elemento de la población se le puede determinar la probabilidad de que forme parte de la muestra.

Kaseng (2017) señala que la clasificación de la población es necesaria siempre que no sea homogénea en cuanto a sus características. El autor hace esta afirmación cuando trata de

muestras estratificadas. La población en cuestión presenta sectores clasificadas en categorías por el uso e importancia según el artículo 3.1 de la norma E-030 por lo que el procedimiento para tomar la muestra fue el **muestreo estratificado**.

El tamaño de muestra se determinó utilizando la siguiente ecuación.

$$n = \frac{z^2 N p \cdot q}{E^2 (N - 1) + z^2 p \cdot q} \quad (10)$$

$$n = \frac{1.96^2 (2572) (.50) (.50)}{.05^2 (2572 - 1) + 1.96^2 (.50) (.50)} = 334 \text{ Edificaciones}$$

N : Tamaño de la población (2572 edificaciones.)

Z : Coeficiente de confiabilidad de 1.96 para el 95% de nivel de confianza.

P y q : Son las probabilidades de éxito y fracaso que tiene cada edificación (p=q=50%)

E : Es el error seleccionado del 5%

n : Tamaño de muestra que deseamos conocer

Tabla 6

Muestra estratificada por categorías (uso)

CATEGORÍAS		DESCRIPCIÓN (USOS)	Nº DE EDIF	(Ni*n)/N	MUESTRA ESTRATIFICADA POR CATEGORÍAS
A2	Edificaciones Esenciales	Dos puestos de salud	2	0.25972	0
		Dos Colegios	5	0.6493	1
		Una Universidades	9	1.16874	1
B	Edificaciones Importantes	Centros comerciales	1	0.12986	0
		Un establecimiento penitenciario	2	0.25972	0
C	Edificaciones Comunes	Viviendas	2 541	329.974	330
		Hoteles	7	0.90902	1
		Restaurantes	5	0.6493	1
TOTAL, DE EDIFICACIONES (N)			2 572	334.26	334

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la muestra calculado nos indica que hicimos el estudio de 334 edificaciones de las cuales 330 corresponden a las viviendas y las cuatro (04) restantes distribuidos en las edificaciones de otros usos (ver Tabla 6)

De las 330 viviendas solo se estudiaron 21 (ver Tabla 7) ya que estas constan de 3 a más piso puesto que estas son las más vulnerables frente a un sismo produciéndose mayor movimiento debido a su altura.

De las 165 viviendas que poseen tres (03) a más pisos fueron elegidas 21 al azar mediante la técnica del **muestreo aleatorio simple (MAS)** además se consideraron las viviendas que cuentan con licencia de construcción.

Tabla 7

Muestra estratificada de viviendas de material noble según número de pisos



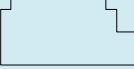
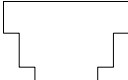

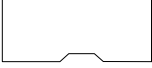




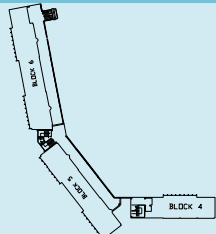
Nº DE PISOS	Nº DE VIV.	(Ni.*n.)/N	MUESTRA ESTRATIFICADA SEGÚN PISOS
1 piso	1 394	181.039	181
2 pisos	982	127.5325	128
3 a más pisos	165	21.42857	21
TOTAL (N.)	2 541	330	330

Fuente: Elaboración propia

Así que aplicamos para el caso de edificaciones esenciales el criterio por censo, tomamos como parte del análisis a 9 edificaciones cuya información técnica en cuanto a planos de las edificaciones que existen en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (UNHEVAL) se resume en la Tabla 8.

Conclusión, la muestra es **probabilística** polietápico porque aplica dos métodos para seleccionar la muestra, el estratificado y el muestreo aleatorio simple (MAS) y se ha realizado la selección en varias etapas desde grandes conglomerados hasta los elementos finales. La muestra está constituida por 9 edificaciones de la UNHEVAL más 21 viviendas de 3 a más pisos haciendo un total de 30 edificaciones.

Tabla 8*Edificaciones de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán- Huánuco-2023*

CÓD.	EDIFICACIONES POR FACULTADES	Nº DE PISOS	CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA	USO	ELEM. DE LA POB.
E-1	CEPREVAL	5		Aulas	U.A
E-2	DERECHO	4		Aulas	U.A
E-3	ENFERMERÍA Y OBSTETRICIA	3		Aulas	U.A
E-4	CC.SS CONTABLES, ARQUITECTURA, ING INDUSTRIAL Y SISTEMAS	3		Aulas	U.A
E-5	ADMINISTRACIÓN, TURISMO Y POSGRADO	5		Aulas	U.A
E-6	MEDICINA HUMANA	3		Aulas	U.A
E-7	PSICOLOGÍA	4		Aulas	U.A
E-8	ODONTOLOGÍA	4		Aulas	U.A
E-9	CIENCIAS ECONÓMICAS	6		Aulas	U.A
		3		Aulas +lab	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL (*)	3		aulas +lab	
		3		Aulas +lab	
	FACULTAD DE ODONTOLOGÍA Y LABORATORIOS DE FÍSICA Y QUÍMICA (*)	3		Aulas +lab	
		3		Aulas +lab	
		3		Aulas +lab	

Fuente: Elaboración propia

(*) No forman parte del estudio por ser este laboratorio con otras características.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 9

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNID.	TÉCNICAS INSTRUMENTOS	E
Variable Independiente Viguetas de acero	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades mecánicas, física y químicas 	Resistencia: tracción, compresión, flexión y torsión Elasticidad: módulo de elasticidad Plasticidad: ductilidad, Peso Dimensiones de la vigueta	kg/m ² kg m	Observación Ficha de registro de datos	
Variable Dependiente Comportamiento sísmico	<ul style="list-style-type: none"> Rigidez Resistencia Fuerzas inerciales 	Desplazamientos laterales Derivas Periodo de vibración según modos Cortante basal Peso sísmico	cm s Tn Tn	Simulaciones en Etabs. Observación Ficha de registro de datos	

Fuente Elaboración propia

3.4. Instrumentos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Se empleó la técnica del **modelado numérico**; específicamente, se utilizaron modelos de elementos finitos mediante programas de modelado computacional. Estos modelos fueron diseñados para simular el comportamiento de las edificaciones frente a eventos sísmicos,

Para recoger los datos se utilizó la técnica de la **observación directa** puesto que permitió observar y registrar el comportamiento de las edificaciones de la muestra antes y después de haberlas incorporado las viguetas de acero para luego comprender y registrar lo observado.

3.4.2. Instrumentos de investigación

El instrumento de recolección de datos que se empleó fue la **ficha de registro de datos de entrada** (ver Anexo 01y 03), para recopilar y anotar la información el cual sirvió como datos de entrada para el modelamiento en 3D, permitiéndonos ingresar previamente la geometría de las edificaciones, la cual fe definida a través los ejes (ver Anexo 02), las dimensiones de los elementos estructurales, las propiedades de los materiales, los parámetros sísmicos, las cargas por gravedad, las fuerzas sísmicas, cargas actuantes y los parámetros sísmicos. Y el instrumento empleado para el vaciado de los resultados fue la **ficha de registro de datos de salida o resultados** (ver Anexos 06). Para modelar, simular y analizar el comportamiento estructural de edificios bajo cargas sísmicas se utilizó el **instrumento de medición digital** ETABS que es un medio o software de análisis estructural.

3.4.3. Técnicas de procesamiento de datos

La transformación de datos crudos en información significativa se realizó a través de las técnicas: limpieza y codificación de datos, presentación de datos en tablas y gráficos (histogramas) y para resumir las características principales de los datos como media, mediana y las medidas de dispersión se hizo uso de la estadística descriptiva.

3.4.4. Técnicas de análisis e interpretación de la información.

Para la interpretación, se utilizó el programa SPSS, considerando el estadístico de contraste de prueba de T de Wilcoxon para muestras emparejadas el cual permitió demostrar la relación entre las variables de estudio. Se pudo estudiar el efecto que generó las viguetas de acero en el comportamiento sísmico del grupo de edificaciones de la muestra, cuyas conclusiones fueron inferidas a la población.

3.5. Procedimientos

Los datos técnicos de las edificaciones que fueron recogidos en las fichas de registro de datos de entrada fueron ingresados a la computadora en el programa de análisis estructural ETABS para ser procesados y obtener parámetros e información significativa, que respondan a los problemas planteados, objetivos e hipótesis.

Para el modelado de las 30 edificaciones en ETABS se consideraron las propiedades de los materiales, niveles, ejes y las secciones de los elementos estructurales los cuales fueron anotados en las fichas de recolección de datos. Las vigas y columnas se modelaron como elementos frame. Los techos, muros y losas aligerads como elementos shells, este último de tipo ribbed (nervada) y los muros de corte se definieron con walls.

Para el análisis estático, se consideraron las losas como diafragmas rígidos, se discretizaron las losas y los muros, se aplicó el criterio de brazos rígidos en la unión entre vigas y columnas, se empotró la base, definimos los casos de carga y el peso de la estructura (100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva en el caso de vivienda y para la categoría A1 y B se suma más el 50%), luego se consideró el espectro de diseño según la norma peruana E-03, asignamos cargas vivas y muertas a las losas y las cargas repartidas en el último nivel, se hizo correr el programa obteniendo los resultados de los periodos y los pesos sísmicos.

Para el análisis dinámico se definió el sismo dinámico del espectro de respuesta tanto en X como en Y, considerando tres modos de vibración por cada nivel y nueve combinaciones de carga según la Norma Técnica Peruana E.060. (2019) de Concreto Armado más una envolvente (suma de todas las combinaciones). Estas combinaciones de carga son:

1.4 DEAD+1.4 CM+1.7 LIVE+1.7 LIVE UP

1.25 DEAD+1.25 CM+1.25 LIVE+1.25 LIVE UP±1 SXD

1.25 DEAD+1.25 CM+1.25 LIVE+1.25 LIVE UP±1 SYD

0.9 DEAD+0.90 CM±1SXD

0.9 DEAD+0.90 CM±1SYD

DEAD (peso propio de la estructura), LIVE (sobrecarga según la norma), LIVE UP (sobrecarga en el último nivel), CM (peso de tabiquería + acabados + ladrillo de techo), SXD (sismo dinámico en X), SYD (sismo dinámico en Y). Finalmente, se hizo correr el programa obteniendo los resultados de derivas, cortante basal, desplazamientos laterales y participación modal.

Los resultados obtenidos del comportamiento sísmico de las edificaciones sin y con viguetas de acero fueron organizados en hojas de cálculo de Excel, luego el resumen se vació en tablas, las mismas que se cargaron al programa SPSS para realizar la prueba de la normalidad, calcular los estadígrafos de tendencia central y de dispersión luego encontrar los valores de los estadísticos de contraste para la prueba de hipótesis.

3.6. Análisis de datos

3.6.1. Estrategias de prueba de hipótesis

Para realizar la prueba de hipótesis se ha planteado en primer lugar las hipótesis nulas (H_0) y las hipótesis alternas (H_a)

En segundo lugar, se ha seleccionado el nivel de significancia $\alpha=0.05$, error máximo adoptado al momento de rechazar la hipótesis nula (H_0) cuando es verdadera.

En tercer lugar, se ha probado la normalidad de la diferencia de datos con y sin viguetas de acero a través del estadístico Shapiro Wilk el cual se aplica cuando las variables son cuantitativas y el tamaño muestral es menor o igual a 50, y si es mayor a este número usamos Kolmogorov-Smirnov. Ahora si el p-valor (valor de significancia) resulta menor que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$ entonces los datos no presentan una distribución normal por lo tanto

no se aplica la prueba paramétrica (T-de Student) sino la no paramétrica de la prueba de T de Wilcoxon.

En cuarto lugar, para probar si la hipótesis nula es verdadera se ha aplicado la prueba no paramétrica de Wilcoxon como alternativa a la prueba T de Student, debido a que los datos que fueron ingresados al software estadístico SPSS no presentaron una distribución normal. El estadístico de prueba no paramétrico de Wilcoxon o prueba de suma de rangos permitió comparar el rango medio de dos conjuntos relacionados, apareados o emparejados y determinó estadísticamente la existencia de diferencias significativas entre ellos. Cabe mencionar que en los casos prácticos se hallaron diferencias significativas comparando medianas entre los datos obtenidos antes (Me_{antes}) y después ($Me_{después}$) de haber aplicado las viguetas de acero en las edificaciones, cuya estadística queda representada de la siguiente manera:

$$H_0: Me_{después} = Me_{antes}$$

$$H_a: Me_{después} \neq Me_{antes}$$

$$T = \min(T^-, T^+) \quad (11)$$

De donde:

T^- = Suma de los rangos con signo negativo

T^+ = Suma de los rangos con signo positivo

T = Estadístico de prueba de T de Wilcoxon

A través del software estadístico SPSS se obtuvieron las sumas de rangos para diferencias positivas T(+) y la suma de rangos para diferencias negativas T(-) siendo el estadístico T de Wilcoxon la menor de las sumas en valor absoluto.

En quinto lugar, el valor obtenido con la prueba de contraste se comparó con el valor crítico (T_c) de la tabla de valores de T de Wilcoxon (ver Anexo 07) para una sola cola, rechazando la hipótesis nula si el valor de $T \leq T_c$, en caso contrario se acepta la hipótesis nula.

Como las distribuciones fueron asimétricas, las hipótesis alternas planteadas indicaron la disminución significativa de los valores de las variables y se manipuló la variable independiente entonces la prueba fue unilateral con cola hacia la izquierda.

En sexto lugar, cuando el tamaño de la muestra es lo suficientemente grande (autores sostienen para $n > 25$) se proporcionará una estadística z con un p -valor correspondiente, basado en una aproximación normal. Así que para tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0), con este criterio, comparamos el p -valor de contraste con el nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Si $p\text{-valor} < 0,05$ entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y si $p\text{-valor} > 0,05$, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna. El p -valor (valor de probabilidad que va de 0 a 1) intuitivamente es el nivel de credibilidad de H_0 el p -valor nos indica si los datos están a favor o en contra de la hipótesis nula planteada es decir si p -valor se aproxima a 1, la hipótesis nula es muy creíble porque los datos están muy a favor de la H_0 por lo tanto no la rechazamos de lo contrario cuando el p -valor es baja y se aproxima a cero rechazamos la hipótesis nula por ser poco creíble y los datos no están muy a favor de H_0 . El nivel de significación “ α ” es la probabilidad de error de tipo I en la que rechazamos la hipótesis nula cuando ésta es cierta.

A partir del nivel de significación fijado previamente y haciendo uso de la tabla (ver Anexo 07), se pudo obtener el valor crítico T_c y/o Z_c el cual divide al gráfico de distribución de probabilidad en dos regiones la zona de rechazo y la zona de aceptación. Cuando el valor de contraste cayó en una zona central de la distribución de probabilidad 0.95 (equivalente al 95%) se ha mantenido la hipótesis nula y cuando cayó fuera de esa zona, se ha rechazado la hipótesis nula y considerado la hipótesis alterna.

