



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y FALLAS ESTRUCTURALES  
POR EVENTOS CLIMÁTICOS NO CONVENCIONALES EN  
ESTRUCTURAS METÁLICAS CON COBERTURA DE MALLA  
RASCHEL EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICAS DE  
NIVEL PRIMARIA Y SECUNDARIA, PUNO-2021**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. YERSON OLIVER PONCE CHIQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**Análisis de vulnerabilidad y fallas estructurales por eventos climáticos no convencionales en estructuras metálicas con cobertura de malla Raschel en instituciones educativas públicas**

AUTOR

**yerson oliver ponce chique**

RECuento DE PALABRAS

**43678 Words**

RECuento DE CARACTERES

**239804 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**213 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 29, 2023 11:59 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 29, 2023 12:01 PM GMT-5**

### ● 9% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

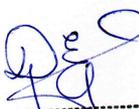
- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



**Ing. Emilio Castillo Aroni**  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 920514



**Ing. Diana E. Quinto Castiburu**  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 2061023



## DEDICATORIA

A Dios por fortalecerme en los momentos difíciles, por dirigir el rumbo de mi vida y por cuidar siempre bien de mi madre, hermanas y mi familia.

A mi madre, que siempre me ha apoyado pase lo que pase y a la vez me ha inculcado valores que siempre tendré presente.

A Ghandy que me da fortaleza en los momentos difíciles y no pudo estar presente hoy, pero sé que me guía desde donde se encuentre.

**Yerson Ponce**



## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, en particular a la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil**, que me formo para la vida y para el futuro.
- Al personal docente y administrativo de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por las enseñanzas y por el conocimiento compartido. Así mismo agradecer a los ingenieros que formaron parte del jurado dictaminador, por su ayuda para hacer posible la realización de este trabajo.
- A mis compañeros y amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por tantos momentos compartidos.

**Yerson Ponce**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 21**

**ABSTRACT..... 22**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 24**

1.1.1 Descripción de la Realidad Problemática ..... 24

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 24**

1.2.1 Elementos del Problema ..... 25

1.2.2 Pregunta General..... 25

1.2.3 Preguntas Específicas ..... 26

**1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA ..... 26**

**1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... 28**

**1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 29**

1.5.1 Objetivo General..... 29

1.5.2 Objetivos Específicos ..... 29

**1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 30**

1.6.1 Hipótesis General..... 30

1.6.2 Hipótesis Específica..... 30



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>32</b>
2.1.1 Antecedentes Internacionales .....	32
2.1.2 Antecedentes Nacionales .....	34
<b>2.2 BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>35</b>
2.2.1 Normas Técnicas.....	35
2.2.2 Tipología Estructural .....	36
2.2.3 Solicitaciones Actuantes.....	52
2.2.4 Eventos Climáticos No Convencionales en la Región de Puno.....	54
2.2.5 Análisis Estructural.....	56
2.2.6 Diseño Estructural.....	58
2.2.7 Fallas en Estructuras Metálicas.....	72
2.2.8 Inspección de estructuras metálicas.....	77
2.2.9 Vulnerabilidad .....	90

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>101</b>
3.1.1 Enfoque.....	101
3.1.2 Tipo y Nivel.....	101
<b>3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>101</b>
<b>3.3 VARIABLES.....</b>	<b>102</b>
3.3.1 Variables Independientes .....	102
3.3.2 Variables Dependientes .....	103
3.3.3 Operacionalización de variables .....	103



<b>3.4</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>104</b>
3.4.1	Población. ....	104
3.4.2	Muestra. ....	104
3.4.3	Tipo de Muestreo. ....	105
<b>3.5</b>	<b>CASOS DE ESTUDIO .....</b>	<b>105</b>
3.5.1	Descripción General .....	105
3.5.2	Elección de las Instituciones.....	105
3.5.3	Ubicación. ....	106
<b>3.6</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>110</b>
3.6.1	Descripción de la metodología de investigación .....	110
3.6.2	Instrumentos.....	111
3.6.3	Limitaciones en el Levantamiento de Información .....	121
3.6.4	Método de Evaluación de Vulnerabilidad .....	121
3.6.5	Relación entre el costo de reparación y el costo de reconstrucción.....	132
<b>3.7</b>	<b>RECOLECCIÓN DE DATOS - INDICADORES.....</b>	<b>132</b>
3.7.1	Recolección de Datos de la Variable Independiente .....	132
3.7.2	Recolección de Datos de la Variable Dependiente.....	135
<b>3.8</b>	<b>PROCESAMIENTO DE DATOS.....</b>	<b>146</b>
3.8.1	Antecedentes de Estructuras Metálicas con Cobertura de Malla Raschel. ....	146
3.8.2	Evaluación de vulnerabilidad por el método empírico. ....	148
3.8.3	Evaluación de Vulnerabilidad por el Método Analítico .....	151
3.8.4	Contraste de la Metodología con un Caso Real de Colapso. ....	170

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1</b>	<b>VULNERABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO EMPÍRICO.....</b>	<b>177</b>
------------	---	------------



4.1.1	Resultados.....	177
4.1.2	Descripción del daño con potencial de falla estructural. ....	178
<b>4.2</b>	<b>VULNERABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO ANALÍTICO.....</b>	<b>181</b>
4.2.1	I. E. S. Industrial 32. ....	181
4.2.2	I. E. S. José Carlos Mariátegui.....	183
4.2.3	I. E. S. San Antonio de Padua. ....	184
4.2.4	I. E. P. Laykakota.....	186
4.2.5	I. E. P. Gran Unidad San Carlos. ....	188
4.2.6	I. E. P. Glorioso San Carlos. ....	190
<b>4.3</b>	<b>CURVAS DE VULNERABILIDAD.....</b>	<b>192</b>
4.3.1	I. E. S. Industrial 32. ....	192
4.3.2	I. E. S. José Carlos Mariátegui.....	193
4.3.3	I. E. S. San Antonio de Padua. ....	193
4.3.4	I. E. P. Laykakota.....	194
4.3.5	I. E. P. Gran Unidad San Carlos. ....	195
4.3.6	I. E. P. Glorioso San Carlos. ....	195
<b>4.4</b>	<b>COSTO DE REPARACIÓN VS COSTO DE RECONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....</b>	<b>196</b>
<b>4.5</b>	<b>RELACIÓN ENTRE LA FUENTE DE FINANCIAMIENTO Y LA VULNERABILIDAD.....</b>	<b>198</b>
4.5.1	Mantenimiento de Locales Escolares. ....	198
4.5.2	Asociación de padres de familia. ....	199
4.5.3	Ministerio de Educación del Perú.....	199
<b>4.6</b>	<b>PROPUESTA DE DISEÑO.....</b>	<b>199</b>
<b>4.7</b>	<b>CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....</b>	<b>202</b>



<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>207</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>208</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>209</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>214</b>

**Línea de investigación:** Análisis y Diseño Estructural.

**Área:** Vulnerabilidad estructural en viviendas urbano marginales.

**Tema:** Análisis de vulnerabilidad.

**Fecha de sustentación:** 14 de junio del 2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Colapso de estructura metálica de la I.E.S. Independencia Nacional. ....	27
<b>Figura 2</b> Colapso de estructura metálica de la I.E.P. Glorioso San Carlos.....	28
<b>Figura 3</b> Elementos de un sistema típico de cubierta con malla raschel. ....	29
<b>Figura 4</b> Pórticos Biarticulados y Biempotrados. ....	37
<b>Figura 5</b> Viga de alma abierta, también llamadas vigas macomber. ....	43
<b>Figura 6</b> Columna de celosía. ....	43
<b>Figura 7</b> Esquema de celosía Long.....	44
<b>Figura 8</b> Esquema de celosía Howe.....	44
<b>Figura 9</b> Esquema de celosía Pratt.....	44
<b>Figura 10</b> Esquema de celosía Warren .....	45
<b>Figura 11</b> Esquema de celosía Vierendeel.....	45
<b>Figura 12</b> Uniones resistentes a flexión.....	48
<b>Figura 13</b> Unión soldada articulada.....	49
<b>Figura 14</b> Uniones atornilladas articuladas.....	50
<b>Figura 15</b> Soporte sobre casquillos.....	50
<b>Figura 16</b> Unión rígida soldada .....	51
<b>Figura 17</b> Tipos de miembro a tensión. ....	62
<b>Figura 18</b> Miembros a compresión axial. ....	67
<b>Figura 19</b> Tipos de miembros a compresión.....	68
<b>Figura 20</b> Longitudes efectivas de columnas en marcos arriostrados. ....	70
<b>Figura 21</b> Marco sin arriostrar y arriostrado.....	70
<b>Figura 22</b> Valores aproximados del factor de longitud efectiva K.....	71
<b>Figura 23</b> Causas que producen fallas .....	73
<b>Figura 24</b> Fracturas de barras cilíndricas sometidas a tracción .....	76



<b>Figura 25</b> Falla por Adhesión y Cohesión .....	79
<b>Figura 26</b> Zonas donde puede ocurrir la delaminación. ....	79
<b>Figura 27</b> Perfiles de soldadura de filete deseables. ....	88
<b>Figura 28</b> Perfiles de soldadura de filete aceptables.....	88
<b>Figura 29</b> Perfiles de soldadura de filete inaceptables.....	88
<b>Figura 30</b> Niveles de desempeño.....	98
<b>Figura 31</b> Representación de la curva de capacidad.....	99
<b>Figura 32</b> Tipos de diseños no experimentales.....	102
<b>Figura 33</b> Mapa satelital de ubicación geográfica de la investigación.....	106
<b>Figura 34</b> Ubicación de la investigación. ....	107
<b>Figura 35</b> Ubicación I.E.S. Industrial 32. ....	107
<b>Figura 36</b> Ubicación IES José Carlos Mariátegui.....	108
<b>Figura 37</b> Ubicación IES San Antonio de Padua.....	108
<b>Figura 38</b> Ubicación IEP Laykakota.....	109
<b>Figura 39</b> Ubicación IEP Gran Unidad San Carlos. ....	109
<b>Figura 40</b> Ubicación IEP Glorioso San Carlos.....	110
<b>Figura 41</b> Diseño metodológico de la investigación.....	111
<b>Figura 42</b> Perfiles de soldadura de filete deseables tipo A.....	119
<b>Figura 43</b> Perfiles de soldadura de filete aceptables tipo B.....	119
<b>Figura 44</b> Perfiles de soldadura de filete inaceptables tipo C, D, E, F, G y H .....	120
<b>Figura 45</b> Registro de velocidad del viento año 2017. ....	134
<b>Figura 46</b> Registro de velocidad del viento año 2018 .....	134
<b>Figura 47</b> Fuente de financiamiento de la estructura metálica. ....	147
<b>Figura 48</b> Año de la instalación de la estructura con cobertura de malla raschel.....	148
<b>Figura 49</b> Malla raschel sombra lisa al 80%.....	153



<b>Figura 50</b> Idealización de la presión y succión del viento.....	155
<b>Figura 51</b> Idealización de la carga de nieve.....	156
<b>Figura 52</b> Idealización de la combinación de cargas. ....	157
<b>Figura 53</b> Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 001-2021. ....	158
<b>Figura 54</b> Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 002-2021. ....	159
<b>Figura 55</b> Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 003-2021. ....	159
<b>Figura 56</b> Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 004-2021. ....	159
<b>Figura 57</b> Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 005-2021. ....	160
<b>Figura 58</b> Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 006-2021. ....	160
<b>Figura 59</b> Curva ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 001-2021. ....	164
<b>Figura 60</b> Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 001-2021. ....	164
<b>Figura 61</b> Curva ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 002-2021. ....	165
<b>Figura 62</b> Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 002-2021. ....	165
<b>Figura 63</b> Curva de ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 003-2021.....	165
<b>Figura 64</b> Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 003-2021. ....	166
<b>Figura 65</b> Curva de ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 004-2021.....	166
<b>Figura 66</b> Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 004-2021. ....	166
<b>Figura 67</b> Curva de ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 005-2021.....	167
<b>Figura 68</b> Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 005-2021. ....	167
<b>Figura 69</b> Curva de ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 006-2021.....	167
<b>Figura 70</b> Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 006-2021. ....	168
<b>Figura 71</b> Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 001-2021. ....	168
<b>Figura 72</b> Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 002-2021. ....	169
<b>Figura 73</b> Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 003-2021. ....	169
<b>Figura 74</b> Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 004-2021. ....	169



<b>Figura 75</b> Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 005-2021.....	170
<b>Figura 76</b> Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 006-2021.....	170
<b>Figura 77</b> Reubicación de la estructura colapsada el año 2017.....	171
<b>Figura 78</b> Comportamiento teórico ante el incremento de velocidad del viento.....	172
<b>Figura 79</b> Comportamiento teórico ante el incremento de nieve.....	173
<b>Figura 80</b> Comportamiento teórico de la estructura ante la combinación de cargas...	174
<b>Figura 81</b> Verificación de elementos sobre esforzados.....	175
<b>Figura 82</b> Punto de colapso parcial de la estructura .....	176
<b>Figura 83</b> Relación de daño de la estructura.....	177
<b>Figura 84</b> Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 001-2021. ....	181
<b>Figura 85</b> Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 001-2021.....	182
<b>Figura 86</b> Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 002-2021. ....	183
<b>Figura 87</b> Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 002-2021.....	184
<b>Figura 88</b> Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 003-2021 .....	185
<b>Figura 89</b> Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 003-2021.....	186
<b>Figura 90</b> Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 004-2021 .....	187
<b>Figura 91</b> Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 004-2021.....	188
<b>Figura 92</b> Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 005-2021 .....	189
<b>Figura 93</b> Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 005-2021.....	190
<b>Figura 94</b> Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 006-2021 .....	191
<b>Figura 95</b> Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 006-2021.....	192
<b>Figura 96</b> Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 001-2021. ....	193
<b>Figura 97</b> Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 002-2021. ....	193
<b>Figura 98</b> Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 003-2021. ....	194
<b>Figura 99</b> Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 004-2021. ....	194



<b>Figura 100</b> Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 005-2021. ....	195
<b>Figura 101</b> Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 006-2021. ....	195
<b>Figura 102</b> Costo de reparación vs costo de reconstrucción.....	196
<b>Figura 103</b> Relación de la vulnerabilidad con la fuente de financiamiento .....	198
<b>Figura 104</b> Propuesta de configuración. ....	199
<b>Figura 105</b> dimensionamiento de vigas y columnas metálicas.....	200
<b>Figura 106</b> Modelo de propuesta en sap 2000. ....	201
<b>Figura 107</b> Verificación de ratios (demanda/capacidad) .....	201
<b>Figura 108</b> Comparación de resultados. ....	205



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tipos de soportes metálicos.....	39
<b>Tabla 2</b> Tipos de vigas metálicas.....	40
<b>Tabla 3</b> Materiales para estructuras tensadas.....	47
<b>Tabla 4</b> Cronología de precipitaciones extremas de nieve en la región de Puno.....	55
<b>Tabla 5</b> Factores de reducción de resistencia (Diseño LRFD). ....	60
<b>Tabla 6</b> Combinaciones de carga (LRFD). ....	61
<b>Tabla 7</b> Clasificación de fisuras y grietas en función a su ancho. ....	83
<b>Tabla 8</b> Criterios de aceptación en la inspección visual .....	87
<b>Tabla 9</b> Convexidad máxima. ....	87
<b>Tabla 10</b> Definición de daño.....	93
<b>Tabla 11</b> Definición de daño.....	95
<b>Tabla 12</b> Variable independiente .....	102
<b>Tabla 13</b> Variable Dependiente. ....	103
<b>Tabla 14</b> Operacionalización de variables .....	104
<b>Tabla 15</b> Instituciones educativas de nivel secundaria – autorizadas y compatibles...	105
<b>Tabla 16</b> Instituciones educativas de nivel primaria – autorizadas y compatibles. ....	106
<b>Tabla 17</b> Coordenadas UTM I.E.S. Industrial 32. ....	107
<b>Tabla 18</b> Coordenadas UTM I.E.S José Carlos Mariátegui.....	108
<b>Tabla 19</b> Coordenadas UTM I.E.S. San Antonio de Padua. ....	108
<b>Tabla 20</b> Coordenadas UTM I.E.P. Laykakota.....	109
<b>Tabla 21</b> Coordenadas UTM I.E.P. Gran Unidad Escolar San Carlos .....	109
<b>Tabla 22</b> Coordenadas UTM I.E.P. Glorioso san Carlos. ....	110
<b>Tabla 23</b> Escala de evaluación de la inspección visual de pintura. ....	114
<b>Tabla 24</b> Escala de evaluación de la inspección visual de malla raschel.....	115



<b>Tabla 25</b> Escala de evaluación de la inspección del sistema de funcionamiento. ....	115
<b>Tabla 26</b> Escala de evaluación de la inspección visual de la base de concreto. ....	116
<b>Tabla 27</b> Escala de evaluación de la inspección visual del anclaje. ....	116
<b>Tabla 28</b> Escala de evaluación de la inspección visua.....	117
<b>Tabla 29</b> Criterios de aceptación en la inspección visual de soldadura.....	118
<b>Tabla 30</b> Convexidad máxima. ....	118
<b>Tabla 31</b> Estado de daño cero. ....	122
<b>Tabla 32</b> Estado de daño uno. ....	123
<b>Tabla 33</b> Estado de daño dos. ....	124
<b>Tabla 34</b> Estado de daño tres. ....	125
<b>Tabla 35</b> Estado de daño cuatro. ....	125
<b>Tabla 36</b> Estado de daño cinco. ....	126
<b>Tabla 37</b> Estado de daño seis. ....	127
<b>Tabla 38</b> Estado de daño siete.....	128
<b>Tabla 39</b> Estado de daño ocho. ....	128
<b>Tabla 40</b> Contenido de los arquetipos.....	129
<b>Tabla 41</b> Estados de ratio (demanda de solicitudes/capacidad de la estructura)....	130
<b>Tabla 42</b> Definición de daño estructural.....	130
<b>Tabla 43</b> Daño en relación al costo de reparación y costo de reconstrucción. ....	132
<b>Tabla 44</b> Carga máxima de nieve adoptada para la presente investigación.....	133
<b>Tabla 45</b> Datos generales. ....	135
<b>Tabla 46</b> Inspección visual en relación al daño no estructural. ....	136
<b>Tabla 47</b> Inspección visual en relación al daño estructural. ....	136
<b>Tabla 48</b> Inspección visual de soldadura: Cód. inv. 001-2021.....	137
<b>Tabla 49</b> Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 001-2021.....	137



<b>Tabla 50</b> Inspección de soldadura: Cód. inv. 002-2021.....	137
<b>Tabla 51</b> Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 002-2021.....	138
<b>Tabla 52</b> Aceptabilidad de la soldadura: Cód. inv. 003-2021.....	138
<b>Tabla 53</b> Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 003-2021.....	138
<b>Tabla 54</b> Inspección de soldadura: Cód. inv. 004-2021.....	139
<b>Tabla 55</b> Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 004-2021.....	139
<b>Tabla 56</b> Inspección de soldadura: Cód. inv. 005-2021.....	139
<b>Tabla 57</b> Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 005-2021.....	140
<b>Tabla 58</b> Inspección de soldadura: Cód. inv. 006-2021.....	140
<b>Tabla 59</b> Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 006-2021.....	140
<b>Tabla 60</b> Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 001-2021. ....	141
<b>Tabla 61</b> Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 002-2021. ....	142
<b>Tabla 62</b> Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 003-2021. ....	142
<b>Tabla 63</b> Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 004-2021. ....	143
<b>Tabla 64</b> Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 005-2021. ....	143
<b>Tabla 65</b> Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 006-2021. ....	144
<b>Tabla 66</b> Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 001-2021. ....	144
<b>Tabla 67</b> Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 002-2021. ....	145
<b>Tabla 68</b> Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 003-2021. ....	145
<b>Tabla 69</b> Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 004-2021. ....	145
<b>Tabla 70</b> Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 005-2021. ....	146
<b>Tabla 71</b> Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 006-2021. ....	146
<b>Tabla 72</b> Relación de daño - Cód. inv. 001-2021. ....	148
<b>Tabla 73</b> Relación de daño - Cód. inv. 002-2021. ....	149
<b>Tabla 74</b> Relación de daño - Cód. inv. 003-2021. ....	149



<b>Tabla 75</b> Relación de daño - Cód. inv. 004-2021. ....	150
<b>Tabla 76</b> Relación de daño - Cód. inv. 005-2021. ....	150
<b>Tabla 77</b> Relación de daño - Cód. inv. 006-2021. ....	151
<b>Tabla 78</b> Factores de forma C .....	154
<b>Tabla 79</b> Incremento de la velocidad del viento. ....	155
<b>Tabla 80</b> Incremento del espesor de nieve. ....	157
<b>Tabla 81</b> Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 001-2021. ....	161
<b>Tabla 82</b> Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 002-2021. ....	161
<b>Tabla 83</b> Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 003-2021. ....	162
<b>Tabla 84</b> Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 004-2021. ....	162
<b>Tabla 85</b> Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 005-2021. ....	163
<b>Tabla 86</b> Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 006-2021. ....	163
<b>Tabla 87</b> Porcentaje de no aceptabilidad .....	175



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>Ec</b>	: Módulo de elasticidad del concreto.
<b>F'c</b>	: Resistencia a compresión del concreto.
<b>Fy</b>	: Esfuerzo de fluencia para el acero.
<b>Vu</b>	: Fuerza cortante ultima.
<b>ØVc</b>	: Fuerza cortante nominal.
<b>δ</b>	: Deflexión central.
<b>h</b>	: Altura sobre el terreno en metros.
<b>Ph</b>	: Presión del viento a una altura h.
<b>D</b>	: Carga muerta.
<b>L</b>	: Carga viva debido a equipo y ocupación.
<b>S</b>	: Carga de nieve.
<b>R</b>	: Carga de lluvia o hielo.
<b>W</b>	: Carga de viento.
<b>CAD</b>	: Diseño asistido por computadora.
<b>LRFD</b>	: Factores de carga y resistencia.
<b>ASD</b>	: Método por esfuerzos permisibles.
<b>PES</b>	: Poliéster recubierto.
<b>PCV</b>	: Policloruro de vinilo.
<b>RNE</b>	: Reglamento Nacional de Edificaciones.
<b>Senamhi</b>	: Servicio Nacional de Meteorología del Perú.
<b>Sinpad</b>	: Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres.
<b>Ag</b>	: Área Bruta.
<b>An</b>	: Área neta.



- Pn** : Resistencia de compresión nominal.
- Pp** : Contacto de concreto.
- Ut** : Ensayos Ultrasónicos.
- Mt** : Ensayos de partícula Magnética.
- Pt** : Ensayos Penetrantes.
- Rt** : Ensayos Radiográficos.
- Qt** : Carga de diseño.