Finalmente se tomó la decisión conforme a las reglas descritas para determinar si se debe aceptar o rechazar las siguientes hipótesis nulas:

H₀: La incorporación de viguetas de acero en losas, no afecta el comportamiento sísmico de las edificaciones en la Región de Huánuco.

H₀: La incorporación de viguetas de acero en losas, no mejora significativamente la rigidez de las edificaciones.

H₀: La incorporación de viguetas de acero en losas, no reduce significativamente el cortante basal de las edificaciones.

H₀: La incorporación de viguetas de acero, no disminuye significativamente el peso sísmico de las edificaciones.

3.6.2. *Diseño estadístico.*

Se utilizó la estadística descriptiva para la organización y presentación de datos y las medidas de tendencia central y de dispersión los cuales permitieron describir al conjunto de datos recogidos, entregando información acerca de su posición y su dispersión, así mismo se empleó la estadística inferencial para la prueba de hipótesis y dar afirmaciones con respecto a la población a partir de la muestra.

3.7. Consideraciones éticas

Se tuvo en consideración el Código de Ética de la Universidad, de manera que se actuó en todo instante bajo principios éticos basados en la honestidad, responsabilidad y principio de justicia. La estructura de la tesis responde al Reglamento general de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

La información consultada o utilizada fue citada o referenciada, respetando de esta manera el derecho de autoría.

Los datos recolectados no fueron alterados y los resultados obtenidos no se modificaron ni se forzaron.

IV. RESULTADOS

4.1. Comportamiento Sísmico

El análisis dinámico basado en el método de espectro de respuesta y modal espectral permitió conocer el comportamiento de las estructuras bajo solicitaciones sísmicas. El modelado estructural y el análisis del comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado con y sin viguetas de acero en losas aligeradas, se realizaron con el software ETABS el cual nos proporcionó resultados detallados de las respuestas estructurales en cuanto a los periodos de vibración, los máximos desplazamientos de entrepiso medido en los centros de masas, las distorsiones angulares de entrepiso (derivadas), los cortantes basales y los pesos sísmicos, son indicadores del comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado antes y después de haber incorporado el sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas de acero galvanizado. Finalmente, con el programa SPSS a través del estadístico de prueba de Wilcoxon se compararon los resultados para determinar en qué medida la incorporación de viguetas de acero incide significativamente en el comportamiento sísmico de las edificaciones.

4.1.1. Rigidez

4.1.1.1. Periodos de vibración. Cuando el sistema se somete a una excitación, responde vibrando de una manera específica, que es apropiada y exclusiva para ese sistema en particular. Esta vibración se denomina modo de vibración del sistema y su frecuencia se denomina frecuencia natural del sistema. Cada modo tendrá una forma propia de vibración. Es decir, los modos de vibración de un edificio se refieren a las diferentes formas en que la estructura puede vibrar en respuesta a una excitación externa, como un sismo. Cada modo modal tiene su propio periodo de vibración asociado a su forma única de deformación. Toda estructura que posee masa y elasticidad son capaces de vibrar y estas vibraciones pueden ser excitadas por fuentes de sismo, viento, etc.

Tabla 10

Periodos de vibración correspondientes a los tres primeros modos, en el sistema convencional y en el sistema con viguetas de acero.

N°	Código	PERIODOS DE VIBRACIÓN (s)					
		Sistema convencional			Sistema con viguetas de acero		
		Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	E1	0.754	0.556	0.440	0.700	0.527	0.411
2	E2	1.750	1.23	0.989	1.746	1.131	0.920
3	E3	0.777	0.521	0.336	0.707	0.486	0.307
4	E4	0.528	0.424	0.400	0.475	0.38	0.362
5	E5	0.765	0.374	0.323	0.707	0.339	0.297
6	E6	0.702	0.695	0.560	0.702	0.695	0.56
7	E7	0.856	0.642	0.411	0.797	0.597	0.376
8	E8	0.558	0.307	0.279	0.525	0.288	0.255
9	E9	0.675	0.581	0.488	0.641	0.551	0.477
10	V1	0.941	0.941	0.505	0.941	0.941	0.941
11	V2	0.394	0.326	0.191	0.361	0.298	0.188
12	V3	0.794	0.614	0.380	0.697	0.538	0.349
13	V4	0.469	0.405	0.380	0.420	0.367	0.343
14	V5	0.520	0.444	0.316	0.473	0.404	0.294
15	V6	1.532	1.362	0.900	1.405	1.257	0.828
16	V7	0.584	0.507	0.331	0.530	0.462	0.309
17	V8	0.415	0.365	0.259	0.376	0.333	0.238
18	V9	0.558	0.538	0.491	0.499	0.481	0.447
19	V10	0.466	0.418	0.310	0.508	0.456	0.331
20	V11	0.405	0.373	0.349	0.366	0.345	0.322
21	V12	0.488	0.466	0.420	0.444	0.423	0.382
22	V13	0.503	0.481	0.395	0.459	0.435	0.357
23	V14	0.751	0.697	0.555	0.690	0.640	0.509
24	V15	0.543	0.470	0.384	0.498	0.437	0.368
25	V16	0.474	0.429	0.401	0.429	0.394	0.371
26	V17	0.610	0.593	0.547	0.559	0.547	0.507
27	V18	0.428	0.356	0.258	0.395	0.324	0.251
28	V19	0.552	0.407	0.317	0.513	0.38	0.296
29	V20	0.631	0.405	0.357	0.584	0.375	0.328
30	V21	0.488	0.364	0.182	0.452	0.338	0.171
Porcentaje de diferencia de medias					6.58%	6.89%	2.89%
Porcentaje de diferencia de medianas					6.99%	5.21%	7.59%

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del ETABS

De la Tabla 10 se desprende la Figura 65, de los cuales se observan que las estructuras independientemente al tipo de losa presentan mayor periodo de vibración en el modo 1 con respecto a los otros modos de vibración, lo que significa que los edificios al moverse de un lugar a otro en dirección “X” tardan más tiempo en regresar a su posición original y tienen mayor desplazamiento, lo mismo ocurrió cuando se le incorporó las viguetas de acero a las losas. Sin embargo, se puede advertir que el modo de vibración 1 del sistema de viguetas de acero presenta disminución en un 6.58% con respecto al sistema convencional.

En el modo de vibración 2, el sistema de viguetas de acero presenta disminución en un 6.89% con respecto al sistema convencional por lo que el patrón de este movimiento está en traslación pura a lo largo de la dirección “Y”

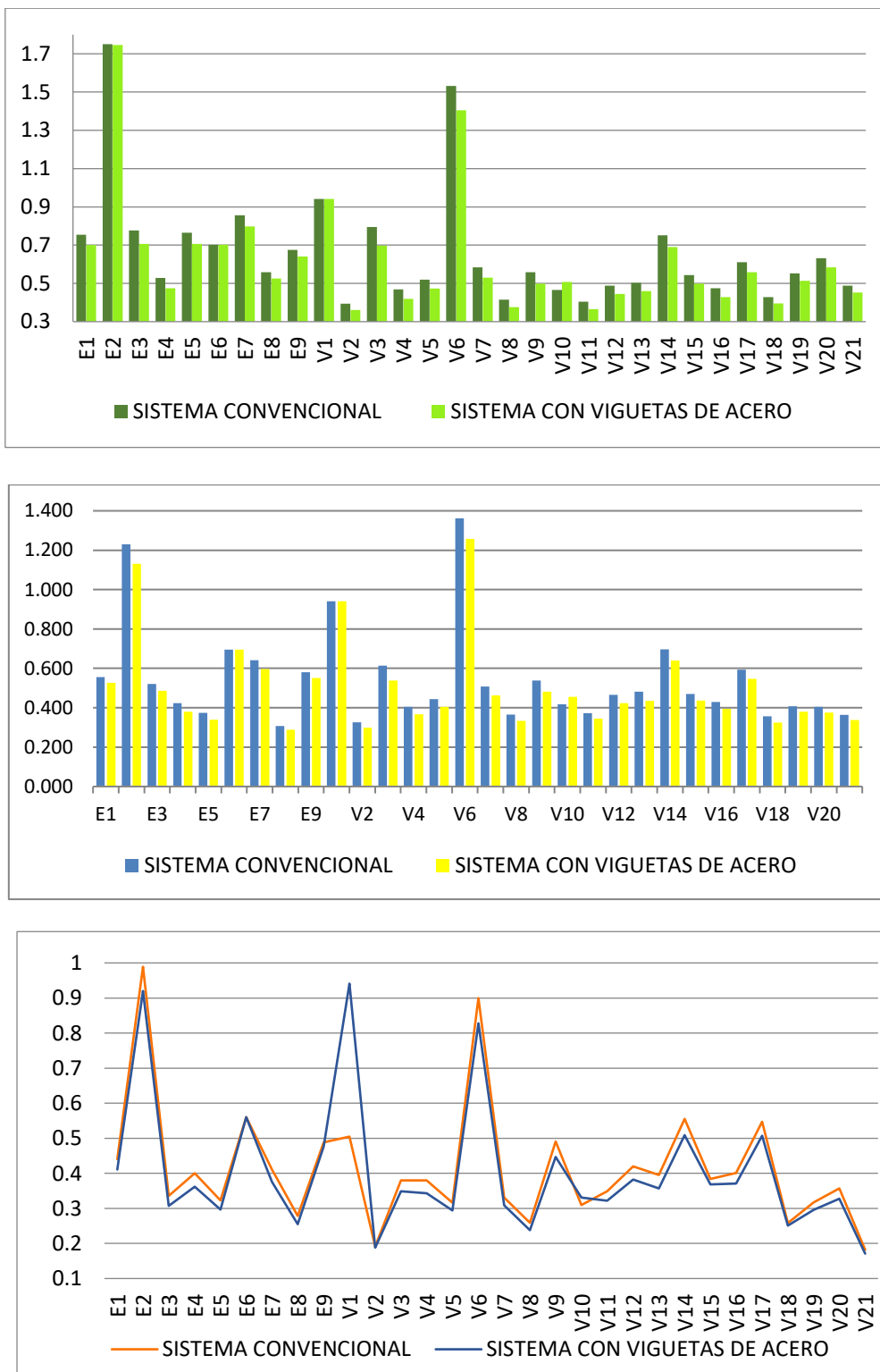
En el modo de vibración 3 se observa la reducción al 2.89% con el sistema de viguetas de acero por lo que indica que es poco probable que ocurra rotación a nivel de los pisos en torno a su centro de masa es allí en donde se localiza el centro de rigidez.

Existe diferencia de medianas de 6.99%, 5.21%, 7.59% en los modos de vibración 1, 2 y 3 respectivamente y la significancia de estas diferencias se determinó con la prueba de Wilcoxon.

En los tres modos se puede afirmar que el sistema convencional realiza mayor periodo de vibración con respecto al sistema de viguetas de acero, con este resultado también se estaría comprobando la relación directa que existe entre la masa y el periodo, es decir a mayor masa mayor periodo de vibración. Y la relación indirecta entre el periodo de vibración y la rigidez. El sistema de losa aligerada con viguetas de acero presentó menor periodo en los tres modos de vibración con respecto al sistema convencional por lo que nos indica que tiene mayor rigidez.

Figura 65

Periodos de vibración en los modos 1,2 y 3



Nota. De arriba hacia abajo periodos de vibración en los modos 1,2 y 3 respectivamente. Fuente: elaboración propia con Excel

Tabla 11*Estadígrafo de los periodos de vibración*

Modos		Modo 1		Modo 2		Modo 3	
Sistemas	Estadígrafos	Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero	Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero	Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero
		Media	.6637	.6200	.5430	.5056	.4151
Diferencia de medias		0.0437		0.0374		0.0120	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.5506	.5086	.45126	.41902	.35013	.33220
	Límite superior	.77683	.7313	.63481	.59224	.48013	.47414
Media recortada al 5%		.62217	.5780	.51274	.47813	.39769	.38626
Mediana		.5580	.5190	.4680	.4360	.3820	.3530
Diferencia de medianas		0.039		0.0244		0.029	
Varianza		.092	.089	.060	.054	.030	.036
Desviación estándar		.3030	.2983	.2458	.2319	.1740	.1900
Mínimo		.394	.36	.307	.288	.182	.171
Máximo		1.750	1.75	1.362	1.257	.989	.941
Rango		1.356	1.39	1.055	.969	.807	.770
Rango Inter cuartil		.272	.25	.201	.187	.172	.158
Asimetría		2.468	2.576	2.187	2.087	1.912	1.807
Curtosis		6.703	7.498	4.926	4.271	4.633	3.034

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del ETABS

En la Tabla 11 se presenta un resumen de los estadígrafos referentes a los periodos de vibración para cada sistema estructural, Se observa que los promedios de los periodos correspondientes a los tres primeros modos de vibración en la edificación que emplea el sistema estructural con losas aligeradas compuesto de viguetas prefabricadas de acero galvanizado son menores a los que utilizan el sistema estructural convencional, esto indica que la losa con viguetas de acero tiene una mayor rigidez lateral en comparación con el sistema de concreto armado o convencional. En todos los casos la desviación estándar es significativa en comparación con la media, podríamos decir que hay una cierta cantidad de variabilidad en los datos alrededor de la media. Hay diferencia en las medianas entre los dos sistemas, lo que indica que las ubicaciones centrales de sus datos son diferentes.

4.1.1.2. Máximos desplazamiento de entrepiso medido en los centros de masas

Tabla 12

Máximos desplazamiento de entrepiso medido en los centros de masas (cm)

N°	CÓDIGO	N° DE PISOS	SISTEMA CONVENCIONAL		SISTEMA CON VIGUETAS DE ACERO	
			X-X	Y-Y	X-X	Y-Y
1	E1	5	0.2	0.14	0.18	0.12
2	E2	4	2.54	1.96	2.33	1.8
3	E3	4	0.71	2.75	0.59	2.49
4	E4	3	1.21	0.75	0.98	0.61
5	E5	5	2.74	0.88	2.55	0.79
6	E6	3	3.00	5.45	3.00	5.45
7	E7	4	12.07	24.7	10.41	21.39
8	E8	4	1.04	3.13	9.23	2.79
9	E9	6	12.38	15.19	10.67	13.98
10	V1	4	2.54	2.54	2.54	2.54
11	V2	3	0.66	0.29	0.55	0.23
12	V3	4	1.10	1.50	0.93	1.24
13	V4	3	0.52	0.56	0.41	0.44
14	V5	3	6.94	6.94	5.52	5.52
15	V6	3	2.84	1.99	2.61	1.81
16	V7	4	7.13	8.8	5.74	7.28
17	V8	3	4.7	0.56	3.86	2.81
18	V9	4	9.24	8.86	7.38	6.94
19	V10	4	0.51	0.69	0.62	0.84
20	V11	3	4.3	5.2	3.71	4.2
21	V12	4	0.75	0.73	0.62	0.60
22	V13	3	5.27	7.32	5.29	5.95
23	V14	5	1.5	1.02	1.35	0.87
24	V15	4	5.50	6.06	0.91	5.32
25	V16	3	5.07	7.12	4.43	5.82
26	V17	5	5.07	7.12	1.22	1.29
27	V18	3	0.43	0.43	0.36	0.38
28	V19	3	0.37	0.84	0.31	0.72
29	V20	4	5.44	4.88	4.66	4.66
30	V21	3	5.09	4.27	4.3	3.6
Porcentaje de disminución de medias					12.27%	15.23%
Porcentaje de disminución de medianas					8.78%	4.91%

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del ETABS

En la Tabla 12 se observa que el sistema de losa aligerada con viguetas de acero presenta menor desplazamiento máximo en comparación al sistema convencional de losa aligerada de concreto armado. El desplazamiento máximo del sistema de losa aligerada con viguetas de acero disminuye en un promedio de 12.28% y 15.23% en la dirección “X” y “Y” respectivamente. Lo que significa que los desplazamientos máximos de entrepiso medido en los centros de masas bajo la aplicación de carga lateral provocada por un sismo, de los últimos pisos de las edificaciones del sistema convencional se ha movido más horizontalmente con respecto a su posición original. Por otro lado, se sabe que para fines de análisis dinámico el centro de masa de cada piso es el punto donde se puede considerar que está concentrada toda la masa de ese piso.