## RESUMEN

La presente investigación busca determinar la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel ante cargas de viento y nieve que rara vez suceden (anomalías), ya que medios locales de información de la ciudad de Puno han registrado eventos de fallas y colapso de este tipo de estructuras aparentemente debido a la sobrecarga de nieve y viento, en este contexto el objetivo principal de la investigación es determinar y analizar la vulnerabilidad en estructuras metálicas para advertir fallas estructurales y posibles colapsos debido a eventos climáticos no convencionales. La investigación que se aborda es de tipo correlacional, evaluando seis instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno que fueron determinadas por conveniencia. Las variables independientes son la velocidad del viento y la carga de nieve registradas en la ciudad de Puno, la variable dependiente es la vulnerabilidad estructural, los que fueron evaluados por el método empírico y analítico. El método empírico determinó un estado de daño estructural mayor en las instituciones educativas; Laykakota, José Carlos Mariátegui y San Antonio de Padua, así mismo determinó un daño estructural substancial en las instituciones educativa Glorioso San Carlos, industrial 32 y Gran unidad San Carlos, donde se logra identificar puntos sensibles de falla sujetos a propuestas de mejoramiento estructural. El método analítico determinó que el colapso parcial de la estructura se da cuando el 52% de los elementos estructurales se encuentran sobre esforzados, advirtiendo posibles colapsos ante cargas extremas de viento y nieve en las instituciones educativas; industrial 32, Laykakota, Glorioso San Carlos y José Carlos Mariátegui. Finalmente se plantea una propuesta de diseño capaz de cumplir las solicitudes estructurales ante eventos climáticos no convencionales.

**Palabras clave:** Curva de vulnerabilidad, daño estructural, estado de daño, estructuras colapsadas, vulnerabilidad analítica, vulnerabilidad empírica.



## ABSTRACT

The present research seeks to determine the vulnerability of metallic structures with raschel mesh covering to wind and snow loads that rarely occur (anomalies), since local media in the city of Puno have recorded events of failure and collapse of this type of structures apparently due to snow and wind overload. In this context, the main objective of the research is to determine and analyze the vulnerability of metallic structures in order to warn of structural failures and possible collapse due to unconventional climatic events. The research is of a correlational type, evaluating six public educational institutions of primary and secondary level in the city of Puno, which were determined by convenience. The independent variables are wind speed and snow load recorded in the city of Puno, the dependent variable is structural vulnerability, which were evaluated by the empirical and analytical method. The empirical method determined a state of major structural damage in the following educational institutions: Laykakota, José Carlos Mariátegui and San Antonio de Padua, as well as substantial structural damage in the educational institutions Glorioso San Carlos, Industrial 32 and Gran Unidad San Carlos, where sensitive points of failure subject to structural improvement proposals were identified. The analytical method determined that the partial collapse of the structure occurs when 52% of the structural elements are overstressed, warning of possible collapse under extreme wind and snow loads in the following educational institutions: Industrial 32, Laykakota, Glorioso San Carlos and José Carlos Mariátegui. Finally, a design proposal capable of meeting the structural stresses in the event of unconventional climatic events is proposed.

**Keywords:** Vulnerability curve, structural damage, damage state, collapsed structures, analytical vulnerability, empirical vulnerability.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La organización de esta investigación es la siguiente:

En el Capítulo I, Introducción. Se describen la introducción de la investigación, la formulación, la justificación y el planteamiento del problema, la hipótesis, el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación.

En el capítulo II, Revisión de literatura. En este capítulo, junto con el marco conceptual, se desarrollan la base teórica y las referencias que sustentan el tema del estudio. Se mencionan los conceptos de, vulnerabilidad empírica, vulnerabilidad analítica y eventos climáticos no convencionales.

En el capítulo III, Materiales y métodos. En este capítulo se explica el tipo de investigación aplicada que se ha llevado a cabo, los casos de estudio, los instrumentos aplicados y el método de evaluación de la vulnerabilidad.

En el capítulo IV, Resultados y discusión. En este capítulo se presentan los resultados por cada método de evaluación unido con su análisis e interpretación.

En el capítulo V. Conclusiones. En este capítulo se presentan la postura y las conclusiones del investigador a partir de los objetivos y los resultados del estudio.

En el capítulo VI, Recomendaciones. En este capítulo, el autor ofrece sugerencias para futuras investigaciones basadas en las conclusiones del estudio.

En el capítulo VII, Referencias. En este capítulo se hace referencia a los autores cuyos trabajos se han utilizado en este estudio.



## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1.1 Descripción de la Realidad Problemática**

En los últimos años, en la ejecución de obras de mantenimiento, mejoramiento y ampliación en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno, se ha incrementado el uso de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel, sin embargo en muchos casos la fabricación, montaje e instalación de estas estructuras aparentemente se realizaron de forma inadecuada, ya que según notas periódicas se han registrado dos eventos de colapso de este tipo de estructuras ocurridos en los años 2017 y 2018.

Por otro lado, el departamento de Puno evidencia variedad de climas, los cuales hacen vulnerables a este tipo de estructuras, siendo la precipitación de nieve, granizo y lluvia acompañados de fuertes vientos las más predominantes en la ciudad de Puno.

Es así que se pretende determinar la vulnerabilidad de este tipo de estructuras existentes, mediante el método empírico y analítico. El método empírico utiliza tablas de estado de daño, sustentadas con fichas de trabajo llenadas durante las visitas a las instituciones (in situ), con el fin de extraer información del estado en el que se encuentran las estructuras. El método analítico se sustenta en la elaboración de arquetipos que representa el replanteo de las estructuras existentes desarrollando modelos basados en ratios (demanda/capacidad). El desarrollo de los modelos se realiza en el software sap2000, realizando combinaciones de carga basadas en el incremento de cargas de nieve y viento hasta simular el colapso de la estructura.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Según Torres (2010), Para la formulación del problema y la pertinencia del mismo, plantea criterios a tomarse en cuenta como:



- Novedad: En esencia es porque el tema no se ha tratado o ha sido muy poco, en efecto la presente investigación es un tema poco tratado en la región de Puno.
- Contraste: Es un tema que busca contrastar resultados de investigación anteriores en otros contextos.
- Necesidad e importancia: Una situación determinada que merece estudiarse.
- Resolución: Que el tema contribuya a resolver un problema específico
- Concreción y pertinencia: Los temas propuestos no deben ser demasiado generales.
- Lineamientos: Que responda a los lineamientos de investigación de la institución académica donde va realizarse la investigación.

### **1.2.1 Elementos del Problema**

- Hecho o situación problemática; Fallas estructurales y colapsos.
- Especificidad; Analizar la vulnerabilidad ante eventos climáticos no convencionales.
- Ubicación espacial; Instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno
- Ubicación temporal; Año 2021.
- Unidad de estudio; Estructuras metálicas con cobertura de malla raschel

### **1.2.2 Pregunta General**

¿De qué manera se puede determinar la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel para advertir fallas estructurales y colapsos ante eventos climáticos no convencionales en las instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno 2021?



### 1.2.3 Preguntas Específicas

¿De qué manera el método empírico expone la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel, en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno – 2021?K

¿De qué manera el método analítico expone la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en instituciones educativas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno – 2021?

¿Cuál es la diferencia de los resultados de vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel desarrollados por el método empírico y el método analítico en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno – 2021?

¿De qué manera se puede plantear una propuesta de diseño estructural para estructuras metálicas con cobertura de malla raschel capaz de cumplir con las solicitudes estructurales ante eventos climáticos no convencionales para instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno?

¿Cuál es la relación entre el costo de reparación versus el costo de reconstrucción de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno - 2021?

¿Cuál es la relación entre la fuente de financiamiento y la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno-2021?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Dentro del ámbito nacional se ha incrementado el uso de malla raschel, tomando la iniciativa el programa nacional de infraestructura educativa (PRONIED).

A fin de proteger a las alumnas y alumnos de los colegios públicos contra la exposición a los altos niveles de radiación solar, el programa nacional de infraestructura educativa, instalara malla raschel en los patios escolares para reducir el ingreso de los rayos ultravioleta. (PRONIED, 2016)

Sin embargo, dentro de la ciudad de Puno han ocurrido eventos donde se ha evidenciado fallas estructurales y colapsos de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel, esto genera inquietud, ya que en muchos casos se han instalado de manera inadecuada, causando pérdidas materiales.

Correo (2018), según la nota periodística del diario correo informó: Ayer por la tarde, alrededor de las 2:00, la ciudad lacustre experimentó un breve y fuerte aguacero que duró casi una hora. Debido a la lluvia y a la ligera granizada que cayeron justo cuando los alumnos se disponían a salir de sus aulas al patio principal para participar en los actos previstos para ese día, los asistentes decidieron situarse bajo los balcones. De repente, la estructura metálica se desplomó, llevándose consigo dos postes de alumbrado público que habían sido instalados en el interior de la escuela. La cubierta, según la autoridad, fue adquirida por la organización de padres (APAFA) y levantada hace un año.

## Figura 1

*Colapso de estructura metálica de la I.E.S. Independencia Nacional.*



*Nota.* Obtenido de diario correo, por Supo, H. (25 de setiembre de 2018).

Onda azul (2017), según la nota periodística de la emisora radial onda azul informó: tras el último registro de granizada acompañada de tormentas eléctricas en la ciudad de Puno, trajo consigo serios inconvenientes en el centro educativo Glorioso Nacional San Carlos de Puno, donde debido a la gran acumulación de granizada en la malla raschel protectora hizo que las estructuras metálicas colapsaran y para evitar inconvenientes todo el campo deportivo fue cercado con cinta de seguridad.

## Figura 2

*Colapso de estructura metálica de la I.E.P. Glorioso San Carlos.*



*Nota.* Obtenido del diario sin fronteras (12 de octubre de 2017).

## 1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

Se tomaron como objeto de investigación aquellas instituciones públicas de nivel primaria y secundaria que estén implementadas con este tipo de estructuras las cuales se encuentren dentro de la ciudad de Puno, a continuación, se presenta las instituciones en estudio por niveles.

Instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria:

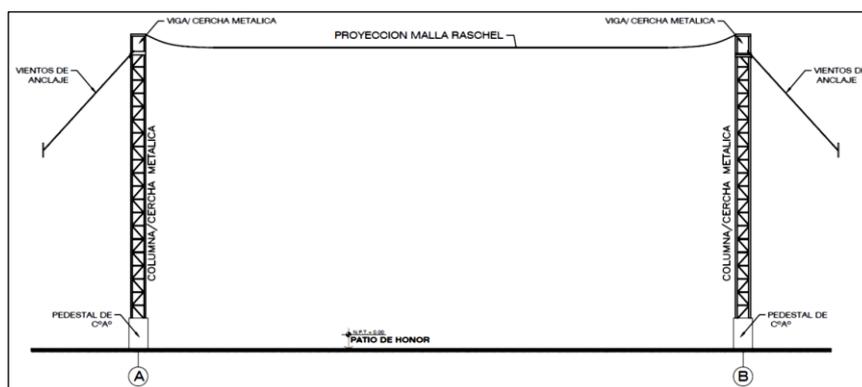
- I.E.P. N° 70024 – Laykakota.
- I.E.P. N° 71013 – Glorioso San Carlos.
- I.E.P. Gran Unidad San Carlos.
- I.E.S. Industrial 32.
- I.E.S. San Antonio de Padua.

- I.E.S. José Carlos Mariátegui - Aplicación UNA Puno.

El diseño de estas estructuras existentes corresponde a un diseño típico, con similares características los cuales constan de pedestal de concreto armado, soporte metálico, viga metálica, vientos de anclaje y la cobertura de malla tipo raschel, para un mayor entendimiento la figura 3 presenta un diseño típico de este sistema de cubierta.

### Figura 3

*Elementos de un sistema típico de cubierta con malla raschel.*



*Nota.* Elementos de cubierta de malla raschel a estudiar en la presente investigación.

## 1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.5.1 Objetivo General

Determinar la vulnerabilidad en estructuras metálicas con cobertura de malla raschel para advertir fallas estructurales y posibles colapsos ante eventos climáticos no convencionales, en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno en el 2021.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

Analizar la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel desarrollados mediante el método empírico, usando tablas de relación de daño en las instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno – 2021.



Analizar la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel, desarrollados mediante el método analítico, comparando ratios de demanda sobre capacidad de la estructura ante incremento de cargas de nieve y viento, en instituciones educativas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno – 2021.

Comparar los resultados de vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel desarrollados por el método empírico y el método analítico en instituciones educativas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno – 2021.

Plantear una propuesta de diseño estructural para estructuras metálicas con cobertura de malla raschel capaz de cumplir con las solicitudes estructurales ante eventos climáticos no convencionales para instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno.

Determinar la relación entre el costo de reparación versus el costo de reconstrucción de la estructura metálica con cobertura de malla raschel en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno – 2021.

Determinar la relación entre la fuente de financiamiento y la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en instituciones educativas públicas parte de del proyecto.

## **1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 Hipótesis General**

Los eventos climáticos no convencionales provocan fallas estructurales y colapsos en estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno.

### **1.6.2 Hipótesis Específica**

El método empírico determina que las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel más vulnerables son aquellas que fueron ejecutadas sin control de calidad



en las instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno - 2021.

El método analítico determina que las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel más vulnerables son aquellas que no cuentan con un diseño de ingeniería en las instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno.

El costo de reconstrucción es mayor al costo de reparación en estructuras metálicas con coberturas de malla raschel existentes en las instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno 2021.

La fuente de financiamiento para la fabricación, montaje e instalación de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel existentes influyen de manera desfavorable a la vulnerabilidad en instituciones educativas públicas intervenidas.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

La vulnerabilidad en estructuras metálicas, se puede determinar mediante distintos métodos. Sin embargo, para entender cada uno de estos métodos, primero será importante definir algunos conceptos clave en el tema de estudio. Entre los cuales se encuentran diseño y fallas estructurales de estructuras metálicas, tipos de cargas debido a eventos climáticos que podrían ocasionar el proceso de falla en la región en de Puno, análisis de vulnerabilidad mediante el método empírico, así como el método analítico.

Así mismo, en el presente capítulo se da a conocer el soporte normativo de la presente investigación.

#### 2.1 ANTECEDENTES

Existen trabajos de investigación acerca de colapsos de estructuras metálicas a nivel nacional e internacional, sin embargo, los antecedentes registrados, documentados e investigados dentro del departamento de Puno son pocos, así mismo, se tienen antecedentes de fallas estructurales e inminentes colapsos de este tipo de estructuras los cuales no fueron investigados, pero si registrados por medios locales de información.

Cabe señalar que la información de referencia se centra en la investigación en los ámbitos estrechamente relacionados del fallo estructural y el análisis posterior al colapso, ya que cualquier suceso que se produzca en uno de ellos tendrá consecuencias en los otros en mayor o menor medida. Entre estos trabajos de investigación más resaltantes podemos mencionar los siguientes.

##### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

Según Gómez (2001), en su trabajo de grado titulado “Diagnóstico sobre la Falla de la Estructura del Diagnosticentro Cardiesel Dosquebradas- Risaralda”, que fue presentado como requisito parcial para obtener el título de Especialista en Estructuras, el



objetivo principal fue exponer y describir el comportamiento estructural, así como demostrar el mecanismo de colapso basado en los índices de sobreesfuerzo. Asimismo, el investigador realiza un análisis comparativo entre el comportamiento de la estructura real (colapsada) y una posible modelación, con algunas modificaciones al incrementar 2.5% del acero instalado y se observa una disminución en los índices de sobreesfuerzo de 4 a 1. Finalmente, concluye que el inadecuado sistema de detallado geométrico de la unión cercha-columna ha generado que varios elementos de la cercha no trabajen a tensión pura.

Según la revista ALCONPAT (2012), sobre el tema “Colapso de la Cubierta Metálica de un Polideportivo”; afirma que a veces surgen patologías que, a pesar de ser únicas, como en este caso, ya han ocurrido en el pasado; sin embargo, las lecciones aprendidas de este tipo de daños no se han transmitido, y siguen ocurriendo. Se muestra cómo se derrumba una cubierta espacial metálica formada por barras de acero inoxidable de sección circular sin costuras en ninguno de sus extremos. La barra funciona como un nudo. Al final, se concluye que el pandeo local de una barra, que provoca el pandeo global de la estructura, es lo que causó el colapso de la cubierta espacial metálica del Polideportivo.

Según Devera (2019), en su trabajo de grado titulado “Control de Calidad de Estructuras Metálicas”, para optar al título de Especialista en Supervisión de la Construcción, hace notar lo siguiente: Para innovar e implementar nuevos sistemas constructivos en relación a las estructuras metálicas, los temas de personal calificado, herramientas, materiales y supervisión técnica tienen un papel con alta importancia que si no se manejan, ejecutan y controlan simultáneamente traen consecuencias que se representan en el material. La aplicación de un control de calidad correcto formula un



modelo detallado para la inspección de la estructura que podrá prever acontecimientos fortuitos y la aparición de patologías.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

Latorre (2015), en su trabajo de tesis titulado “Análisis de patologías en estructuras metálicas livianas”, para optar el título profesional de ingeniero civil menciona:

Una obra antigua puede tener problemas de lesiones en estructuras metálicas ligeras debido a las condiciones meteorológicas, un diseño deficiente, fallos estructurales, errores de cálculo e imprecisiones en los plazos, según un anuncio reciente.

Finalmente indica que las principales razones de los fallos son indirectas, debidas a errores humanos, falta de control de calidad y escasa formación de los montadores para que el proceso de construcción sea de buena calidad.

Sotomayor (2021), en su trabajo de tesis para optar el título profesional de ingeniero civil titulado “Mejoramiento del Diseño Estructural de Coberturas Metálicas Considerando Factores Climáticos en Zonas Altoandinas, Anexo Cuchuquipa, Caylloma 2021”, menciona:

El objetivo principal es realizar el mejoramiento de una estructura existente, cumpliendo expectativas de diseño de estructuras metálicas en zonas altoandinas. Donde recomienda que para la ejecución de estructuras metálicas se deben contar con planos aprobados por un especialista, para elegir un diseño óptimo que tenga en cuenta los desplazamientos en relación con el peso total de la cubierta y disponer de un diseño fiable y eficaz.

Cárdenas (2008), en su proyecto de grado titulado “Análisis de Vulnerabilidad Estructural del Hotel Comercio”, para optar el título profesional de ingeniero civil menciona:



El estudio de análisis de vulnerabilidad estructural del Hotel Comercio describe los factores que hacen que el edificio sea vulnerable a la actividad sísmica y proporciona información general sobre las características sísmicas del país.

Se mencionaron varios métodos para determinar el método para determinar la vulnerabilidad, que luego se aplicaron al método de Demanda versus Resistencia utilizado para determinar la vulnerabilidad de la estructura, así como el proceso y las normas utilizadas para la evaluación de la misma.

Se concluye que el hotel Comercio es vulnerable como resultado de múltiples desplazamientos en múltiples puntos descubiertos que exceden los límites permitidos. Así lo revela la evaluación realizada al comparar la demanda con la resistencia de la estructura.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Normas Técnicas**

Para la elaboración de la presente investigación se tendrá en cuenta la siguiente normatividad vigente dentro del territorio nacional:

#### **2.2.1.1 Norma técnica E.020: Cargas (2006).**

Las cargas a las que están sometidos los edificios y todos sus componentes como consecuencia del uso al que están destinados deben ser capaces de soportarlas. Actuarán en las combinaciones prescritas y no provocarán esfuerzos o deformaciones superiores a los indicados para cada material estructural en su norma de diseño específica. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2009)

#### **2.2.1.2 Norma Técnica E.060: Concreto Armado (2009).**

“Esta norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado, pre esforzado y simple” (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2009)



### **2.2.1.3 Norma Técnica E.090: Estructuras Metálicas (2009).**

“Esta norma de diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas para edificaciones acepta los criterios del método de Factores de carga y resistencia (LRFD) y el método por Esfuerzos Permisibles (ASD)” (Comite Especializado E.090, 2009).

### **2.2.2 Tipología Estructural**

“A la combinación de los distintos elementos estructurales y los materiales de que están hechos se les denomina sistema estructural. Dichos sistemas estructurales pueden estar constituidos por la combinación de uno o varios tipos básicos de estructuras” (Rodríguez, 2009, p. 21). Las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en general están constituidos por elementos estructurales como columnas y vigas de acero, los que conforman un pórtico. Las que a su vez están compuestas por celosías planas y espaciales. En ese contexto dentro del marco teórico se pondrá mayor énfasis a los elementos anteriormente mencionados.

#### **2.2.2.1 Pórticos**

Los pórticos son conjuntos de barras enlazadas entre sí, que forman un subconjunto estructural dentro de la estructura general de un edificio. Aunque normalmente se analizan como si fueran elementos planos independientes unos de otros, El conjunto debe formar una estructura espacial capaz de garantizar la estabilidad del edificio en cualquier dirección. (Lleonart, 1995, p. 33)

#### **2.2.2.2 Tipos de Pórticos**

Según contengan un único vano o numerosos vanos, los pórticos se dividen en pórticos simples y pórticos múltiples.

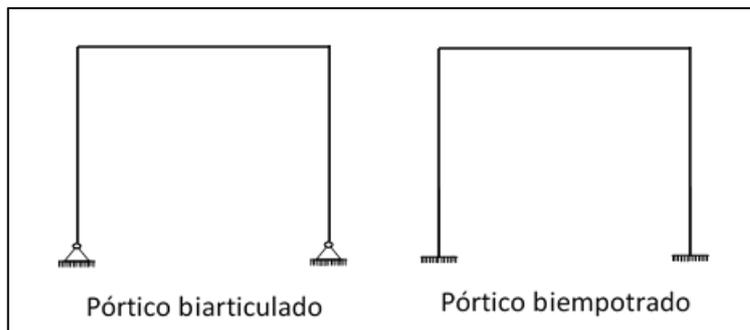
La función de un pórtico es sostener una viga mediante un empotramiento en dos apoyos. Normalmente, se compone de elementos de alma llena. Las conexiones se

refuerzan mediante cartelas formadas por piezas seccionales, que rigidizan el nudo y ayudan a reducir el empuje que el pórtico ejerce hacia el exterior. (Rodriguez, 2009)

El pórtico biempotrado en la base y el pórtico biarticulado en la base son los dos tipos que pueden reconocerse bajo esta tipología.

#### Figura 4

*Pórticos Biarticulados y Biempotrados.*



*Nota.* Pórticos objeto de estudio

El pórtico biarticulado requiere un volumen de cimentación sustancialmente menor que el pórtico biempotrado, ya que no tiene momento flector en el pie del pilar. Sin embargo, un pórtico biarticulado requiere un dimensionamiento mayor de las secciones de acero que un pórtico de biempotrado, ya que las fuerzas de flexión que surgen en el nudo de esquina del pórtico biarticulado son mayores que las del pórtico de biempotrado. Se han realizado estudios comparativos de ambos para determinar cuál de ellos es más rentable económicamente a nivel global debido a los comportamientos opuestos que ofrecen la estructura de acero y la cimentación en estos dos tipos de pórticos. Los resultados indican que resulta algo más rentable utilizar pórticos biempotrados que biarticulados. (Galletero & Martinez, 2002)

#### 2.2.2.3 Elementos Estructurales

Los elementos resistentes que forman parte las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel son los siguientes:



### 2.2.2.3.1 Placas de Anclaje

Las placas base son componentes estructurales que conectan los soportes metálicos a los cimientos y se utilizan para garantizar que ningún punto de la transición del acero al hormigón supere las tensiones admisibles.