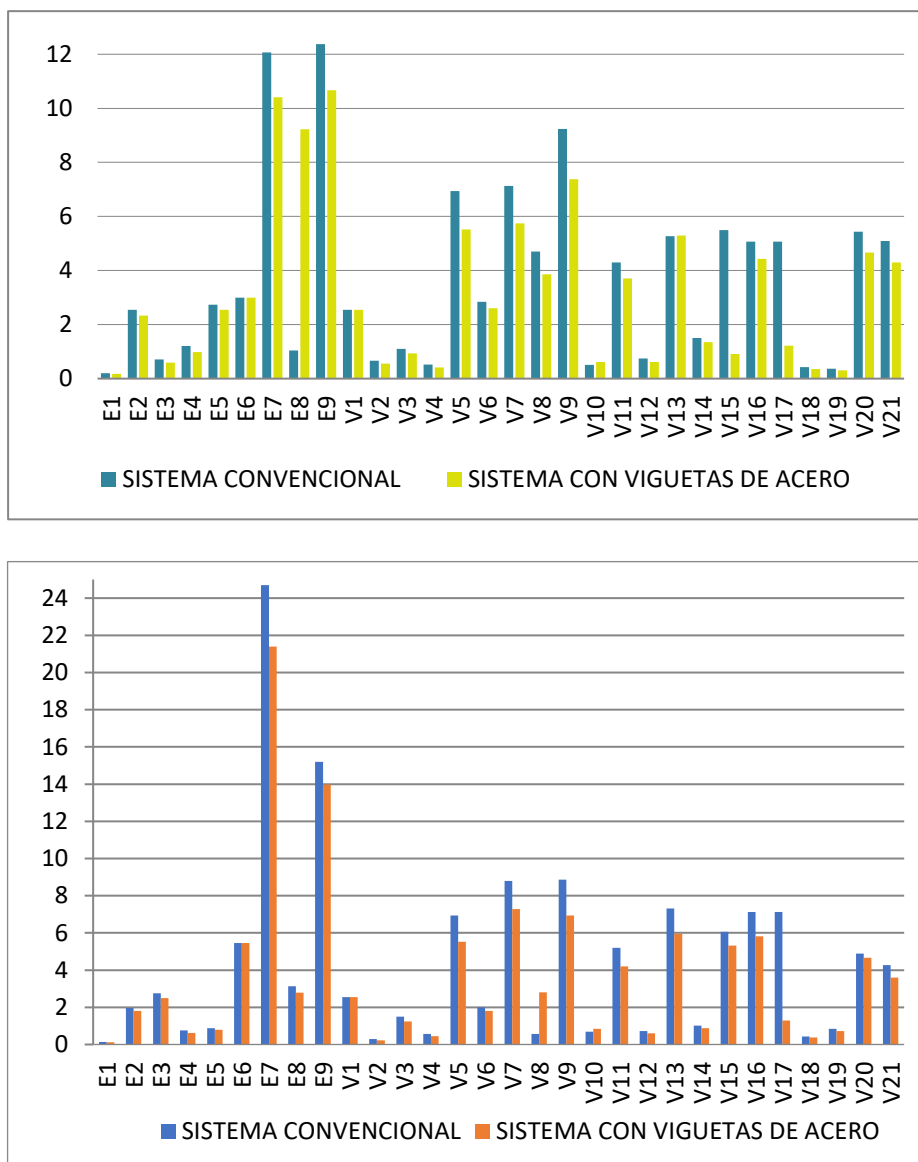
La mediana del sistema de losa aligerada con viguetas de acero disminuye en un 8.78% en la dirección “X” y 4.91% en dirección “Y” (ver Tabla 12). La disminución de la mediana sugiere que los valores centrales del conjunto de datos del sistema convencional se han desplazado hacia números más bajos después de haberlas incorporado viguetas de acero.

En la figura 66 se observa que la mayoría de las edificaciones con sistema de losa aligerada con viguetas de acero presentan menor desplazamiento lateral en comparación al sistema convencional, sin embargo, ocurre lo contrario en el pabellón de odontología (E8) en dirección “X” y en la vivienda 8 (V8) en dirección “Y”, Por lo que se puede asumir que otros factores, como la distribución de masas estén influenciando en el desplazamiento de estos edificios.

Un edificio más rígido experimenta menos deformación (o desplazamiento) bajo cargas laterales en comparación con un edificio menos rígido. En merito a esta teoría se puede asegurar parcialmente que las edificaciones con el sistema de losa aligerada con viguetas de acero presentan mayor rigidez que el sistema convencional.

Figura 66

Máximos desplazamientos de entrepiso en dirección "X" y "Y"



Nota. Arriba desplazamientos máximos en dirección "X", abajo desplazamientos máximos en dirección "Y".
Fuente: Elaboración propia con Excel.

Según la Tabla 13 Ambos sistemas tienen una asimetría positiva, lo que significa que las colas de ambas distribuciones se extienden más hacia los valores más altos. La asimetría de 1.168 del sistema convencional indica un sesgo ligeramente más pronunciado que una asimetría de 1.151 del sistema con viguetas de acero, la diferencia entre estos dos valores es sutil. En una distribución con asimetría positiva, la media tiende a ser mayor que la mediana debido a la

influencia de los valores altos en la cola derecha el cual se evidencia en la Tabla 13 para ambas direcciones y para ambos sentidos.

La curtosis de 0.603 en dirección "X" del sistema de viguetas de acero indica una distribución menos leptocúrtica o sea más aplanada que la curtosis de 0.995 del sistema tradicional, y mucho más cercana a una distribución normal en términos de la agudeza de su pico y la pesadez de sus colas. Esto implica que hay una mayor probabilidad de encontrar valores atípicos o extremos en la distribución de edificaciones sin viguetas de acero. Lo mismo ocurre en la dirección "Y".

Tabla 13

Descriptivos de los desplazamientos máximos medidos en el centro de masa

Direcciones		"X"		"Y"	
Sistemas		Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero	Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero
Estadígrafos					
Media		3.6953	3.2420	4.4223	3.7493
Diferencia de medias		0.4533		0.6730	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.4452	2.1059	2.4764	2.0733
	Límite superior	4.9454	4.3781	6.3682	5.4253
Media recortada al 5%		3.4096	3.0019	3.7070	3.1061
Mediana		2.7900	2.5450	2.6450	2.5150
Diferencia de medianas		0.245		0.13	
Desviación estándar		3.3479	3.0425	5.2113	4.4885
Mínimo		.200	.180	.140	.120
Máximo		12.380	10.670	24.700	21.390
Rango		12.180	10.490	24.560	21.270
Rango inter cuartil		4.573	4.198	6.240	4.695
Asimetría		1.168	1.151	2.393	2.570
Curtosis		.995	.603	7.361	8.086

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Derivas máximas

Tabla 14

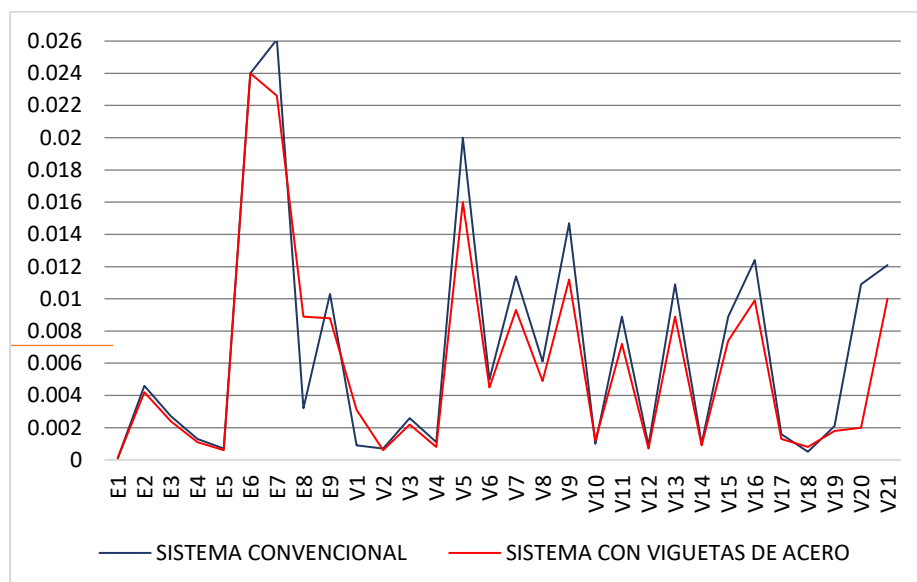
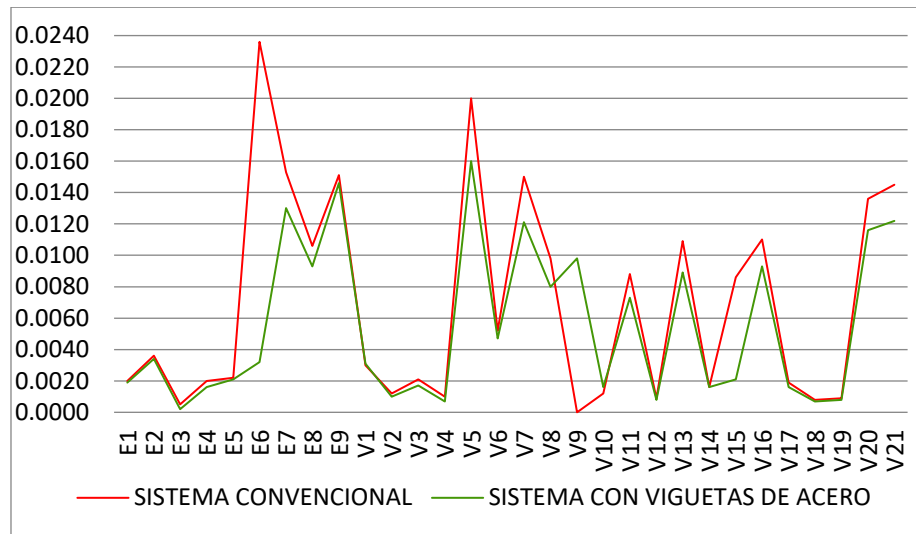
Distorsiones angulares de entrepiso (derivadas)

N°	CÓDIGO	MÁXIMO DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE ENTREPISO			
		Sistema convencional		Sistema con viguetas de acero	
		X-X	Y-Y	X-X	Y-Y
1	E1	0.0020	0.0001	0.0019	0.0001
2	E2	0.0036	0.0046	0.0034	0.0042
3	E3	0.0005	0.0027	0.0002	0.0024
4	E4	0.0020	0.0013	0.0016	0.0011
5	E5	0.0022	0.0007	0.0021	0.0006
6	E6	0.0236	0.0240	0.0032	0.0240
7	E7	0.0153	0.0261	0.0130	0.0226
8	E8	0.0106	0.0032	0.0093	0.0089
9	E9	0.0151	0.0103	0.0146	0.0088
10	V1	0.0030	0.0009	0.0031	0.0031
11	V2	0.0012	0.0007	0.0010	0.0006
12	V3	0.0021	0.0026	0.0017	0.0022
13	V4	0.0010	0.0011	0.0007	0.0008
14	V5	0.0200	0.0200	0.0160	0.0160
15	V6	0.0052	0.0050	0.0047	0.0045
16	V7	0.0150	0.0114	0.0121	0.0093
17	V8	0.0098	0.0061	0.0080	0.0049
18	V9	0.0019	0.0147	0.0098	0.0112
19	V10	0.0012	0.0010	0.0016	0.0012
20	V11	0.0088	0.0089	0.0073	0.0072
21	V12	0.0009	0.0009	0.0008	0.0007
22	V13	0.0109	0.0109	0.0089	0.0089
23	V14	0.0016	0.0010	0.0016	0.0009
24	V15	0.0086	0.0089	0.0021	0.0074
25	V16	0.0110	0.0124	0.0093	0.0099
26	V17	0.0019	0.0016	0.0016	0.0013
27	V18	0.0008	0.0005	0.0007	0.0008
28	V19	0.0009	0.0021	0.0008	0.0018
29	V20	0.0136	0.0109	0.0116	0.0020
30	V21	0.0145	0.0121	0.0122	0.0100
Porcentaje de diferencia de medias				20.98%	14.49%
Porcentaje de diferencia de medianas				0.0455%	0.0641%

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del ETABS

Figura 67

Derivas en "X" y en "Y"



Nota. Arriba deriva máxima en dirección "X", abajo deriva máxima en dirección "Y". Fuente: Elaboración propia con Excel.

En la tabla 14 se observa que el valor del promedio de las derivas máximas de las 30 edificaciones analizadas con sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas de acero galvanizado y casetones de poliestireno en comparación con el sistema convencional disminuye en un 20.98% en la dirección "X", y en un 14.49% en la dirección "Y". Lo que indica que existe una mejora significativa en su capacidad para manejar o resistir cargas

laterales por sismo sin sufrir daños importantes, lo que tiene implicaciones positivas en términos básicamente de seguridad y rigidez puesto que la relación entre la deriva de entrepiso y la rigidez de un edificio es indirecta, es decir a mayor rigidez de un edificio, menor deriva de entrepiso. Esto se debe a que un edificio más rígido puede resistir mejor las fuerzas laterales, limitando el desplazamiento horizontal entre pisos. En el diseño estructural, es esencial lograr un equilibrio entre rigidez y ductilidad, asegurando que el edificio no solo limite la deriva para proteger la estructura y mantener su funcionalidad, sino también que tenga la capacidad de deformarse de manera controlada sin llegar a un colapso, absorbiendo y disipando la energía sísmica.

En la tabla 14 también se observa, el porcentaje de disminución de la mediana de las máximas derivas del grupo de edificaciones con sistema de viguetas de acero en comparación con el sistema tradicional, este porcentaje de disminución es de 0.0455% en dirección “X” y 0.0641% en dirección “Y”. Lo que significa que, al observar el conjunto de todas las medidas de desplazamiento relativo máximo de entrepisos de las edificaciones, bajo cargas laterales por sismo, el valor que se sitúa en el punto medio de ese conjunto de edificaciones con viguetas de acero es ahora menor que antes de la incorporación del sistema no convencional.