La base debe ensanchar la sección del soporte de acero para lograr una superficie de contacto adecuada con el hormigón, ya que el material que compone la cimentación (casi siempre hormigón) es menos resistente que el acero. Esto se hace para garantizar que las fuerzas se transfieran de un material al otro de la forma más uniforme posible.

Para fijar la placa de anclaje a los cimientos deben utilizarse pernos de anclaje que se colocan en el hormigón y que funcionan por adherencia cuando el hormigón fragua y se endurece.

La base o placa de separación, los soportes de refuerzo y los pernos de anclaje son los componentes que constituyen una cimentación del tipo que se emplea a menudo en la construcción de edificios.

Los elementos que constituyen una base del tipo generalmente utilizado en edificación son; placa de base o de reparto, cartelas de rigidez, pernos de anclaje.

Los apoyos se consideran inmersos en la cimentación, con la excepción de la circunstancia única de que el pie del apoyo esté articulado, lo que requiere que la placa de anclaje sea capaz de soportar las siguientes fuerzas: axial, momento flector, cortante y momento torsor. (Rodríguez, 2009, p. 14)

### 2.2.2.3.2 Soportes

Son elementos verticales que trabajan a compresión simple en el caso de que las uniones sean articuladas (salvo los momentos debido a las excentricidades propias

de los nudos, y a las acciones horizontales), y a flexo compresión en el caso de uniones rígidas. (Lleonart, 1995, p. 34)

“Para dimensionar un soporte se tendrá en cuenta: el tipo de acero, el tipo de carga que va a recibir el perfil, la longitud del soporte (por si hubiese pandeo y la carga axial de compresión)” (Rodríguez, 2009, p. 14).

Los siguientes soportes o pilares son habituales en las estructuras metálicas:

**Tabla 1**

*Tipos de soportes metálicos.*

Soportes		
	Formados por un solo perfil	
Soportes simples	Formado por varios perfiles	Dos o más perfiles
		Perfiles y chapas yuxtapuestas
		Chapas yuxtapuestas
Soportes compuestos		

*Nota.* Obtenido de (Rodríguez, 2009)

Mencionar que en las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel podemos encontrar soportes mencionados en la tabla 1, siendo los más comunes los soportes simples formados por varios perfiles.

### 2.2.2.3.3 Vigas

“Son elementos horizontales, o con inclinación relativamente pequeña, que trabajan principalmente a flexión, aunque pueden existir axiales, normalmente debidos a los empujes” (Lleonart, 1995, p. 34).

Las vigas son los elementos sustentables horizontales, o como en las cubiertas, ligeramente inclinados, que reciben las cargas verticales y las transmiten, trabajando a flexión, a los pilares o apoyos. Las cargas que la viga recibe producen

en sus secciones los siguientes esfuerzos: momento flector, esfuerzo cortante y torsiones. (Rodríguez, 2009, p. 15)

Las vigas de acero se clasifican de la siguiente manera:

**Tabla 2**

*Tipos de vigas metálicas.*

<b>Vigas</b>		
De alma llena	De perfiles	Perfil simple
		Viga múltiple
		Perfil reforzado
	Armadas	En I
		En cajón
De alma aligerada		
De celosía		

*Nota:* Obtenido de (Rodríguez, 2009)

En las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel podemos encontrar vigas metálicas mencionadas en la tabla 2, siendo los más comunes las vigas de celosías. Pues “las vigas de celosías suelen estar constituidas por: cordón superior, cordón inferior, elementos de relleno (montantes u diagonales) y medios de unión (cartelas, soldadura, tornillería, etc.)” (Rodríguez, 2009, p. 18).

#### **2.2.2.4 Estructuras con Celosías**

##### **2.2.2.4.1 Celosías**

Se trata de una estructura de celosía formada por barras rectas que se unen en nudos para producir triángulos planos o pirámides tridimensionales según la aplicación.



Una estructura de celosía debe cumplir el requisito fundamental de indeformabilidad geométrica. El triángulo es el componente central de una celosía indeformable porque determina la relación entre dos puntos de un plano.

Una celosía espacial tiene miembros y nodos a lo largo de las tres dimensiones, a diferencia de una celosía plana, que tiene todos sus miembros y nodos dentro de un plano bidimensional. (Hernandez et al., 2012, p. 90)

#### **2.2.2.4.2 Clasificación de las Celosías**

##### **- Celosías planas.**

Las celosías planas con nudos articulados pueden clasificarse desde el punto de vista estructural en:

Las celosías simples: son celosías que pueden calcularse utilizando ecuaciones de estática en alguna de sus modalidades equilibrio de nudos y/o métodos de estática gráfica. Son celosías estáticamente determinadas en las que se satisface el número de barras y el número de nudos. Geométricamente forman una triangulación conforme o regular.

Celosías compuestas: son también celosías estáticamente determinadas, que pueden construirse uniendo dos o más celosías simples, de tal manera que cada par comparta una de sus articulaciones y se añada alguna barra adicional entre cada par de modo que cualquier movimiento de una respecto de la otra este impedido.

Celosías complejas: que engloba a cualquier celosía plana que no sea de los tipos anteriores. Son estructuras hiper estáticas para las que se puede usar el método heneberg o el método matricial de la rigidez.

##### **- Celosías planas estáticamente determinadas.**



Una celosía se llama estáticamente determinada o totalmente isostática si se aplican sucesivamente las ecuaciones de equilibrio mecánico, primero al conjunto de la estructura, para determinar sus reacciones, y luego a las partes internas, para determinar los esfuerzos cada uno de los elementos que la integran

- **Celosías tridimensionales.**

Las celosías tridimensionales isostáticas se forman a partir de tetraedros. Otra posibilidad común para las celosías tridimensionales es hacerlas de base cuadrada y rigidizar de algún modo en el plano de las bases.

- **Celosías de nudos rígidos**

Una celosía de nudos rígidos es un tipo de estructura hiperestática que geoméricamente puede ser similar a una celosía estáticamente determinada pero estructuralmente tiene barras trabajando en flexión.

Un nudo se llama rígido si una vez deformada la estructura el ángulo formado inicialmente por todas las barras se mantiene a pesar de que globalmente todo el nudo ha podido haber girado un ángulo finito. (Hernandez et al., 2012, p. 99-100)

#### **2.2.2.4.3 Uso de las Celosías**

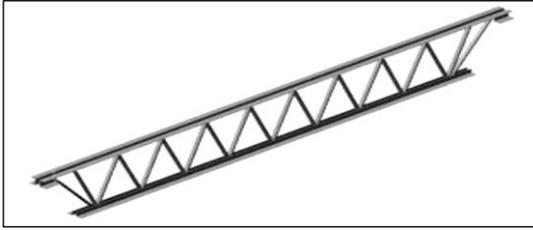
“Las celosías tienen innumerables usos, y en la mayoría de los casos, cumplen la función de refuerzo o aportar rigidez a una estructura. Todo esto reduciendo la cantidad de material a usar” (Hernandez et al., 2012, p. 101).

- **Vigas.**

Las celosías en las vigas, en especial las vigas armadas de alma abierta, tienen principalmente las funciones de servir de medio de unión de las cuerdas, rigidizando la estructura en conjunto a partir de las tensiones de los miembros que los conforman.

## Figura 5

*Viga de alma abierta, también llamadas vigas macomber.*



*Nota:* tomado de (Hernandez et al., 2012)

### - Columnas.

Tomando en cuenta que una columna es un elemento a compresión, las celosías son para evitar el pandeo, debido a las cargas axiales de los miembros principales. Estas estructuras, por lo tanto, no resisten grandes cargas axiales. Estos pilares reforzados se utilizan con mayor frecuencia en estructuras industriales, donde soportan cargas más ligeras, como la estructura del tejado.

## Figura 6

*Columna de celosía.*



*Nota:* tomado de (Hernandez et al., 2012)

### 2.2.2.4.4 Celosías Planas Notables

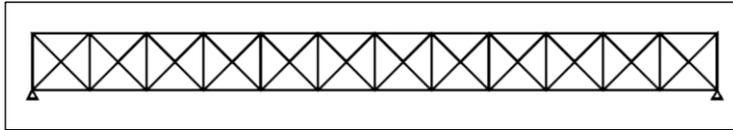
En las celosías horizontales con cargas gravitatorias verticales generalmente la cuerda superior (conjunto de barras horizontales o inclinadas situadas más arriba) está sometido a esfuerzos de compresión, mientras que la cuerda inferior está sometida a esfuerzos de tracción. En cambio, los montantes y las diagonales presentan más variabilidad.

- **Celosía long.**

De acuerdo a Long (1864) Los montantes verticales que conectan los cordones horizontales superior e inferior se apoyan en diagonales dobles.

**Figura 7**

*Esquema de celosía Long.*



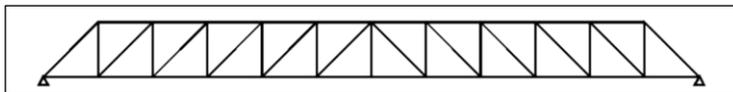
*Nota:* Tomado de (Hernandez et al., 2012)

- **Celosía Howe.**

Según Howe (1840) los montantes verticales entre los cordones superior e inferior forman la estructura. Las diagonales se alinean con el cordón superior o inferior, las diagonales se enlazan allí.

**Figura 8**

*Esquema de celosía Howe.*



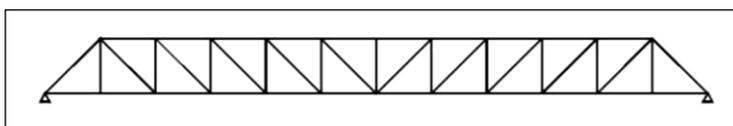
*Nota:* tomado de (Hernandez et al., 2012)

- **Celosía Pratt.**

De acuerdo a Pratt (1844) debido a la inclinación opuesta de las barras, las verticales se comprimen mientras que las diagonales están sometidas a tensión.

**Figura 9**

*Esquema de celosía Pratt.*



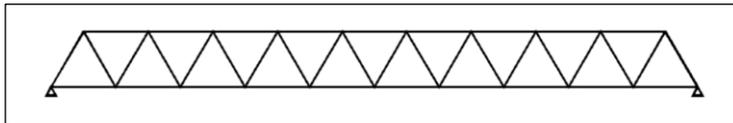
*Nota:* tomado de (Hernandez et al., 2012)

- **Celosía Warren.**

Según Monzoni (1848) este tipo de celosía crea una cadena de triángulos isósceles o equiláteros con diagonales de igual longitud.

**Figura 10**

*Esquema de celosía Warren*



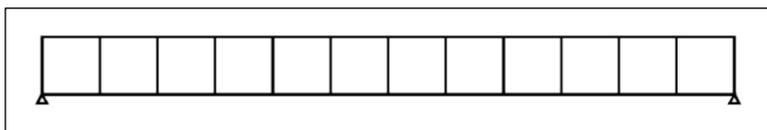
*Nota: tomado de (Hernandez et al., 2012)*

- **Pseudocelosía Vierendeel**

Tiene como características principales las uniones obligatoriamente rígidas y la ausencia de diagonales inclinadas. De esta manera no aparecen formas triangulares como en la mayoría de celosías sino una serie de marcos rectangulares. Se trata por tanto de una estructura empleada en edificación por el aprovechamiento de sus aperturas.