Según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, (2018) el máximo desplazamiento relativo de entrepiso no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión), siendo el límite para edificaciones de concreto armado 0.007. Resulta que las derivas de algunas edificaciones, en ambas direcciones, sobrepasan el límite admisible contemplado en la norma (ver Figura 67); materia que queda pendiente para su revisión e investigación, motivo para otros estudios; no obstante, se puede advertir que para esta investigación se tomaron los datos tal cual figuraba en el expediente técnico de cada una de las edificaciones.

Tabla 15*Descriptivos de las derivas máximas o distorsiones*

Direcciones		"X"		"Y"	
Sistemas		Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero	Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero
Estadígrafos					
Media		.006960	.005500	.0069	.0059
Diferencia de medias		0.00146		0.001	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.004491	.003650	.004201	.003569
	Límite superior	.009429	.007344	.009579	.008258
Media recortada al 5%		.006456	.005224	.006231	.005248
Mediana		.003300	.003150	.003900	.003650
Diferencia de medianas		0.00015		0.00025	
Desviación estándar		.0066126	.0049461	.0072010	.0062784
Mínimo		.0005	.0002	.0001	.0001
Máximo		.0236	.0160	.0261	.0240
Rango		.0231	.0158	.0260	.0239
Rango intercuartil		.0102	.0078	.0100	.0079
Asimetría		.877	.697	1.254	1.551
Curtosis		-.252	-.975	.984	2.245

Fuente: Elaboración propia

De los descriptivos o estadígrafos de la Tabla 15 se puede observar los siguientes:

El estudio del promedio o media es significativo porque ofrece una visión general del comportamiento estructural ante cargas laterales de un grupo de edificaciones, permitiendo identificar tendencias, evaluar el cumplimiento de normativas de diseño, etc. en tal sentido se obtuvo 0.00696 y 0.0055 de promedios en cuanto a las derivas máximas, en dirección "X" del sistema sin y con viguetas de acero respectivamente existiendo una diferencia entre ellos de 0.00146; y en la dirección "Y" los promedios son: 0.0069 y 0,0059, cuya diferencia es de 0.001. Estos valores representan a las medias de las mayores deformaciones horizontales relativas (derivadas máximas de entrepiso) observadas en las 30 edificaciones analizadas. Los valores se obtuvieron al estudiar cómo cada una de estas edificaciones responden a cargas laterales,

producidas por sismos, enfocándose específicamente en la mayor deriva que se registra en los entrepisos de cada estructura.

Por otro lado, se muestran los valores de las curtosis del sistema sin y con viguetas de acero, siendo estas -0.252 y -0.975 respectivamente, en dirección “X”, las cuales indican que ambas distribuciones son platicúrticas o más planas que una distribución normal, pero en diferentes grados; un valor más negativo sugiere que las colas de la distribución son más ligeras y el pico central es menos agudo. Y en la dirección “Y” los valores de la curtosis 0.984 y 2.245 sin y con viguetas de acero respectivamente, indican que las distribuciones son leptocúrticas de picos más pronunciados y colas un poco más pesadas que una distribución normal.

Se observa que las distribuciones de ambos sistemas en todas sus direcciones presentan una asimetría positiva (sesgo positivo) lo que significa que las distribuciones se inclinan hacia la izquierda, con colas apuntando hacia la derecha.

En la tabla 15 también observamos que las desviaciones típicas de las máximas derivas disminuyen cuando a las edificaciones se les incorpora las viguetas de acero lo que hace indicar que los valores individuales del conjunto de datos se desvían menos con respecto a su media de esos datos.

Hay diferencia en las medianas entre los dos sistemas, lo que indica que las ubicaciones centrales de sus datos son diferentes.

La máxima deriva de entrepiso en una estructura, referido a la máxima deformación horizontal de un piso respecto al piso inmediatamente inferior, tiene una relación inversa con la rigidez de la estructura. Esto significa que a medida que la deriva de entrepiso disminuye la rigidez de una estructura aumenta y viceversa. Como la deriva máxima de entrepiso del sistema de viguetas de acero en ambos sentidos disminuye en comparación al sistema convencional se puede aseverar que aumenta la rigidez cuando se usa el sistema no convencional.

4.1.2. Cortante basal

Tabla 16

Cortante basal (tnf)

N°	CÓDIGO	ESTÁTICO				DINÁMICO			
		Sistema convencional		Sistema con viguetas de acero		Sistema convencional		Sistema con viguetas de acero	
		X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y
1	E1	173.27	218.42	141.92	141.98	15.42	18.20	12.91	15.44
2	E2	110.05	110.05	93.63	93.63	163.83	157.36	149.33	141.10
3	E3	240.81	240.81	217.52	217.52	274.75	222.42	225.75	199.77
4	E4	144.05	144.05	129.69	129.67	129.13	123.13	104.76	100.09
5	E5	271.49	347.12	217.76	285.79	228.71	276.10	202.13	202.13
6	E6	148.52	131.05	148.52	131.05	767.91	832.45	767.91	832.45
7	E7	197.50	263.85	157.18	232.54	1189.61	1356.30	982.46	1113.25
8	E8	206.19	236.59	174.06	193.87	1055.96	1055.62	862.62	865.06
9	E9	591.23	591.23	508.29	508.29	2505.10	2576.15	2150.10	2211.09
10	V1	29.60	29.60	22.76	22.76	30.97	45.70	23.76	34.56
11	V2	25.76	25.76	22.66	22.66	20.02	14.63	16.19	11.99
12	V3	27.95	27.95	26.04	26.04	26.96	25.65	22.20	22.73
13	V4	27.06	27.06	22.02	22.02	20.61	18.42	16.06	14.55
14	V5	38.79	38.79	36.40	36.40	291.95	232.05	241.16	191.49
15	V6	8.83	8.83	7.96	7.96	9.34	11.59	8.35	10.52
16	V7	40.70	40.70	37.14	37.14	303.69	384.64	249.91	317.88
17	V8	47.81	47.81	42.79	42.79	289.90	285.64	234.32	229.65
18	V9	50.02	50.02	43.63	43.63	425.72	424.67	333.82	328.60
19	V10	26.08	26.08	31.57	31.567	16.08	22.42	21.43	29.85
20	V11	25.69	25.69	30.68	30.68	221.87	216.15	178.83	172.78
21	V12	71.87	71.87	63.97	63.97	49.38	55.56	40.04	45.12
22	V13	33.81	33.81	26.06	26.06	212.50	238.08	170.30	190.56
23	V14	52.72	33.81	48.58	48.58	51.73	63.10	48.58	53.71
24	V15	72.63	72.63	65.50	65.50	478.36	463.33	400.38	389.79
25	V16	49.02	49.02	43.92	43.92	351.25	379.87	290.79	307.54
26	V17	61.72	61.72	55.78	55.78	71.78	75.55	60.00	63.60
27	V18	41.14	41.14	35.70	35.70	28.83	21.31	23.05	17.42
28	V19	23.29	23.29	21.37	21.37	20.03	17.32	17.20	14.63
29	V20	50.20	50.20	46.07	46.07	396.03	374.47	338.24	316.05
30	V21	26.43	26.43	35.43	35.43	201.84	179.46	168.34	149.60
Porcentaje de disminución de media				12.34%	12.76%			15.11%	15.48%
Porcentaje de disminución de mediana				11.60%	9.58%			23.95%	18.51%

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del ETABS

El cortante basal estático y dinámico se refieren a tipos de cargas diferentes y ambos son fundamentales para evaluar la capacidad resistente de las edificaciones frente a cargas habituales como las extraordinarias.

En la Tabla 16 se observa que el valor del promedio del cortante basal estático de las edificaciones de la muestra del sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas de acero galvanizado en comparación con el sistema convencional disminuye en un 12.34% en la dirección “X”, y en un 12.76% en la dirección “Y”. Ahora bien, en cuanto al promedio del cortante basal dinámico del sistema de viguetas de acero reduce en un 15.11% en la dirección “X” y en un 15.48% en la dirección “Y”. Estas reducciones implican que las estructuras con viguetas de acero, según el análisis, enfrentarán menores demandas sísmicas en términos de fuerzas horizontales es decir que las fuerzas máximas que la estructura necesita resistir en su base durante un sismo reducen. Esto puede tener un impacto positivo en la dimensión de los elementos estructurales los cuales podrían ser menores.

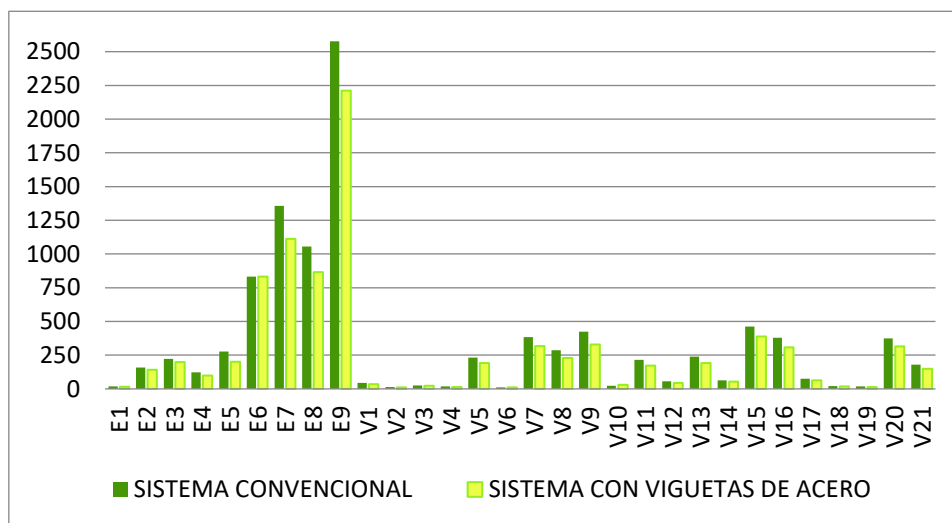
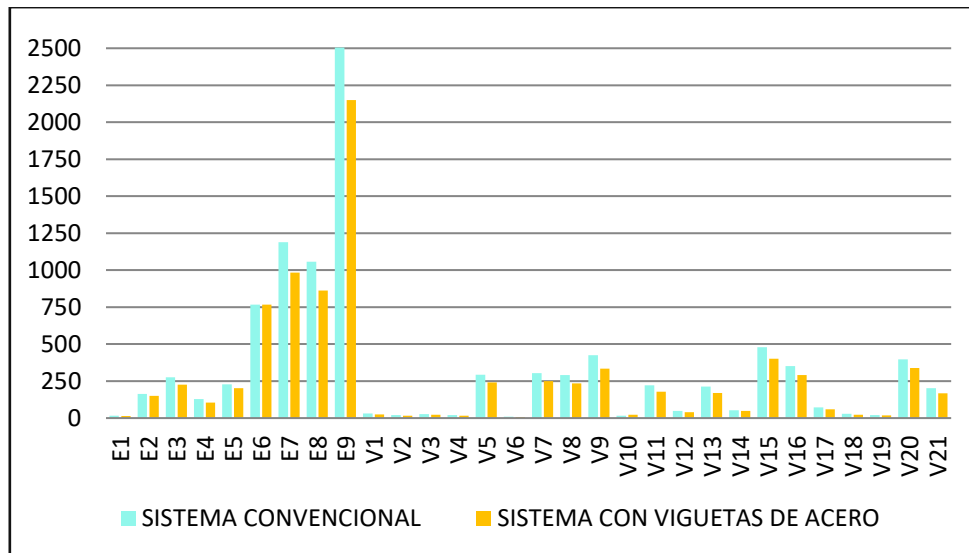
La mediana del cortante basal estático del sistema de viguetas de acero en comparación al sistema convencional reduce en un 11.60% en la dirección “X” y en un 9.58% en la dirección “Y”, también la mediana del cortante basal dinámico del sistema de viguetas de acero en contraste al sistema convencional disminuye en un 23.95% en dirección “X” y en un 18.51% en dirección “Y”. Lo que significa que el valor medio del conjunto de fuerzas sísmicas horizontales ordenados y esperados (el cortante basal) en la base de las edificaciones con viguetas de acero reducen en su valor central.

En la Figura 68 se muestra, en todas las edificaciones, que el cortante basal estático y dinámico en ambas direcciones del sistema de viguetas de acero es menor en comparación al sistema convencional. Esta reducción indica que los edificios con viguetas de acero presentan

una mayor resistencia ante la fuerza sísmica horizontal, en la condición más desfavorable a nivel de la base de la estructura, en comparación con el sistema convencional.

Figura 67

Cortante basal dinámico en direcciones "X" y "Y"



Nota. Arriba cortante basal dinámico en dirección "X", abajo cortante basal dinámico en dirección "Y". Fuente: Elaboración propia con Excel.

Es evidente que el cortante basal estático y dinámico del sistema de losa aligerada con viguetas de acero es menor que el sistema convencional lo que significa que las edificaciones necesitan resistir menos fuerzas laterales (ver Figura 68 y Tabla 17)

Tabla 17*Descriptivos de los cortantes basales*

Direcciones		"X"		"Y"	
Sistemas		Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero	Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero
Estadígrafos					
Cortante basal estático					
Media		97.1410	85.1533	103.1794	90.0122
Diferencias de medias		11.988		13.167	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	53.1187	47.7771	55.7030	50.1155
	Límite superior	141.1633	122.5296	150.6557	129.9090
Media recortada al 5%		80.2511	71.0661	85.5599	75.2051
Mediana		49.5200	43.7750	48.4150	43.7750
Diferencia de medianas		5.745		4.64	
Desviación estándar		117.8938	100.0954	127.14402	106.8454
Mínimo		8.83	7.96	8.83	7.96
Máximo		591.23	508.29	591.23	508.29
Rango		582.40	500.33	582.40	500.33
Rango inter cuartil		117.44	103.22	106.57	100.49
Asimetría		2.862	2.910	2.425	2.519
Curtosis		10.183	10.595	6.773	7.446
Cortante basal dinámico					
Media		328.3087	278.6973	338.9113	286.4333
Diferencias de medias		49.611		52.478	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	139.2430	116.6277	141.3289	117.0811
	Límite superior	517.3744	440.7670	536.4937	455.7856
Media recortada al 5%		249.3446	211.2883	255.3383	215.1396
Mediana		207.1700	169.3200	197.8050	161.1900
Diferencia de medianas		37.85		36.615	
Desviación estándar		506.3272	434.0305	529.13541	453.5336
Mínimo		9.34	8.35	11.59	10.52
Máximo		2505.10	2150.10	2576.15	2211.09
Rango intercuartil		334.08	278.71	356.22	288.44
Asimetría		3.156	3.169	3.084	3.099
Curtosis		11.779	11.886	11.035	11.148

Fuente: Elaboración propia

De los descriptivos de la Tabla 17 se puede observar los siguientes resultados:

Se obtuvieron 97.14 tnf y 85.15 tnf de promedios en cuanto al cortante basal estático, en dirección “X” del sistema sin y con viguetas de acero respectivamente, existiendo una diferencia entre ellos de 11.988 tnf; y en la dirección “Y” los promedios son: 103.18 tnf y 90.01 tnf, cuya diferencia es de 13.167 tnf. También observamos el promedio del cortante basal dinámico en la dirección “X” los cuales son 338.91 tnf y 278.69 tnf sin y con viguetas de acero respectivamente cuya diferencia es de 49.61 tnf y en dirección “Y” los promedios del sistema sin y con viguetas de acero resultaron 338.91 tnf y 286.43 tnf respectivamente, siendo la diferencia de 52.48 tnf. Estos valores representan a las medias y diferencias de los promedios de los cortantes basales observados en las 30 edificaciones analizadas.

Por otro lado, antes de realizar los análisis estadísticos probabilísticos, como pruebas de hipótesis, es importante evaluar la distribución y las características de los datos. La asimetría y la curtosis, por ejemplo, nos informan sobre la normalidad de la distribución de los datos, lo cual es requisito para muchas pruebas estadísticas. Así que a continuación se muestran los valores de las curtosis del cortante basal estático y dinámico del sistema sin y con viguetas de acero, en ambas direcciones, siendo estos valores altos, los cuales andan en el orden de 6 y 11 de curtosis lo que indican que son distribuciones muy leptocúrticas presentando colas mucho más pesadas y un pico central más agudo en comparación con una distribución normal cuya curtosis es de 3. También se observa que las distribuciones de ambos sistemas en todas sus direcciones presentan una asimetría positiva (sesgo positivo) lo que significa que las distribuciones se inclinan hacia la izquierda, con colas apuntando hacia la derecha.

En la tabla 17 también observamos que las desviaciones típicas de los cortantes basales del sistema de viguetas de acero disminuyen en comparación al sistema convencional, lo que hace indicar que los valores individuales del conjunto de datos se desvían menos con respecto

a su media de esos datos. Hay diferencia en las medianas entre los dos sistemas, lo que indica que las ubicaciones centrales de sus datos son diferentes.

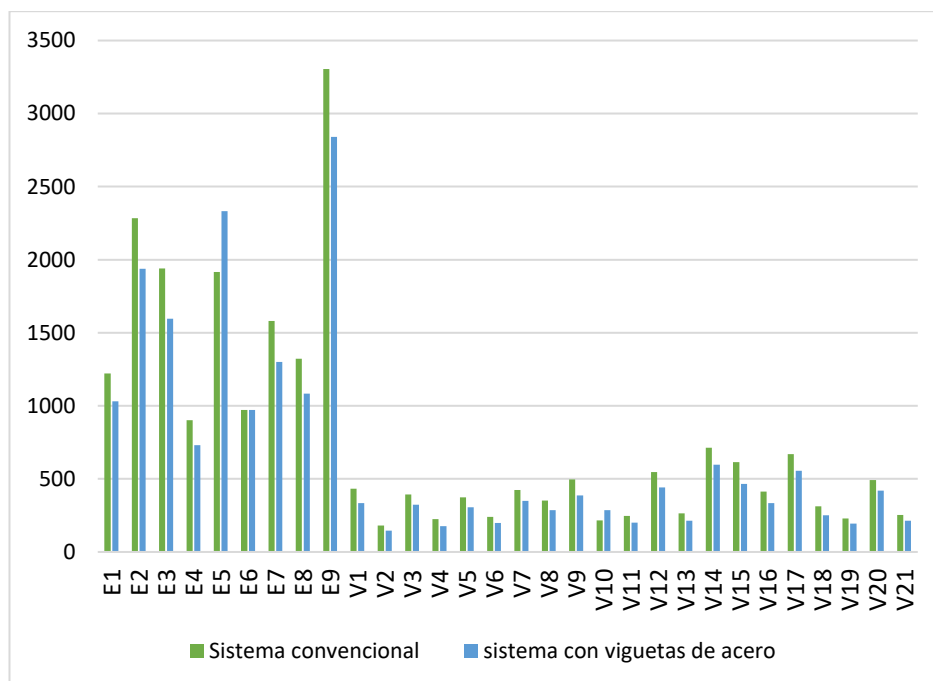
4.1.3. Pesos sísmicos de las estructuras

Tabla 18

Pesos sísmicos de las edificaciones

N°	CÓD.	N° de pisos	PESOS (Ton)	
			Sistema convencional	Sistema con viguetas de acero
1	E1	5	1220.70	1031.00
2	E2	4	2283.2	1938.20
3	E3	4	1941.00	1595.40
4	E4	3	901.72	730.35
5	E5	5	1916.00	2332.20
6	E6	3	971.08	971.08
7	E7	4	1580.50	1299.60
8	E8	4	1322.20	1083.40
9	E9	6	3304.10	2840.60
10	V1	4	433.44	333.25
11	V2	3	180.50	145.46
12	V3	4	393.68	322.78
13	V4	3	225.67	176.98
14	V5	3	373.14	306.17
15	V6	3	240.58	198.98
16	V7	4	423.65	350.05
17	V8	3	352.82	286.13
18	V9	4	496.40	387.16
19	V10	4	216.15	285.21
20	V11	3	247.08	199.71
21	V12	4	545.77	441.96
22	V13	3	264.61	212.71
23	V14	5	713.52	596.08
24	V15	4	613.70	466.41
25	V16	3	413.19	335.10
26	V17	5	669.56	554.6
27	V18	3	313.14	250.74
28	V19	3	228.60	194.92
29	V20	4	492.89	418.71
30	V21	3	254.20	213.01
Porcentaje de diferencia de medias			12.9%	
Porcentaje de diferencia de medianas			20.42%	

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del ETABS

Figura 68*Pesos sísmicos de las edificaciones*

Fuente: Elaboración propia con Excel.

El peso sísmico promedio de las edificaciones del sistema convencional es 784.426 tn y el peso sísmico promedio de las edificaciones con el sistema de losa aligerada con viguetas de acero es 683.265 tn; haciendo la comparación de estos valores podemos decir que el peso sísmico promedio de la estructura del sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas de acero galvanizado es mucho menor que el del sistema convencional, siendo la diferencia total de 101.161 tn. (ver Tabla 19) es decir reduce en un 12,9% (ver Tabla 18). Al tener los edificios menos peso sísmico significa que hay menos masa que mover, por lo tanto, las fuerzas generadas por el movimiento sísmico son menores. Los edificios más pesados experimentarán mayores fuerzas de inercia bajo la misma aceleración sísmica.

En la figura 68 se observa que los pesos sísmicos de las edificaciones del sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas de acero galvanizado son mucho menores que las estructuras del sistema convencional, aunque en la vivienda 10 (V10) sucede lo contrario siendo éste un dato atípico.

La mediana del sistema convencional es 463.17 tn y del sistema de losa aligerada con viguetas de acero es 368.61 tn, cuya diferencia entre ambos sistemas es 94.56 tn (ver Tabla 19), existiendo una diferencia del 20.42% (ver Tabla 18). La mediana del sistema de losa aligerada con viguetas de acero es menor que la mediana del sistema convencional lo que significa que el valor que se encuentra en el punto medio del conjunto de datos ordenados del sistema no convencional es inferior al valor medio del conjunto de datos ordenados del sistema convencional.

Tabla 19

Descriptivos de los pesos sísmicos de las edificaciones

Sistemas		Sin viguetas de acero	Con viguetas de acero
Estadígrafos			
Media		784.426	683.265
Diferencias de medias		101.161	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	505.2235	427.194
	Límite superior	1063.6291	939.3351
Media recortada al 5%		696.2412	602.1222
Mediana		463.1650	368.6050
Diferencia de medianas		94.56	
Desviación estándar		747.72	685.77
Mínimo		180.50	145.46
Máximo		3304.10	2840.60
Rango		3123.60	2695.1400
Rango inter cuartil		771.4775	744.7525
Asimetría		1.876	1.866
Curtosis		3.484	2.995

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19 se observan los siguientes descriptivos:

El valor de la desviación estándar de 685.77 tn indica una variabilidad menor en comparación con el primer conjunto de datos. Los valores en este conjunto tienden a estar más cerca de la media, con una dispersión promedio de 685.77 tn unidades respecto a ella. Aunque

sigue siendo una medida de dispersión considerable, es menor a 747.72 tn la del sistema convencional lo que indica que los datos están más agrupados alrededor de su media.

Una asimetría de 1.87 es positiva, lo que significa que la cola de la distribución de los datos se extiende más hacia los valores mayores. En otras palabras, hay una extensión más larga o una cola hacia el lado derecho de la distribución. Una curtosis de 3.48 indica una distribución ligeramente más aguda y con colas más pesadas que la normal, mientras que una curtosis de 2.99 sugiere una distribución muy cercana a la normal en términos de la forma de su cúspide y el peso de las colas.

La reducción del peso sísmico de 30 edificaciones es un resultado que puede tener múltiples causas y consecuencias, muchas de las cuales reflejan avances positivos en la tecnología de materiales, diseño estructural, consideraciones sísmicas y sostenibilidad contribuyendo a una menor huella de carbono debido a que se requiere menos recurso para su construcción.

4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

H₀: La incorporación de viguetas de acero en losas no afecta significativamente el comportamiento sísmico de las edificaciones en la Región de Huánuco.

H_a: La incorporación de viguetas de acero en losas afecta significativamente el comportamiento sísmico de las edificaciones en la Región de Huánuco.

La hipótesis principal quedó probada a través de la contrastación de las tres hipótesis secundarias, para ello se ha aplicado la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas la cual permitió comparar los resultados obtenidos del antes y después de la incorporación de las viguetas de acero a un mismo conjunto de edificaciones de la muestra.

4.2.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

H₀: La incorporación de viguetas de acero en losas, no mejora significativamente la rigidez de las edificaciones.

H_a: La incorporación de viguetas de acero en losas, mejora significativamente la rigidez de las edificaciones.

A continuación, se logra probar la reducción de los periodos de vibración, la disminución de los desplazamientos máximos medidos en el centro de masa y la reducción de la distorsión o deriva de entrepiso con la aplicación de viguetas de acero en losas por lo tanto esta nueva tecnología mejora la rigidez de las edificaciones.

Hipótesis específica 1-A

H₀: La incorporación de viguetas de acero en losas, no reduce significativamente los periodos de vibración de las edificaciones.

$$H_0: Me_d \geq 0$$

H_a: La incorporación de viguetas de acero en losas, reduce significativamente los periodos de vibración de las edificaciones.

$$H_a: Me_d < 0$$

Prueba de normalidad

Tabla 20

Normalidad para periodos de vibración

Prueba de Normalidad	Shapiro-Wilk		Sig.
	Estadístico	gl	
Diferencia entre periodos de vibración sin y con viguetas de acero (modo 1)	.886	30	.004
Diferencia entre periodos de vibración sin y con viguetas de acero (modo 2)	.886	30	.004
Diferencia entre periodos de vibración sin y con viguetas de acero (modo 3)	.362	30	.000

Fuente: Elaboración propia con SPSS

El valor de significancia obtenido de las diferencias entre los periodos de vibración sin y con viguetas de acero fueron: ,004 (modo 1 y 2) y ,000 (modo 3) siendo en todos los casos el p-valor menor que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$ (ver Tabla 20) lo que indica que los datos no presentan una distribución normal por lo tanto no se aplica la prueba paramétrica (T-Student) sino la no paramétrica es decir la prueba T de Wilcoxon.

Tabla 21
Significancia para periodos de vibración

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

Modo			N	Rango promedio	Suma de rangos
1	Periodos de vibración con viguetas de acero (modo 1)	Rangos negativos	27 ^a	14.67	396.00
		Rangos positivos	1 ^b	10.00	10.00
	Periodos de vibración sin viguetas de acero (modo 1)	Empates	2 ^c		
		Total	30		
2	Periodos de vibración con viguetas de acero (modo 2)	Rangos negativos	27 ^a	14.46	390.50
		Rangos positivos	1 ^b	15.50	15.50
	Periodos de vibración sin viguetas de acero (modo 2)	Empates	2 ^c		
		Total	30		
3	Periodos de vibración con viguetas de acero (modo 3)	Rangos negativos	27 ^a	14.78	399.00
		Rangos positivos	2 ^b	18.00	36.00
	Periodos de vibración sin viguetas de acero (modo 3)	Empates	1 ^c		
		Total	30		

a. Periodos de vibración del modo 1,2 y 3: con viguetas de acero < sin viguetas de acero

b. Periodos de vibración del modo 1,2 y 3: con viguetas de acero > sin viguetas de acero

c. Periodos de vibración del modo 1,2 y 3: con viguetas de acero = sin viguetas de acero

Estadísticos de prueba^a

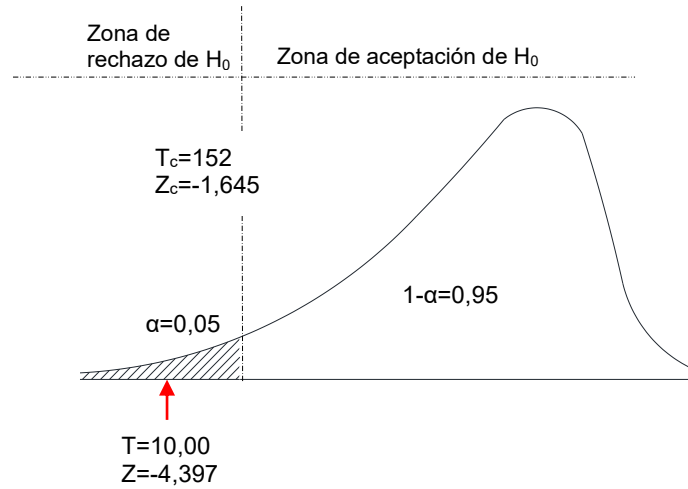
	Periodos de vibración con viguetas de acero (modo 1) - Periodos de vibración sin viguetas de acero (modo 1)	Periodos de vibración con viguetas de acero (modo 2) - Periodos de vibración sin viguetas de acero (modo 2)	Periodos de vibración con viguetas de acero (modo 3) - Periodos de vibración sin viguetas de acero (modo 3)
Z	-4.397 ^b	-4.271 ^b	-3.926 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	.000	.000	.000

Fuente: Elaboración propia con SPSS

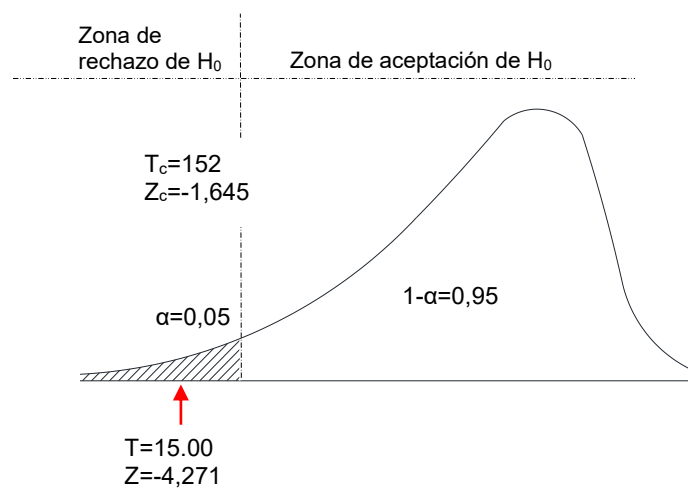
Figura 69

Curva de probabilidad de la prueba de hipótesis de periodos de vibración (modos 1,2 y 3)