**Figura 11**

*Esquema de celosía Vierendeel.*



*Nota: tomado de (Hernandez et al., 2012)*

**2.2.2.4.5 Tipos de Estructuras con Celosías**

Las celosías son una forma de rigidizar una estructura, no por medio de las propiedades físicas de los materiales que lo conforma la estructura en sí misma, sino porque a partir de la disposición de los elementos individuales.

Principalmente existen dos tipos básico de estructuras con celosía.

- **Vigas armadas de alma abierta**



Las estructuras con celosía, también llamadas, estructuras reticulares, estructuras triangulares, cerchas, estructuras con entramado triangular, etc. Son estructuras compuestas en las que se asume que los miembros están unidos unos con otros por sus puntos extremos a través de pasadores.

Los elementos internos de las estructuras con celosía constan de:

**Cuerda superior**, conjunto de elementos que forman la cabeza superior, se denomina a veces par o también cordón superior.

**Cuerda inferior**, conjunto de elementos que forman la cabeza inferior. Se denomina tirante por trabajar usualmente a tracción o también llamado cordón inferior.

**Montantes**, barras verticales dispuestas en el alma de la estructura.

**Diagonales**, barras inclinadas en el alma de la viga.

**Paneles**, también se llama paneles a las secciones de cuerda comprendida entre dos nudos. Esto puede ser en la cuerda inferior, así como en la superior.

#### - **Armaduras**

Una armadura es una construcción reticulada conformada generalmente por triángulos formados por elementos rectos y que se utilizan para soportar cargas. Las armaduras normalmente son planas formando marcos que son unidos normalmente por otras estructuras como polines. El uso más representativo de armaduras es su uso en estructuras de soporte de techo.

Las armaduras se definen como vigas grandes, de gran peralte y alma abierta, según estén colocadas en un solo plano o formen una estructura espacial, estas enormes vigas pueden ser planas o espaciales. (Hernandez et al., 2012, p. 129)

### 2.2.2.5 Cubiertas con Membrana

“Se considera una membrana como un elemento de cerramiento, en dos dimensiones, que carece de rigidez flexional, pero soporta tensiones y esfuerzos normales”. (Cerda, 2019, p. 3)

En seguida, en la tabla 3, Se muestra cómo se categorizan únicamente en función de las propiedades de las partes constituyentes.

**Tabla 3**

*Materiales para estructuras tensadas.*

<b>Membranas</b>	<b>Redes</b>
- Tejidos entrelazados.	- Metálicas.
- Láminas.	- Textiles.
- Placas.	

*Nota:* Tomado de (Cerda, 2019)

#### 2.2.2.5.1 Membranas con Láminas

La extrusión suele utilizarse para producir placas o láminas razonablemente lisas e isotrópicas. Dentro de este sub grupo comúnmente se utilizan las láminas de ETFE o PVC o las placas de PMMA (Cerda, 2019).

#### 2.2.2.5.2 Redes Textiles

“Las membranas textiles están hechas de un material base o tejido al que se añade un acabado y, normalmente, un revestimiento” (Cerda, 2019, p. 9).

#### 2.2.2.5.3 Malla Sombra Raschel

La malla Raschel es un material hecho de rafia y polietileno de alta densidad. Esto permite generar hilos resistentes que aguantan bien elementos como la lluvia, el sol y el viento. “Su tipo de urdimbre impide que el tejido se desarme cuando se corta una de sus fibras, lo que se traduce en una mayor durabilidad. Esta malla contribuye a mejorar el microclima” (Rubilar, 2017, p. 16).

La malla raschel presenta una gran variedad de tejidos que representan diversos usos y aplicaciones que cambian en función de las necesidades.

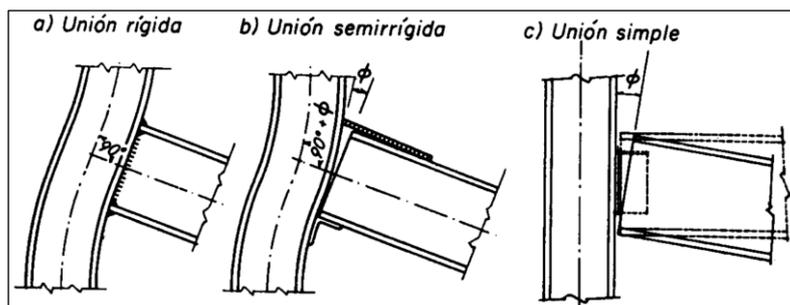
- Malla de tejido Raschel 80%, perfecta para cubrir campos deportivos, refugios de cría y descanso de animales, plazas de aparcamiento, almacenes de material y zonas de trabajo y carga.
- Malla de tejido raschel 65%, es ideal para construcción con función de sombreo, control de temperatura y cortaviento, protección contra las heladas

### 2.2.2.6 Medios de Uniones

Los componentes de la estructura de acero deben construirse o conectarse de alguna otra forma para que funcionen exactamente según lo previsto. A la hora de decidir el tipo de unión, hay que tener en cuenta el comportamiento y la construcción de la conexión que se va a crear. Las conexiones rígidas, semirrígidas y flexibles son los tres tipos principales. (Rodríguez, 2009)

#### Figura 12

*Uniones resistentes a flexión.*



*Nota:* Tomado de (Picazo, 2007)

El comportamiento de todas las uniones debe ser suficientemente dúctil para que pueda desarrollar su capacidad de resistencia en el rango plástico sin fallar demasiado pronto por una deformación excesiva. (Picazo, 2007).

Por otro lado, Rodríguez (2009, p. 20), expone dos tipos de uniones fundamentales:

- **Uniones atornilladas.**

Los pernos, las tuercas y las arandelas son los dispositivos de unión considerados. Deben estar normalizados y ajustarse a los grados de límite elástico y resistencia a la tracción de los materiales que unen.

- **Uniones soldadas.**

Cuando la técnica adecuada puede establecer la continuidad metálica de la conexión y la unión cumple las normas necesarias, se considera que un acero es soldable para un grado, un proceso y una aplicación específicos.

### 2.2.2.6.1 Uniones Viga Soporte

Son las juntas de flexión y corte que existen entre los elementos estructurales., sometido principalmente a compresión (Picazo, 2007).

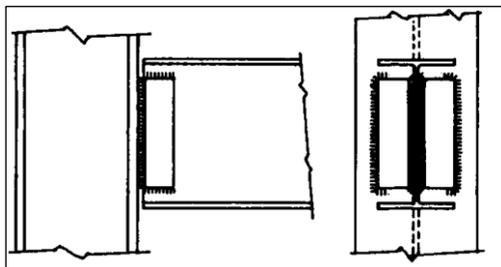
Picazo (2007, p.9) clasifica las uniones viga-soporte de la siguiente manera:

- **Uniones viga – soporte soldadas articuladas.**

Es conveniente realizar la unión por medio de angulares, debido a la dificultad de conseguir la necesaria exactitud dimensional. Nunca deben soldarse las alas y además, la longitud de los cordones debe ser la requerida estrictamente por el cálculo.

### Figura 13

*Unión soldada articulada*



*Nota:* Tomado de (Picazo, 2007)

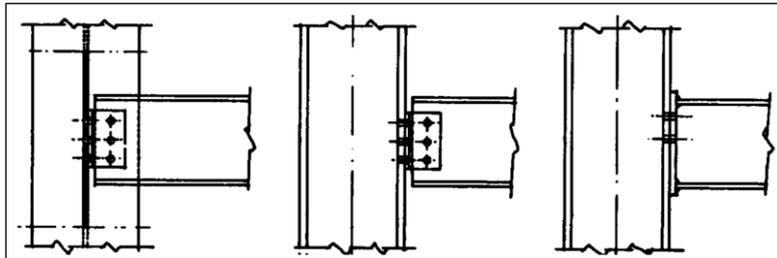
- **Uniones viga – soporte atornilladas articuladas.**

Es posiblemente, la unión más aconsejable si la unión se tiene que realizar en obra.

La unión al pilar y el juego que proporcionan los tornillos permiten considerar este enlace como una articulación. La unión se ejecuta enlazando el alma de la viga con dos angulares con el ala o alma del pilar.

**Figura 14**

*Uniones atornilladas articuladas*



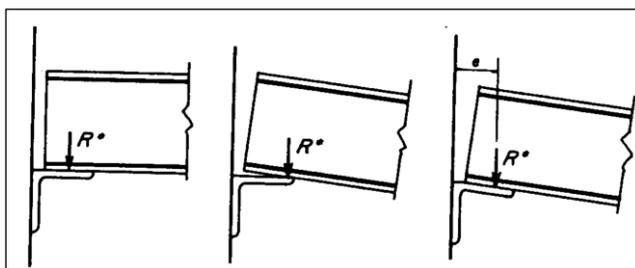
*Nota:* Tomado de (Picazo, 2007)

- **Uniones viga – soporte sobre casquillos.**

Otro tipo de uniones son las que emplean un casquillo de apoyo sobre el que descansa la viga.

**Figura 15**

*Soporte sobre casquillos*



*Nota:* Tomado de (Picazo, 2007)

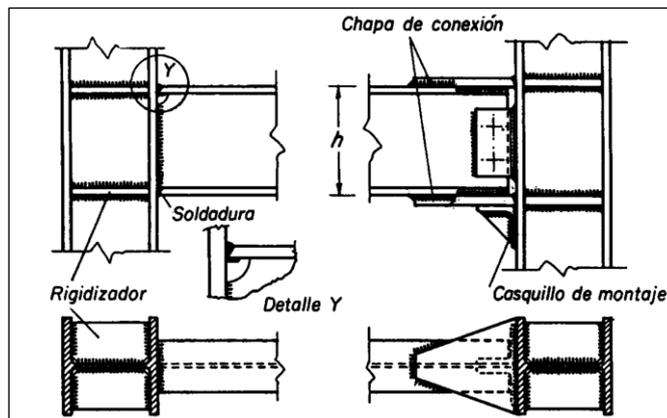
- **Uniones rígidas viga – soporte soldadas.**

Las vigas se unen a los soportes mediante cordones soldados a tope, realizándose en taller la preparación de los bordes de las alas de la viga, para no tener que realizar en obra cordones de soldadura de techo, además se disponen casquillos

angulares para la fijación provisional de la viga. En el pilar, para transmitir adecuadamente las fuerzas de compresión y tracción transmitidas por las cabezas de la viga se disponen rigidizadores.

**Figura 16**

*Unión rígida soldada*



*Nota:* Tomado de (Picazo, 2007)

### 2.2.2.7 Anclajes en el Concreto

En la actualidad, existen dos categorías principales de sistemas de anclaje: los sistemas instalados in situ (anclajes colocados antes de verter el concreto) y los sistemas instalados en concreto endurecido (anclajes instalados en orificios perforados después de que el concreto se haya curado). (Comite ACI 355.1R-91, 1991)

#### 2.2.2.7.1 Sistemas Instalados En Concreto Endurecido

Estos anclajes se instalan en una perforación que se realiza cuando el concreto ya está curado. Existen dos grupos básicos de sistemas instalados en concreto endurecido: anclajes cementados y anclajes de expansión, mencionando los siguientes:

- Anclajes cementados con mortero.
- Anclajes químicos.



- Anclajes con camisa.
- Anclajes de cuñas.
- Anclajes de expansión para roca/concreto.
- Anclajes autoperforantes.
- Pernos de anclaje.
- Anclajes rebajados.