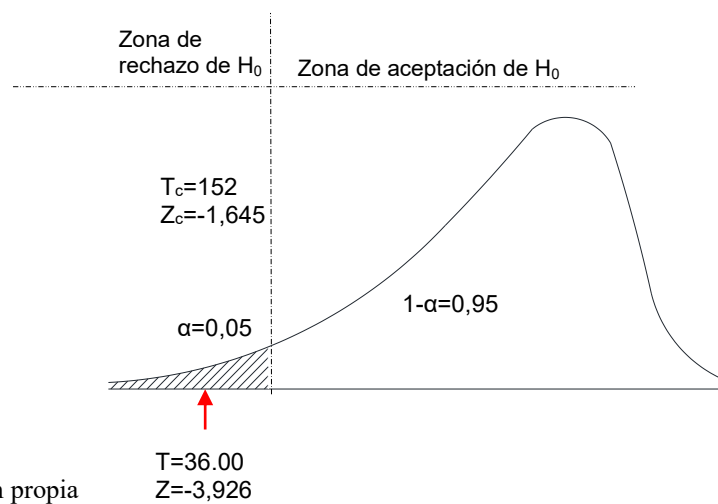
Modo 1



Modo 2



Modo 3



Fuente: Elaboración propia

Considerando un nivel de significancia del 5% y 30 grados de libertad, los valores teóricos de prueba de Wilcoxon (ver Tabla 21) determinados por $T = \min(T^-, T^+)$ resultaron:

$$T = \min(396,10) = 10.00 \text{ (modo 1)}$$

$$T = \min(390,50) = 15.50 \text{ (modo 2)}$$

$$T = \min(399,36) = 36.00 \text{ (modo 3)}$$

Los cuales son menores que el valor crítico $T_c=152$ (ver Tabla de prueba T de Wilcoxon en el anexo), recayendo estos valores en la zona de rechazo de H_0 tal como se muestran en la Figura 70

Observamos que el valor de significancia del estadístico T de Wilcoxon según el análisis resultó en todos los casos 0.000 (ver Tabla 21 de estadísticos de prueba) y es menor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$); los resultados nos brindan evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_a); por lo tanto se concluye que hay pruebas estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% que el uso de viguetas de acero en losas, disminuyen los periodos de vibración de las edificaciones.

Hipótesis específica 1-B

H_0 : La incorporación de viguetas de acero en losas, no disminuye notablemente los desplazamientos de las edificaciones.

$$H_0: Me_d \geq 0$$

H_a : La incorporación de viguetas de acero en losas, disminuye notablemente los desplazamientos de las edificaciones.

$$H_a: Me_d < 0$$

El valor de significancia obtenido de Shapiro Wilk de las diferencias entre los desplazamientos máximos medidos en el centro de masa sin y con viguetas de acero fue: ,000 tanto en "X" como en "Y" por lo que se afirma que el p-valor es menor que el nivel de significancia $\alpha= 0,05$ (ver Tabla 22) lo que indica que los datos no presentaron una distribución

normal por lo que se aplicó la prueba de hipótesis no paramétrica de T de Wilcoxon para muestras relacionadas.

Prueba de la normalidad

Tabla 22

Prueba de normalidad para desplazamientos máximos medidos en el centro de masa

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia de desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "X" (sin y con viguetas de acero)	.622	30	.000
Diferencia de desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "Y" (sin y con viguetas de acero)	.743	30	.000

Fuente: Elaboración propia con SPSS

Estadístico de prueba

Considerando un nivel de significancia del 5% y 30 grados de libertad, el valor teórico de la prueba de Wilcoxon (ver Tabla 22) determinados por $T = \min(T^-, T^+)$ resulta:

$T = \min(370.50; 35.50) = 35.50$ (para ambas direcciones) el cual es menor que el valor crítico $T_c=152$ (ver Tabla de prueba T de Wilcoxon en el anexo), recayendo este valor en la zona de rechazo de H_0 tal como se muestra en el gráfico de probabilidades (ver Figura 70).

Tabla 23

Significancia para desplazamientos máximos medidos en el centro de masa

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

		N	Rango promedio	Suma de rangos
Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "X" (con viguetas de acero) -	Rangos negativos	25 ^a	14.82	370.50
	Rangos positivos	3 ^b	11.83	35.50
Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "X" (sin viguetas de acero)	Empates	2 ^c		
	Total	30		
Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "Y" (con viguetas de acero) -	Rangos negativos	26 ^a	14.25	370.50
	Rangos positivos	2 ^b	17.75	35.50
Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "Y" (sin viguetas de acero)	Empates	2 ^c		
	Total	30		

Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "X", "Y":

- Con viguetas de acero < sin viguetas de acero.
- Con viguetas de acero > sin viguetas de acero.
- Con viguetas de acero = sin viguetas de acero.

Estadísticos de prueba^a

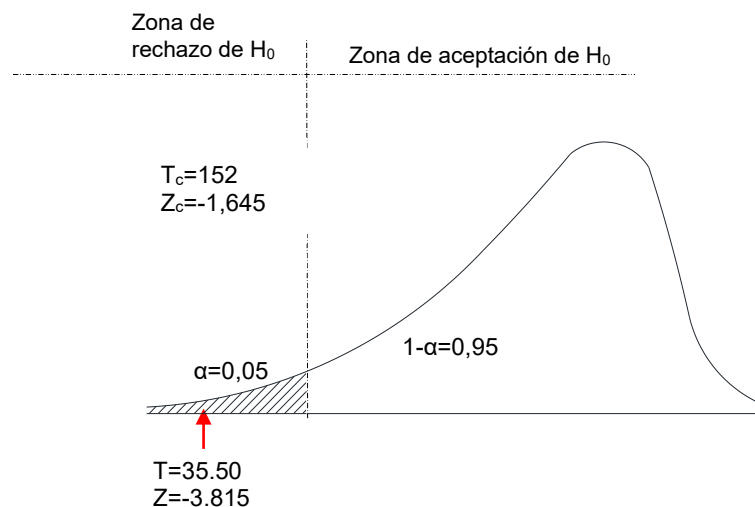
	Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "X" (con viguetas de acero) - Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "X" (sin viguetas de acero)	Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "Y" (con viguetas de acero) - Desplazamientos máximos medidos en el centro de masa en dirección "Y" (sin viguetas de acero)
Z	-3.815 ^b	-3.815 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	.000	.000

- Prueba de rangos con signo de Wilcoxon
- Se basa en rangos positivos.

Fuente: Elaboración propia con SPSS

Figura 70

Curva de probabilidad de la prueba de hipótesis de desplazamientos máximos



Fuente: Elaboración propia

Según el análisis, el valor de significancia del estadístico T de Wilcoxon resultó 0.000 (ver Tabla 23 de estadísticos de prueba) en las dos direcciones “X”, “Y”, el cual es menor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por consiguiente, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a); se concluye, con un nivel de confianza del 95%, que hay pruebas estadísticamente significativas y suficiente evidencia para afirmar que el uso de viguetas de acero en losas, disminuye los desplazamientos máximos de las edificaciones.

Hipótesis específica 1-C

H_a : La incorporación de viguetas de acero en losas, no reduce significativamente las derivas de las edificaciones.

$$H_0: Me_d \geq 0$$

H_a : La incorporación de viguetas de acero en losas, reduce significativamente las derivas de las edificaciones.

$$H_a: Me_d < 0$$

Prueba de normalidad

Tabla 24

Prueba de normalidad de las derivas máximas o distorsiones

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia de deriva máxima en dirección "X" (Sin y con viguetas de acero)	.583	30	.000
Diferencia de deriva máxima en dirección "Y" (Sin y con viguetas de acero)	.835	30	.000

Fuente: Elaboración propia con SPSS

El valor de significancia obtenido de la diferencia de derivas máximas sin y con viguetas de acero fue: ,000 en dirección "X" y el mismo resultado se obtuvo para la dirección "Y" por lo que se afirma que el p-valor es menor que el nivel de significancia $\alpha= 0,05$ (ver

Tabla 24) lo que indica que los datos no presentaron una distribución normal por lo tanto se aplicó la prueba de hipótesis no paramétrica de T de Wilcoxon.

Estadístico de prueba

Tabla 25

Significancia para derivas máximas

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

		N	Rango promedio	Suma de rangos
Deriva máxima en dirección "X" (Sistema con viguetas de acero) -	Rangos negativos	26 ^a	15.02	390.50
	Rangos positivos	3 ^b	14.83	44.50
Deriva máxima en dirección "X" (Sistema convencional)	Empates	1 ^c		
	Total	30		
Deriva máxima en dirección "y" (Sistema con viguetas de acero) -	Rangos negativos	24 ^a	14.29	343.00
	Rangos positivos	4 ^b	15.75	63.00
Deriva máxima en dirección "Y" (Sistema convencional)	Empates	2 ^c		
	Total	30		

Deriva máxima en dirección "X", "Y":

a. Sistema con viguetas de acero < Sistema convencional

b. Sistema con viguetas de acero > Sistema convencional

c. Sistema con viguetas de acero = Sistema convencional

Estadísticos de prueba^a

	Deriva máxima en dirección "X" (Sistema con viguetas de acero) - Deriva máxima en dirección "X" (Sistema convencional)	Deriva máxima en dirección "y" (Sistema con viguetas de acero) - Deriva máxima en dirección "Y" (Sistema convencional)
Z	-3.746 ^b	-3.119 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	.000	.001

Fuente: Elaboración propia con SPSS

Con un nivel de significancia del 5% y 30 grados de libertad, los valores hallados de prueba de Wilcoxon (ver Tabla 25) determinados por $T = \min(T^-, T^+)$ resultaron:

$$T = \min(390.50; 44.50) = 44.50 \text{ (en dirección "X")}$$

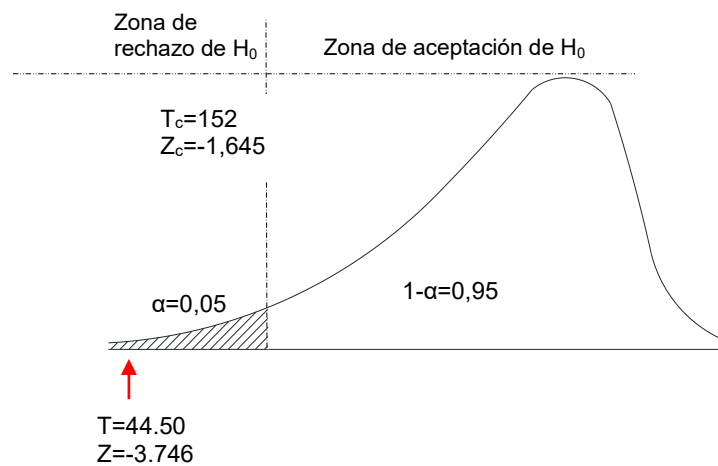
$$T = \min(343.00; 63.00) = 63.00 \text{ (en dirección "Y")}$$

Los cuales son menores que el valor crítico $T_c=152$ (ver Tabla de prueba T de Wilcoxon en el anexo), recayendo estos valores en la zona de rechazo de H_0 tal como se muestran en los siguientes gráficos (ver Figura 71)

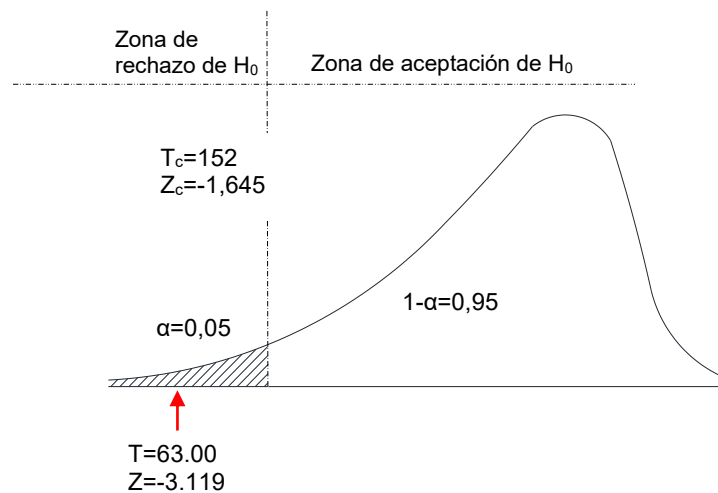
Figura 71

Curva de probabilidad de prueba de hipótesis de derivas en "X" y "Y"

En dirección "X"



En dirección "Y"



Fuente: Elaboración propia

Observamos que el valor de significancia del estadístico T de Wilcoxon según el análisis resultó en todos los casos 0.000 (ver Tabla 25 de estadísticos de prueba) el cual es menor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$); los resultados nos brindan elementos de juicio

suficientes para rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_a); por lo tanto se concluye que hay pruebas estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% que el uso de viguetas de acero en losas, disminuye las derivas máximas de las edificaciones.

Hipótesis específica 2

H₀: La incorporación de viguetas de acero en losas, no reduce significativamente el cortante basal de las edificaciones

$$H_a: Me_d \geq 0$$

H_a: La incorporación de viguetas de acero en losas, reduce significativamente el cortante basal de las edificaciones

$$H_a: Me_d < 0$$

Prueba de la normalidad

Tabla 26

Prueba de normalidad para los cortantes basales

	Estadístico	Shapiro-Wilk	
		gl	Sig.
Diferencia de cortante basal estático en "X" (con y sin viguetas de acero)	.731	30	.000
Diferencia de cortante basal estático en "Y" (con y sin viguetas de acero)	.734	30	.000
Diferencia de cortante basal dinámico en "X" (con y sin viguetas de acero)	.646	30	.000
Diferencia de cortante basal dinámico en "Y" (con y sin viguetas de acero)	.657	30	.000

Fuente: Elaboración propia con SPSS

Tabla 27*Significancia para cortantes basales*

Estadístico de prueba de rangos con signo de Wilcoxon		N	Rango promedio	Suma de rangos
Cortante basal estático en "X" (con viguetas de acero) - Cortante basal estático en "X" (sin viguetas de acero)	Rangos negativos	26 ^a	15.04	391.00
	Rangos positivos	3 ^b	14.67	44.00
	Empates	1 ^c		
	Total	30		
Cortante basal estático en "Y" (con viguetas de acero) - Cortante basal estático en "Y" (sin viguetas de acero)	Rangos negativos	25 ^a	14.88	372.00
	Rangos positivos	4 ^b	15.75	63.00
	Empates	1 ^c		
	Total	30		
Cortante basal dinámico en "X" (con viguetas de acero) - Cortante basal dinámico en "X" (sin viguetas de acero)	Rangos negativos	28 ^a	15.25	427.00
	Rangos positivos	1 ^b	8.00	8.00
	Empates	1 ^c		
	Total	30		
Cortante basal dinámico en "Y" (con viguetas de acero) - Cortante basal dinámico en "Y" (sin viguetas de acero)	Rangos negativos	28 ^a	15.25	427.00
	Rangos positivos	1 ^b	8.00	8.00
	Empates	1 ^c		
	Total	30		

Cortante basal estático y dinámico en "X", "Y":

- Con viguetas de acero < sin viguetas de acero
- Con viguetas de acero > sin viguetas de acero
- Con viguetas de acero = sin viguetas de acero

Estadísticos de prueba^a

	Cortante basal estático en "X" (con viguetas de acero) - Cortante basal estático en "X" (sin viguetas de acero)	Cortante basal estático en "Y" (con viguetas de acero) - Cortante basal estático en "Y" (sin viguetas de acero)	Cortante basal dinámico en "X" (con viguetas de acero) - Cortante basal dinámico en "X" (sin viguetas de acero)	Cortante basal dinámico en "Y" (con viguetas de acero) - Cortante basal dinámico en "Y" (sin viguetas de acero)
Z	-3.752 ^b	-3.341 ^b	-4.530 ^b	-4.530 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	.000	.001	.000	.000

- Prueba de rangos con signo de Wilcoxon
- Se basa en rangos positivos.

Fuente: Elaboración propia con SPSS

El valor de significancia obtenido de la diferencia de cortante basal estático y dinámico con y sin viguetas de acero resultó ,000 en ambas direcciones, por lo que se afirma que el p-valor es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$ (ver Tabla 26) lo que indica que los datos no presentaron una distribución normal por lo tanto se aplicó la prueba de hipótesis no paramétrica de T de Wilcoxon.

Considerando un nivel de significancia del 5% y 30 grados de libertad, los valores teóricos de prueba de Wilcoxon (ver Tabla 27) determinados por $T = \min(T^-, T^+)$ resultaron:

$$T = \min(391; 44) = 44.00 \text{ (parte 1)}$$

$$T = \min(372; 63) = 63.00 \text{ (parte 2)}$$

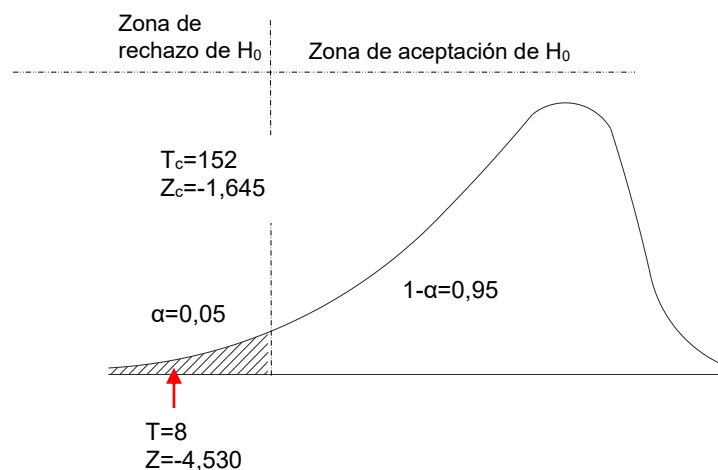
$$T = \min(427; 8.00) = 8.00 \text{ (parte 3 y 4)}$$

Los cuales son menores que el valor crítico $T_c=152$ (ver Tabla de prueba T de Wilcoxon en el anexo), recayendo estos valores en la zona de rechazo de H_0 tal como se muestran en los siguientes gráficos (ver Figura 72 y 73)

Figura 72

Curva de probabilidad de prueba de hipótesis de cortante basal dinámico en "X" y "Y"

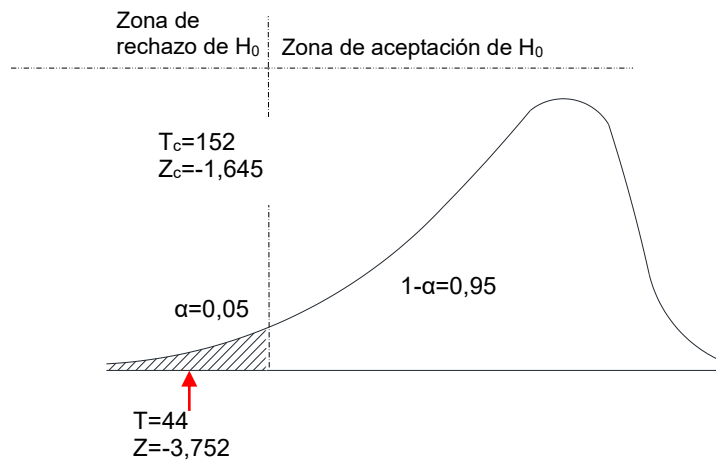
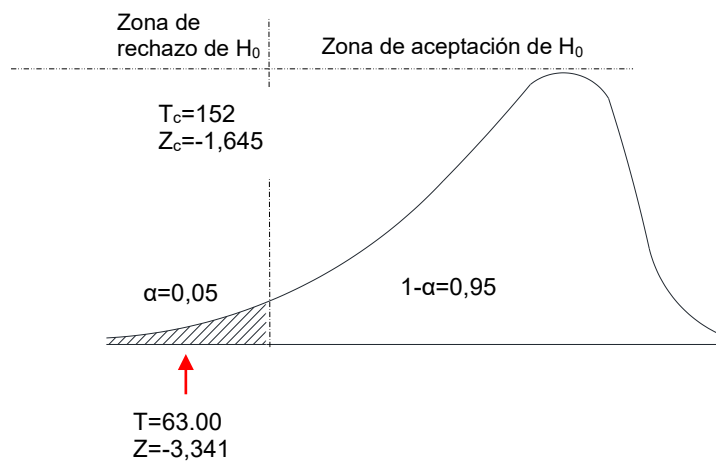
Parte 3 y 4



Fuente: Elaboración propia

Figura 73

Curva de probabilidades de prueba de hipótesis de cortante basal estático en "X" y "Y"

Parte 1**Parte 2**

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis específica 3

H₀: La incorporación de viguetas de acero en losas, no disminuye el peso sísmico de las edificaciones.

$$H_a: Me_d < 0$$

H_a: La incorporación de viguetas de acero en losas, disminuye el peso sísmico de las edificaciones.

$$H_a: Me_d < 0$$

Tabla 28

Prueba de normalidad de los pesos sísmicos de las edificaciones

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia de pesos con y sin viguetas de acero	.845	30	.000

Fuente: Elaboración propia con SPSS

El valor de significancia obtenido de la diferencia de pesos sísmicos con y sin viguetas de acero fue: 0 ,000 por lo que se afirma que el p-valor es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$ (ver Tabla 28) lo que indica que los datos no presentan una distribución normal por lo tanto se aplicó la prueba de hipótesis no paramétrica de T de Wilcoxon.

Estadístico de prueba

Tabla 29

Significancia de los pesos sísmicos de las edificaciones

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

		Rangos		Suma de rangos
		N	Rango promedio	
Peso (con viguetas de acero) - Peso (sin viguetas de acero)	Rangos negativos	27 ^a	14.67	396.00
	Rangos positivos	2 ^b	19.50	39.00
	Empates	1 ^c		
	Total	30		

a. El peso con viguetas de acero < sin viguetas de acero

b. El peso con viguetas de acero > sin viguetas de acero

c. El peso con viguetas de acero = sin viguetas de acero

Estadísticos de prueba^a

Peso (con viguetas de acero) - Peso (sin viguetas de acero)	
Z	-3.860 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	.000

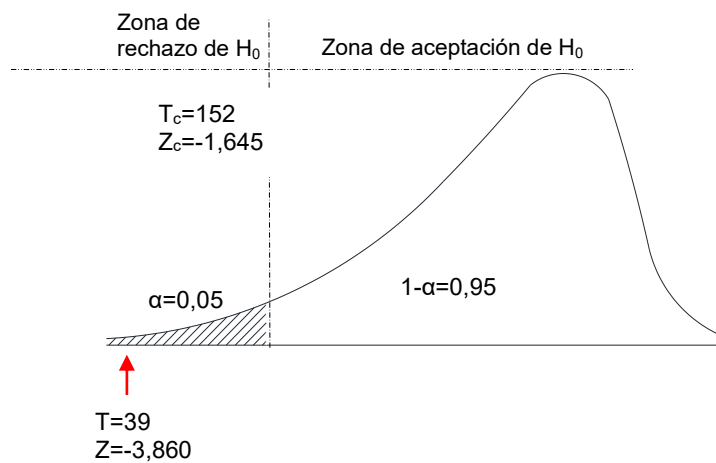
Fuente: Elaboración propia con SPSS

Considerando un nivel de significancia del 5% y 30 grados de libertad, los valores teóricos de prueba de Wilcoxon (ver Tabla 29) determinados por $T = \min(T^-, T^+)$ resultó $T = \min(396, 39) = 39$

El cual es menor que el valor crítico $T_c=152$ (ver Tabla de prueba T de Wilcoxon en el anexo), recayendo este valor en la zona de rechazo de H_0 tal como se muestra en el siguiente gráfico (ver Figura 74)

Figura 74

Curva de probabilidad de la prueba de hipótesis del peso



Fuente: Elaboración propia

Según el análisis el valor de significancia del estadístico T de Wilcoxon resultó 0.000 (ver Tabla 29 de estadísticos de prueba) menor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por consiguiente, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_a); se concluye, con un nivel de confianza del 95%, que hay pruebas estadísticamente significativas y evidencias suficientes para afirmar que el uso de viguetas de acero en losas, disminuyen los pesos sísmicos de las edificaciones.

Según los resultados obtenidos de las comparaciones de las estructuras convencionales (losa aligerada sin viguetas de acero) y sistemas con una nueva tecnología (losa aligerada con viguetas de acero) de las edificaciones de la zona de Pillco Marca, se puede concluir que la hipótesis planteada demuestra que la aplicabilidad de las viguetas de acero en las losas

aligeradas mejora significativamente el comportamiento de las edificaciones ante eventos sísmico.

Al emplear sistemas de losas aligeradas con viguetas prefabricadas de acero galvanizado, se logra reducir significativamente los periodos de vibración de la estructura. Esto conlleva a menores desplazamientos y deformaciones durante un sismo. Asimismo, se disminuye el cortante basal, lo que implica una reducción en la magnitud de las fuerzas sísmicas que la estructura debe resistir y transmitir a la cimentación. La disminución del peso sísmico, a su vez, reduce la inercia de la estructura, mejorando su capacidad para resistir las fuerzas sísmicas y disminuyendo el riesgo de daños.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo discute los hallazgos derivados de los comportamientos sísmicos realizados en edificaciones de concreto armado, considerando viguetas de acero en losas aligeradas. Los resultados han revelado varios aspectos que influyen en el comportamiento sísmico de las estructuras, que se comparan con estudios previos y se discuten a continuación.

El análisis mostró que las edificaciones con el sistema de losa aligerada con viguetas de acero presentaron una mejor rigidez bajo cargas sísmicas en cuanto al promedio de derivas máximas de las edificaciones siendo estas de 0,0055 y 0,0059 en X e Y respectivamente, también disminuyó el cortante basal y redujo el peso sísmico en un 12.9%, en comparación con el sistema tradicional. Este hallazgo es consistente con la investigación de Hidalgo y Zapata (2021) en su tesis **Propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero en el distrito de Rímac, Lima**, quienes argumentaron que la estructura con el sistema de losa aligerada vigacero ofrecía un mejor desempeño sísmico frente al sistema de losa aligerada convencional, donde hallaron una reducción del 10.32% del peso de la estructura y del cortante sísmico. Además, detectaron una mejora en el control de derivas de entrepiso de 0.0024 en “X” y 0.0018 en “Y”. En cuanto a las derivas máximas en ambas investigaciones se encontraron distorsiones angulares menores que 0.007, límite permisible según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018). Sin embargo, en cuanto al peso difiere del porcentaje manejado por Vigacero de Arcotecho, empresa que fabrica y comercializa las viguetas de acero a nivel nacional, la reducción del peso que promociona la empresa es de un 45% (ver Anexo 09). Una posible explicación para esta discrepancia podría residir en las diferencias en los modelos estructurales y el manejo de la geometría.

Por otro lado, el análisis también mostró que las edificaciones con el sistema de losa aligerada con viguetas de acero presentaron una mejor rigidez bajo cargas sísmicas en cuanto a la reducción del promedio de los periodos de vibración de las edificaciones, resultando una reducción de 6.58%, 6.89% y 2.88% en los modos 1, 2 y 3, en comparación con el sistema tradicional. Este hallazgo es coherente con la investigación de Hernandez y Tacas (2022) en su tesis **Análisis de la influencia de losas de entresijos en respuesta sísmica de los edificios multifamiliares aplicando la norma peruana**, quienes hallaron que el uso de vigacero en las losas de entresijos reduce el primer modo de vibración, con respecto a la losa aligerada tradicional en un 7.74 % (edificio el Rosario), 7.74 % (edificio Chiclayo) y 4% (edificio Quiñones). Ahora bien, en cuanto al peso con el uso del sistema de vigacero logra reducir con respecto al sistema tradicional en un 12.93% (edificio el Rosario), 11.05% (edificio Chiclayo) y 9.89% (edificio Quiñones). Y a la ratio de peso sobre el área construida para el uso de la losa aligerada tradicional es de 1.26 ton/m² mientras que en el empleo de losa vigacero es de 1.12 ton por m² de construcción, obteniendo una diferencia de 140 kg por metro cuadrado, en porcentaje resulta una reducción del 11.11%. Notándose que el promedio del primer modo de vibración de 6.49% con respecto a nuestra investigación que es de 6.58%, existe mucha aproximación. Así mismo se puede observar que el promedio de la disminución del peso según la investigación de Hernández y Taca es de 11.29% cifra que va de la mano con nuestro hallazgo del 12.9% y con el resultado de la tesis de Hidalgo y Zapata.