### **2.2.3 Solicitaciones Actuantes.**

El diseño de una estructura empieza por los componentes que deben soportar las mayores cargas antes de pasar a diversos componentes de soporte hasta llegar a los cimientos. Establecer las cargas a las que se prevé que estará sometida una estructura durante su vida útil es la primera etapa antes de resolverla.

En la mayoría de los casos, el establecimiento de las cargas que deben tenerse en cuenta se rige por normas, directrices o leyes gubernamentales, lo que deja al proyectista muy poca discreción sobre el peso que debe dar a estos actos. Sin embargo, hay que recordar que estas directrices son sólo eso -directrices- y que el ingeniero civil es el responsable último del diseño. (Rodríguez, 2009, p. 24)

#### **2.2.3.1 Cargas Muertas**

“Las cargas muertas son cargas de magnitud constante que permanecen fijas en un mismo lugar. Estas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentes unidas a ella” (McCormac & Csernak, 2012, p. 41). Para el caso de una estructura metálica con cobertura de malla raschel, son cargas muertas la estructura en sí, la malla raschel y los accesorios.



### **2.2.3.2 Cargas Vivas**

“Las cargas vivas son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud. Son causadas cuando una estructura se ocupa, se usa y se mantiene” (McCormac & Csernak, 2012, p. 42).

En ocasiones, puede resultar complicado predecir con exactitud el valor de todas acciones, por lo que suele recurrirse al estudio de la historia de estructuras existentes de similares características y funcionalidad, con el fin de obtener una estimación lo más aproximada posible de la realidad. (Rodríguez, 2009, p. 27)

### **2.2.3.3 Cargas Ambientales**

“Las cargas ambientales son causadas por el medio ambiente en el cual se localiza una estructura particular. Para los edificios las cargas ambientales son causadas por la lluvia, la nieve, el viento, los cambios de temperatura y los sismos” (McCormac & Csernak, 2012, p. 45).

### **2.2.3.4 Sobrecarga de Viento**

La mayoría de la gente asume que las presiones del viento pueden llegar desde cualquier dirección y se aplican uniformemente a las superficies de barlovento de las estructuras.

Según la pendiente, las fuerzas del viento actúan como succiones sobre superficies planas, presiones o succiones sobre superficies inclinadas a barlovento, y presiones o succiones sobre superficies verticales o inclinadas a sotavento (debido a la producción de presiones negativas o de vacío). (McCormac & Csernak, 2012, p. 47)

“En el caso de las cargas producidas por el viento, hay tres variables aleatorias de interés: la máxima carga diaria, la máxima anual y la máxima durante la vida útil”



(Valencia, 2004, p. 70). En tal sentido para la presente investigación la carga máxima será la ocurrida durante los años 2017 y 2018.

#### **2.2.3.5 Sobrecarga de Nieve**

La nieve es una carga impredecible que puede cubrir parcial o totalmente un tejado. Numerosos elementos, como la ubicación de una estructura, la pendiente del tejado, el abrigo y la forma del tejado, afectan a las cargas de nieve que se le aplican. (McCormac & Csernak, 2012, p. 45)

Su selección se basará en factores como el tipo de tejado que se vaya a utilizar, la pendiente del tejado, su rugosidad y si existen crestas que favorezcan la acumulación de nieve en la zona donde se vaya a construir.

En conclusión, al calcular la sobrecarga de nieve deben tenerse en cuenta los siguientes factores: Los mapas de superficie suelen utilizarse para determinar la forma general del edificio, en este caso la geometría del tejado, su ubicación, ya que la exposición al viento podría provocar el desprendimiento de la capa de nieve. (Rodríguez, 2009, p. 27)

#### **2.2.4 Eventos Climáticos No Convencionales en la Región de Puno**

##### **2.2.4.1 Definición de Eventos Climáticos No Convencionales**

El grupo de expertos en cambio climático elaboró la definición de fenómeno meteorológico no convencional que más se aproxima, clasificándolo como un acontecimiento poco común en un lugar y una época del año concretos. (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático, 2014)

El SENAMHI, servicio nacional de meteorología e hidrología de Perú, clasifica los fenómenos climáticos no convencionales como anomalías, los mismos que en esta investigación se presenta como eventos climáticos no convencionales. Por consiguiente, los eventos climáticos extremos ocurridos rara vez por cargas medioambientales son

eventos climáticos no convencionales. En la presente investigación se aborda únicamente a eventos climáticos no convencionales producidos por la precipitación de nieve y la velocidad del viento.

#### 2.2.4.2 Precipitación Extrema de Nieve en la Región de Puno

El servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI), define a la nieve como tipo de precipitación de agua sólida que se desarrolla en las nubes cuando el aire circundante está más frío que el punto de congelación.

Asimismo, datos del sistema nacional de información para la respuesta y rehabilitación SINPAD muestran que 1245.00 emergencias provocadas por nevadas ocurrieron en diversas regiones del Perú entre 2003 y 2019, así mismo en la región de Puno se han reportado 181.00 emergencias de distintos tipos ocasionando daños y perjuicios económicos en la población vulnerable. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2021).

#### Tabla 4

*Cronología de precipitaciones extremas de nieve en la región de Puno.*

Fecha	Región	Descripción de la anomalía
Mayo del 2017	Puno	Diferentes zonas del sur del país fueron afectadas por las intensas nevadas. Los habitantes de Lampa, en el distrito de Puno, dijeron que la nieve se había acumulado hasta alcanzar un espesor de 20 cm.
Junio del 2018	Puno	Intensa nevada en la región de Puno, en zonas por encima de los 3800 m.s.n.m. presentando casos de hasta 40 cm de espesor de nieve en Puno.
Julio del 2018	Puno	Nieve acumulada hasta de 23 cm en algunos distritos de Puno. En la provincia del Collao se reporta registro de nieve dañando estructuras de colegios ocasionando la suspensión de labores.

*Nota:* Extraído del informe del estudio de frecuencia de nevadas en el Perú SENAMHI.



Según el informe de actualización del estudio de frecuencia de nevadas del SENAMHI en Perú, se observaron nevadas en la región de Puno, así como, en algunos distritos de la ciudad de Puno, estas nevadas han sido catalogadas en algunos casos como anomalías, ya que ocurren rara vez durante el año. El cronograma de ocurrencia de nevadas extremas, la fecha de la ocurrencia, ubicación y sus efectos descritos como anomalías se muestra en la Tabla 4.

### **2.2.4.3 Velocidad del Viento en la Ciudad de Puno.**

La dirección zonal 13 de la agencia nacional de meteorología e hidrología de Perú (SENAMHI) en Puno, cuenta con estaciones de monitoreo para el registro de velocidades de viento en la ciudad de Puno, las velocidades máximas registradas son consideradas como eventos climáticos no convencionales, ya que estas velocidades se presentan de manera no constante.

Las velocidades máximas del viento consideradas eventos climáticos no convencionales se basan en el valor máximo registrado diariamente durante todo un año, en los periodos donde se evidenciaron colapsos de estructuras ocurridos puntualmente los años 2017 y 2018, así mismo se considera el registro de datos durante el periodo de ejecución del proyecto de investigación correspondiente al año 2021.

### **2.2.5 Análisis Estructural**

“El objetivo del análisis estructural es determinar la forma que adopta una estructura en respuesta a las cargas y las tensiones resultantes a las que están sometidos sus miembros. Para ello pueden utilizarse técnicas analíticas, numéricas, gráficas y experimentales.” (Uribe, 2000, p. 3)

#### **2.2.5.1 Principio de Superposición**

"Si los desplazamientos y tensiones en todos los puntos de una estructura son proporcionales a las cargas que los provocan, entonces los desplazamientos y tensiones



provocados por dichas cargas son iguales a la suma de los desplazamientos y tensiones provocados por dichas cargas, aplicadas por separado." (Uribe, 2000, p. 64).

#### **2.2.5.1.1 Teoría Elástica**

“Quizá por ser el más antiguo, es el más utilizado. El uso del análisis matricial, que se estableció en los programas informáticos y permite obtener resultados rápidos y precisos, ha ayudado enormemente a este análisis”. (Zapata, 1997, p. 26).

La aplicabilidad del principio de superposición determina la validez de una serie de teoremas y procedimientos de la teoría elástica. Así pues, se supone que las tensiones de funcionamiento son inferiores al límite de proporcionalidad y que el material obedece a la ley de Hooke. El estudio se realiza a partir de las medidas y formas iniciales de la estructura, suponiendo que pueden despreciarse las alteraciones geométricas. (Uribe, 2000, p. 65)

#### **2.2.5.1.2 Teoría Plástica**

Con ayuda de esta teoría, es posible determinar con certeza la carga máxima que puede soportar una estructura y elegir los componentes estructurales en función de un factor de seguridad. Sin embargo, no se utiliza habitualmente por dos razones: en primer lugar, porque los requisitos exigen la producción de rótulas plásticas en partes específicas, lo que hace imposible determinar con precisión las verdaderas cargas últimas; y en segundo lugar, porque implica un aumento proporcional y simultáneo de todas las cargas. (Zapata, 1997, p. 26)

Por no existir linealidad a ningún nivel, como en el caso del concreto, o por haberse superado el límite de proporcionalidad, como en el caso del acero, la teoría plástica permite analizar el escenario de no proporcionalidad entre tensiones y deformaciones del material.



### **2.2.5.1.3 Teoría de Deflexión**

La teoría de la deflexión combina las técnicas de análisis de aquellas construcciones en las que es imposible ignorar los cambios geométricos provocados por las cargas para evaluar las fuerzas y reacciones internas que se producen. En consecuencia, éstas suelen evaluarse utilizando un método iterativo a partir del estado deformado de la estructura. (Uribe, 2000, p. 65)

En el presente proyecto se toma como referencia al Análisis Elástico de primer orden pues considera la geometría inicial de la estructura para la determinación ratios de demanda sobre capacidad en función a los esfuerzos internos de cada elemento.

### **2.2.6 Diseño Estructural**

. El diseño de un elemento de acero implica mucho más que averiguar la sección con el perfil más ligero con las cualidades necesarias para soportar las cargas. Además de soportar con seguridad las cargas impuestas, una estructura debe hacerlo de forma que evite que las deflexiones y vibraciones excesivas alarmen a los habitantes o provoquen fisuras antiestéticas en la estructura. (McCormac & Csernak, 2012, p. 50)

En tal sentido se define al diseño estructural como “una mezcla de arte y ciencia que combina los sentimientos intuitivos del ingeniero con los principios de la estática, dinámica, mecánica de materiales y el análisis estructural para producir una estructura segura que sirva sus propósitos” (Zapata, 1997, p. 1).

#### **2.2.6.1 Métodos de Diseño**

La especificación AISC proporciona dos técnicas aceptables para el diseño de elementos estructurales de acero y sus conectores. Se trata del cálculo de la resistencia admisible (ASD: Allowable Strength Desing) y del cálculo del factor de carga y resistencia (LRFD: Load and Resistance Factor Desing).

La expresión "estado límite" se refiere a una situación en la que una estructura ya no es capaz de llevar a cabo su finalidad prevista. Existen dos categorías diferentes de estados límite: de servicio y de resistencia.

Los estados límite de resistencia, como la fluencia excesiva, la fractura, el pandeo, el agotamiento y el movimiento general del cuerpo rígido, determinan la capacidad de soportar una carga.

Los estados límite de servicio definen el comportamiento, incluyendo la deflexión, el agrietamiento, los deslizamientos, la vibración y el deterioro. Todos los estados límite deben evitarse. (McCormac & Csernak, 2012, p. 51)

A continuación, se describe uno de los métodos enumerados, describiendo su filosofía de diseño, es decir, el fundamento para el diseño de estructuras. Se designó así debido a la filosofía de diseño utilizada en ese enfoque específicamente.