VI. CONCLUSIONES

El estudio permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- ✓ Las edificaciones de la zona urbana de Huánuco, después de haberlas incorporado las viguetas prefabricadas de acero galvanizado mejoraron significativamente su comportamiento sísmico; puesto que mejoraron su rigidez, redujeron el cortante basal y disminuyeron su peso sísmico.
- ✓ El sistema de losa aligerada con viguetas de acero mejoró significativamente su rigidez con respecto al sistema de concreto armado, brindando una mejor respuesta ante las cargas horizontales sísmicas es decir resultó tener mayor capacidad de resistir deformaciones bajo cargas por sismo. Esto se demuestra a través de los periodos de vibración, desplazamientos máximos y derivas de entrepiso inherentes a las estructuras, cuyos valores resultaron mucho más favorables que en aquellas que utilizaron el sistema convencional reduciéndose los periodos máximos de vibración en un promedio de 6.58%, 6.89% y 2.88% en los modos 1, 2 y 3 respectivamente, cuyos resultados se pueden visualizar en la Tabla 10 de la pág. 122, también se disminuyeron los desplazamientos en un 12.27% y 15.23% en dirección “X y “Y” respectivamente según la Tabla 12 de la pág. 126 y las derivas máximas de las edificaciones redujeron en 21.98% y 14.49% en X e Y respectivamente (ver Tabla 14 de la pág. 130). Este se explica debido a que mientras menos masa posea la estructura, menores serán sus desplazamientos; y mientras menor sea su rigidez, mayor serán estos.
- ✓ Por otro lado, el sistema de losa aligerada con viguetas de acero demostró tener mayor capacidad de resistencia ante la acción sísmica, representada a través del cortante basal, cuyos resultados fueron más favorables que los obtenidos con el sistema de concreto armado o convencional, disminuyeron significativamente en el orden de 12.34% en “X” y de 12.76% en “Y” para el estático y en un 15.11% en “X” y 15.48% en “Y” para el

dinámico como se muestra en la Tabla 16 de la pág. 135. Al reducir el cortante basal se generó una reducción de los esfuerzos a los que se encuentran sometidos cada uno de los miembros, lo que permitió optimizar la resistencia de la estructura y sugiere emplear miembros de menores dimensiones en comparación con el sistema convencional.

- ✓ El sistema de losa aligerada con viguetas de acero representó la alternativa óptima para el uso en edificaciones sismo resistentes debido a que permite la reducción del peso sísmico a un 12.9% cuyos resultados se ven reflejados en la Tabla 18 de la pág. 140 de este modo ayudan a disminuir las fuerzas inerciales que son respuestas de las edificaciones a las fuerzas sísmica y si no son controladas pueden causar daños significativos a las estructuras.

VII. RECOMENDACIONES

De los resultados y la información analizado de la presente investigación, se hacen las siguientes recomendaciones:

- ✓ Reglamentar el uso de nuevas tecnologías constructivas, puesto que su diseño estructural y la construcción, en su gran mayoría se apoyan únicamente en la pericia de los ingenieros.
- ✓ Realizar ensayos dinámicos de modelamiento y pruebas en laboratorios especializados y equipados de prototipos a escala real antes de ser aplicado en la construcción de las edificaciones.
- ✓ Examinar el comportamiento de estructuras con diseños más complejos para validar la aplicabilidad de los hallazgos de este estudio en una gama más amplia de aplicaciones estructurales.
- ✓ Estudiar las edificaciones con dimensiones de elementos estructurales teniendo en cuenta la disminución de peso por la incorporación de las viguetas de acero.

VIII. REFERENCIAS

- Allorge, L. (2021). Maison de François Coignet à Saint-Denis [Fotografía].
[.https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maison_de_Fran%C3%A7ois_Coignet_%C3%A0_Saint-Denis_en_2013_17.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maison_de_Fran%C3%A7ois_Coignet_%C3%A0_Saint-Denis_en_2013_17.jpg)
- Blanco, A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Colegio de Ingenieros del Perú
- Blanco, M. (2012). Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente. *Rev. Fac. Ing. UCV*, 27(3). https://homolog-ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000300008
- Cabrera, J. (23 de setiembre de 2020). *Resistencia vs rigidez*. Civilgeeka.com
<https://civilgeeks.com/2011/09/27/resistencia-vs-rigidez/>
- Cehopu. (2010). *Las primeras construcciones de hormigón reforzado con hierro. Hormigón Armado*.
http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/C34.php?id_tema=77#:~:text=En%20su%20intento%20por%20conseguir,de%20una%20villa%20en%20Newcastle.
- Cerrolaza, M. (Ed.). (2014). *Modelos matemático en ingeniería moderna*. Colección monografías.
- Choudhury, R. (setiembre de 2022). *Seismic Behavior of Buildings*.
<https://www.structuresinsider.com/post/seismic-behavior-of-buildings-explained>
- Christopher, A. y Reitherman, R. (1987). *Configuración y diseño sísmico de edificios*. Limusa.
- Civilarq.com. (2007). *Método de rigidez para la solución de estructuras estáticamente indeterminadas*. <https://civilarq.com/metodo-rigidez-la-solucion-estructuras-estaticamente-indeterminadas/>

- CivilGeek. (4 de noviembre de 2010). *Filosofía de diseño de edificios*.
<https://civilgeeks.com/2010/11/04/filosofia-de-diseno-de-edificios/>
- Construyendo. (2018). *Sigue estos tips de construcción cuando hagas la configuración de la vivienda*. <https://www.construyendoseguro.com/sigue-estos-tips-de-construccion-cuando-hagas-la-configuracion-de-la-vivienda/>
- Cueto, R. (2019). *Diseño de edificación multifamiliar empleando sistema de entrepisos de viguetas prefabricadas de acero en el distrito de Surquillo. Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV.
<https://hdl.handle.net/20.500.13084/3167>
- Custodio, L. (2022). *Innovación en losas aligeradas. Construyendo obras y vías*.
<https://coovias.com/innovacion-en-losas-aligeradas/>
- De la Torre, J. y Guerra, R. (2019). *Análisis comparativo del diseño sismorresistente de una edificación de albañilería confinada de cuatro niveles con dos sistemas de losa aligerada convencional versus VIGACERO en Carabayllo - 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/52370>
- Diéguez, J., Morón, M. y Casarin, M. (2015). Análisis del comportamiento estructural de edificaciones de acero sismorresistentes de gran altura, utilizando el sistema estructural Diagrid. *Revista estudiantil URU*, (2), 111-124.
https://www.academia.edu/37763519/An%C3%A1lisis_del_comportamiento_estructural_de_edificaciones_de_acero_sismorresistentes_de_gran_altura_utilizando_el_sistema_estructural_Diagrid

Domínguez, M. (2014). Períodos de vibración de las edificaciones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 8(2), 1-13. <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193932724001.pdf>

Dowrick, D. (1987). *Diseño de estructuras resistentes a sismos*. Limusa.

EERI. (1999). Earthquake Engineering Research Institute, Earthquake Spectra, Supplement a to volume 16t, August 17, 1999, Kocaeli (Izmit)

El comercio (15 de enero de 2020). *Los sismos más devastadores que ocurrieron en el Perú en los últimos años*. https://elcomercio.pe/peru/sismos-los-sismos-mas-devastadores-que-ocurrieron-en-peru-en-los-ultimos-anos-fotos-noticia/?gad_source=1&gclid=cjwkcaiamfq6bhaseiwax1jsz32sg62zvx9tkv7lwyx0mxuwpoiyp0sqqp8lpwlod5ezxaq1dgiabocgsuqavd_bwe

Elnashai, A. y Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Hong Kong. England by Antony Rowe Ltd.

Enciclopedia Wikipedia (20 de setiembre de 2017). Clasificación UNESCO. https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_Unesco

Hernandez, E. y Tacas, A. (2022). *Análisis de la influencia de losas de entrepisos en respuesta sísmica de los edificios multifamiliares aplicando la norma peruana*. Lima. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/10757/667577>

Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos [FEMA 454] (2006)

Risk Management Series. Designing for Earthquakes.
<https://www.wbdg.org/FFC/DHS/fema454.pdf>

- Ghobarah, A. (2004). *On Drift Limits Associated with different Damage Levels*. International. Slovenia: Bled.
- Gómez, R. y Maldonado, R. (17 de junio de 2005). Estudio analítico de los efectos de la torsión natural en el comportamiento de edificios de varios pisos torsionalmente desbalanceados ante sollicitaciones sísmicas. *Ingeniería y desarrollo*, 17, 160-183. <https://www.redalyc.org/pdf/852/85201709.pdf>
- Gora, D. (2014). *Influencia de la calidad de concreto, costos y tiempos en la producción de losas aligeradas y sistemas de placas colaborantes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/394>
- Grases, G., Hernandez, J., y López, O. (1987). *Edificaciones sismorresistentes. Manual de aplicación de las normas*. FONDUR.
- Guevara, T. y García, L. (2013). *Efecto de columna corta*. Cueva del Ingeniero Civil. <https://www.cuevadelcivil.com/2016/03/efecto-columna-corta-cautiva.html>
- Hernández, R. (2015). *Investigación Científica*. McGraw-Hill.
- Hidalgo, A. y Zapata, M. (2021). *Propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero en el distrito de Rímac*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4848>
- Instituto de la Construcción y Gerencia [ICG]. (Noviembre, 2014). Reglamento Nacional de Edificaciones - Estructuras.(8va ed.). Edit ICG.

- Kaseng, F. (2017). *Guía práctica para elaborar plan de tesis y tesis de post grado*. Ando educando
- Kramer, S. y Stewart, J. (2004). *Geotechnical Aspects of Seismic*. CRC Press
- López, A. (2014). *Guía para la evaluación de edificaciones existentes con fines de adecuación sísmica*. Geopolis;, Caracas: CAF. Retrieved from <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/895>
- Manzano, J. (2010). *Losa livianada*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7d224f52-1415-4010-8497-3f6948c0617f/content>
- Marte, C., Bairán, J. y Moreno, R. (2014). *Calibración de umbrales de daño sísmico para el análisis de fragilidad sísmica de estructuras de hormigón armado mediante análisis estático no lineal ("push-over")*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Cataluña]. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/2099.1/21138>
- McCormac, J. (2012). *Diseño de concreto reforzado*. Alfaomega grupo editor, S.A. de CV.
- Minor, O. (2014). *Consideraciones sobre la metodología propuesta por las normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el distrito federal 2004 para el análisis y diseño de losas planas aligeradas*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional UNAM.
- Morales, L. y Santamaría, J. (2018). *Influencia de los paneles modulares M2 en el comportamiento sismo resistente de edificaciones*. Scielo. [Tesis de maestría, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE.

file:///C:/Users/PC%20HP/Downloads/Influencia_de_los_paneles_modulares_M2_en_el_compo.pdf

Morales, R. (2015). *Diseño en Concreto Armado*. ICG.

Morocho, F. (2016). *Diseño estructural de un edificio de concreto armado de siete pisos*. [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6628>

Muñoz, A. (2020). *Ingeniería sismorresistente Borrador*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://www.studocu.com/row/document/sveuciliste-u-rijeci/construction-economics/libro-munoz-completo/17446319>

Murty, C. (2012). *Some Concepts in Earthquake Behaviour of Buildings*. Gujarat State Disaster Management Authority.

Nallely, M. (2015). El problema de licuefacción en suelos. <https://es.scribd.com/document/312433513/El-Problema-de-Licuefaccion-en-Suelos>

Nilson, A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. McGraw-Hill Interamericana S.A.

Norma Técnica E.030 (7 de diciembre de 2018) *Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones*. Diario Oficial El Peruano.

Norma Técnica E.050 (2006). *Suelos y Cimentaciones, Reglamento Nacional de Edificaciones*. Diario Oficial El Peruano.

Norma Técnica E.060 (2019). *Concreto Armado, Reglamento Nacional de Edificaciones*. Diario Oficial El Peruano.

NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá.

- Ottazzi, G. (2013). *Apuntes del Curso de Concreto Armado*. Universidad Católica del Perú.
- Pankaj, A. y Manish, S. (2006). Effect of Structural Irregularities on the Performance of RC Buildings during Earthquake. En P. A. Shrikhande., *Earthquake Resistant Design of Structures*. New Delhi- Prentice Hall.
- Paulay, T., y Priestley, M. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York. John Wiley & Sons.
- Paz, O. (9 de octubre de 1985). "Escombros y semillas". El País. https://elpais.com/diario/1985/10/10/opinion/497746806_850215.html
- Quesada, J. (27 de enero de 2018). *El terremoto y la filosofía*. El País. https://elpais.com/diario/1999/11/13/opinion/942447605_850215.html
- Quingua, D. y Reyes, A.. (2016). *Análisis técnico y económico de un nuevo sistema de losas aligeradas utilizando viguetas metálicas de plancha delgada y bloques de EPS para oficinas*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/10757/606230>
- Rodriguez, A. (2015). *Comparación del comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/482>
- Romero, A. (2016). *Diseño estructural y comparación de una edificación multifamiliar de 06 niveles usando vigas peraltadas convencionales y una edificación utilizando vigas preesforzadas en diversos ambientes*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/10757/336451>

- Romo, M. (2016). *Diseño de losas de hormigón Armado*. En Temas de hormigón armado. Escuela Politécnica del Ecuador. https://www.academia.edu/8660227/temas_cap%3%8dtulo_viii_dise%3%91o_de_losas_de_hormig%3%93n_armado
- Saavedra, C. (29 de octubre de 2016). *Verificación del cortante basal según Covenin 1756-2001*. <https://saavedraonline.wordpress.com/2016/10/29/verificacion-del-cortante-basal-segun-covenin-1756-2001/>
- Saifulla, M. y Azeem, A. (2017). *Comparative seismic performance of a conventional slab and flat slab on a bubble platform slab*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. file:///C:/Users/PC%20HP/Downloads/P2.pdf
- Sánchez, N. (2020). *Criterios estructurales para la enseñanza de los alumnos de arquitectura*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://hdl.handle.net/10757/336451sanchhttps://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/134>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción [SENCICO] (2015). *Manual de instalación de techo aligerado con viguetas prefabricadas de acero*. https://issuu.com/sencico_documentosdigitales/docs/manual_de_instalaci_oacute_n_d_e_tec
- Vielma, J. (2008). *Caracterización del comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado mediante la respuesta no lineal*. [Tesis de doctorado, Universidad Técnica de Cataluña]. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/10803/6252>

Voces, D. (16 de agosto de 2018). *Presentan vigacero, techos autosoportados, en Tarapoto.*

Diario Voces. <https://www.diariovoces.com.pe/112956/presentan-vigacero-techos-autosportados-tarapoto>

Zelaya, V. (2010). *Estudio sobre juzgamientos estándar para propiedades sismo resistentes de*

los edificios de concreto armado existentes. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional

Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV.

<https://www.udocz.com/apuntes/19406/tesis-doctoral>

IX. ANEXO

Anexo 01: Ficha de registro de datos de entrada

- a) Ficha de especificaciones de materiales.
- b) Ficha de registro de unidad de análisis
- c) Ficha de acopio de características de edificaciones

Anexo 02: Ejes de edificaciones

Anexo 03: Ficha técnica de resumen de la N.T.P. E.030-2018

Factores de Irregularidad (Ia, Ip)

Anexo 04: Resultados del comportamiento sísmico de las edificaciones sin el uso de viguetas de acero.

Anexo 05: Resultados del comportamiento sísmico de las edificaciones con el uso de viguetas de acero.

Anexo 06: Ficha de registro de datos de salida o resultados

- a) Periodos de vibración correspondiente a los tres primeros modos.
- b) Máximos desplazamiento de entrepiso medido en los centros de masas (cm), Δ (cm)
- c) Distorsiones angulares de entrepiso (derivadas)
- d) Cortante basal.
- e) Pesos de las edificaciones.

Anexo 07: Tabla de valores críticos de T para la prueba de rangos con signo de Wilcoxon

Anexo 08: Resolución ministerial de aprobación del sistema constructivo no convencional.

Anexo 09: Brochure.