#### **2.2.6.1.1 Método de Resistencia Última (LRFD)**

Como su nombre indica, utiliza factores de resistencia, encontrados a través de la investigación y la experiencia para cada carga y para la resistencia.

Es posible tener una concepción más realista gracias a los distintos componentes que indican el grado de incertidumbre de las distintas cargas, combinaciones de carga y la precisión de las fuerzas previstas, lo que satisface el objetivo principal del método.

La fórmula siguiente puede utilizarse para representar el enfoque LRFD.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (\text{Ecuación 1})$$

$R_u$ , la resistencia final necesaria en la desigualdad, es el total de los impactos de las distintas cargas multiplicado por los factores de carga correspondientes. La resistencia nominal, o  $R_n$ , se multiplica por un factor de reducción  $\phi$  de la resistencia para obtener la resistencia de diseño.

Los valores de  $\phi$  y  $Rn$  para los elementos constituyentes de las estructuras son proporcionados a la vez por las especificaciones LRFD.

Las especificaciones LRFD dan los valores de  $\phi$  y  $Rn$  para los elementos estructurales.

En la tabla 5, que incluye el símbolo, el valor del factor de reducción de la resistencia y una descripción del esfuerzo al que está sometido el elemento a dimensionar, se muestran los valores representativos de los factores LRFD para elementos de acero.

El enfoque LRFD se utiliza para diseñar estructuras de modo que nunca se supere ningún estado límite cuando se les aplican todas las cargas y luego se multiplican por el factor apropiado. Los estados límite de resistencia, como el momento plástico y los estados límite de pandeo, están relacionados con la seguridad y la capacidad de carga. En este método, se han tenido en cuenta numerosos estados límite de servicio para cualquier parte estructural que se examine con el fin de establecer la estrategia adecuada de reducción de la resistencia.

**Tabla 5**

*Factores de reducción de resistencia (Diseño LRFD).*

<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
$\phi_t$	0.90	“Para elementos en tensión por fluencia”.
$\phi_t$	0.75	“Para elementos en tensión por ruptura”.
$\phi_c$	0.85	“Para elementos en compresión”.
$\phi_b$	0.90	“Para elementos en flexión”.
$\phi_v$	0.90	“Para elementos sometidos a esfuerzo cortante”.

*Nota.* Datos obtenidos de diseño LRFD.

#### **2.2.6.1.2 Combinaciones de Carga.**

Para conectar una o varias cargas que tienen una probabilidad no despreciable de producirse en el mismo momento, se utiliza la combinación de cargas.

## Tabla 6

*Combinaciones de carga (LRFD).*

---

### Método LRFD

---

1.  $1.4D$
  2.  $1.2D+1.6L+0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
  3.  $1.2D+1.6(Lr \text{ o } S \text{ o } R)+(0.5L \text{ o } 0.8W)$
  4.  $1.2D+1.6W+0.5L+0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
  5.  $1.2D+1.0E+0.5L+0.2S$
  6.  $0.9D+(1.6W \text{ o } 1.0E)$
- 

*Nota.* Datos obtenidos de diseño LRFD.

Donde:

D: “Carga muerta”.

L: “Carga viva debido a equipo y ocupación”.

Lr: “Carga viva de techo”.

S: “Carga de nieve”.

R: “Carga de lluvia o hielo”.

W: “Carga de viento”.

E: “Carga por sismo”.

Los dos métodos de diseño descritos anteriormente pueden utilizarse para analizar y crear estructuras de acero. Las combinaciones de carga que pueden emplearse con el método actual se analizarán en las secciones siguientes. Estas combinaciones pueden utilizarse para diseñar estructuras de acero y se basan en las especificaciones AISC.

Combinaciones de carga conformes con AISC para el uso del enfoque de resistencia última.

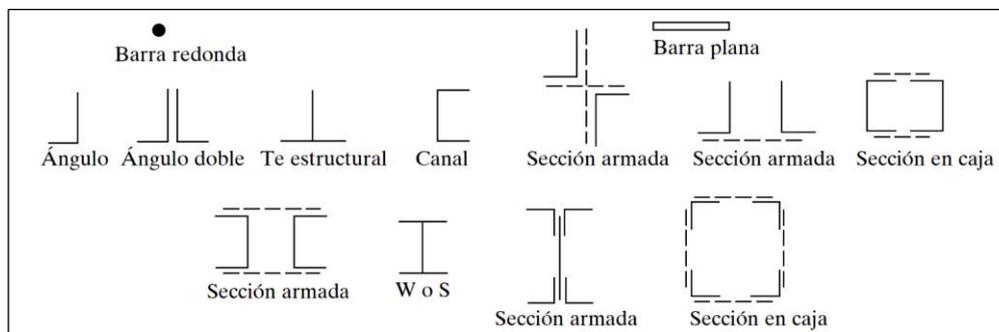
### 2.2.6.2 Diseño de Miembros a Tensión

“Se denomina miembros en tensión a los elementos de las estructuras en los cuales se generan esfuerzos internos que evitan que se separen los extremos cuando están sometidos a una fuerza axial”. (Zapata, 1997, p. 3-1)

Las estructuras con elementos en tensión están sometidas a fuerzas axiales que deben extender el elemento directamente. Los esfuerzos de tracción normales uniformes se aplican a lo largo de la longitud de un elemento cargado en tensión axial. Los miembros entran frecuentemente en contacto con la tensión en sistemas de arriostamiento, cerchas de puentes, cubiertas y aplicaciones de tirantes. Una de las dificultades básicas en el diseño estructural es elegir el perfil que se utilizará como elemento de tracción. (McCormac & Csernak, 2012, p 62).

**Figura 17**

*Tipos de miembro a tensión.*



*Nota:* Tomado de (McCormac & Csernak, 2012, p. 63)

#### 2.2.6.2.1 Resistencia de Diseño (Elementos a Tracción)

Debido al endurecimiento por deformación, una pieza de acero dúctil sin agujeros sometida a una carga de tracción puede soportar una carga superior a la determinada multiplicando el área de la sección transversal por el límite elástico del acero. Sin embargo, un elemento sometido a tracción se alarga considerablemente antes de fracturarse cuando se somete a una carga de

endurecimiento por deformación, lo que le resta valor y puede provocar la rotura del sistema estructural del que forma parte.

Por otro lado, un componente de tracción con orificios para pernos podría fracturarse en la parte neta que atraviesa los orificios y fallar. Esta carga de fallo podría ser inferior a la necesaria para plastificar la parte bruta sin tener en cuenta los agujeros. Hay que tener en cuenta que la parte del elemento cuya sección transversal han reducido los orificios es bastante pequeña en comparación con toda su longitud. (McCormac & Csernak, 2012, p. 66)

Para fluencia en tracción en la sección bruta la resistencia de diseño a la tensión por el método LRFD.

$$\phi_t P_n = \phi_t F_y A_g \rightarrow \phi_t = 0.90 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para fractura en tracción en la sección neta la resistencia de diseño a la fractura por tensión por el método LRFD.

$$\phi_t P_n = \phi_t F_u A_e \rightarrow \phi_t = 0.75 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

"Ae = área neta efectiva, cm<sup>2</sup>.

Ag = área bruta del miembro, cm<sup>2</sup>.

Fy = tensión de fluencia mínima especificada del tipo de acero utilizado, kg-f/cm<sup>2</sup>.

Fu = tensión ultima mínima especificada del tipo de acero utilizado, kg-f/cm<sup>2</sup>.

Aunque la fluencia aparecerá primero en la sección transversal neta, la longitud de la conexión se deformará normalmente menos que el resto del miembro cuando éste esté en tensión.

#### - **Determinación de áreas.**

Sin duda, aunque el agujero esté ocupado por un tornillo, la existencia de un agujero en un elemento sometido a tracción aumenta la tensión unitaria. Al haber

menos superficie de acero sobre la que dispersar la carga, se producirá una concentración de esfuerzos cerca del borde del agujero.

El área de la sección transversal neta, también conocida simplemente como área neta, es el área de la sección transversal bruta menos el área ocupada por cualquier muesca, ranura u otra abertura. (McCormac & Csernak, 2012, p. 67)

Área bruta ( $A_g$ ): El área transversal de un miembro determina su área bruta, o  $A_g$ .

Área neta ( $A_n$ ): Si la conexión final de un elemento en tensión se realiza mediante pernos, debe extraerse material de la sección transversal para producir los orificios de los pernos.

$$A_n = A_g - \text{Area de los agujeros} \quad (\text{Ecuación 4})$$

La anchura de una perforación debe tratarse como 2 mm mayor que la dimensión nominal de la perforación para calcular el área neta para tracción y corte.

#### 2.2.6.2.2 Selección de Perfiles

En este apartado se describe la selección de miembros que deben soportar cargas a tensión “los miembros escogidos deben tener las siguientes propiedades: a) deben ser compactos, b) tener dimensiones que se ajusten en la estructura con una relación razonable a las dimensiones de los otros miembros de la estructura y c) tener conexiones con tantas partes de las secciones como sea posible para minimizar el retardo del cortante” (McCormac & Csernak, 2012, p. 103)

Si se usan las ecuaciones de LRFD, la resistencia de diseño de un miembro a tensión es el menor de  $\phi_t F_y A_g$ ;  $\phi_t F_u A_e$ , o de su resistencia por bloque cortante.

a) Para satisfacer la primera de estas expresiones, el área total mínima debe ser por lo menos igual a.

$$A_{g \min} = \frac{P_u}{\phi_t F_y} \quad (\text{Ecuación 5})$$

b) Para satisfacer la segunda expresión, el valor mínimo de  $A_e$  debe ser por lo menos igual a.

$$A_{e\min} = \frac{P_u}{\phi_t F_u} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Y puesto que  $A_e = UA_n$  para un miembro atornillado, el valor mínimo de  $A_n$  es

$$A_{n\min} = \frac{A_{e\min}}{U} = \frac{P_u}{\phi_t F_u U} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Entonces el  $A_g$  mínimo es:

$$A_{g\min} = A_{n\min} + \text{area estimada de agujeros} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$A_{g\min} = \frac{P_u}{\phi_t F_u U} + \text{area estimada de agujeros} \quad (\text{Ecuación 9})$$

c) Una vez que se ha elegido un perfil de ensayo y se comprenden los demás factores que afectan a la resistencia del bloque de cizallamiento, puede evaluarse lo siguiente.

#### - Límites de esbeltez

En el caso de las barras de tracción, no se aplica la relación de esbeltez máxima de 300 especificada.  $L/r$  de 300 es la relación de esbeltez máxima ideal. Con esta cifra, resulta sencillo determinar el valor mínimo deseable de  $r$  en relación con cada eje principal de la sección transversal para un diseño específico, es decir, el valor de  $r$  en el que la relación de esbeltez es exactamente igual a 300. No es práctico tener en cuenta una sección cuyo radio mínimo de giro,  $r$ , sea inferior a esta cantidad, ya que entonces su coeficiente de esbeltez será superior al valor máximo preferido de 300. (McCormac & Csernak, 2012, p. 104-105)

En la sección D1 de la norma AISC 360-10 sugiere que el valor máximo del coeficiente de esbeltez de los elementos sometidos a tracción sea  $\lambda \leq 300$ .

$$\lambda = \frac{L}{r} \leq 300 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde.

$L$  = La longitud no arriostrada se mide entre los baricentros de las conexiones en los extremos de los miembros en los apoyos o soportes que se han instalado específicamente para este fin.

$r$  = Radio de giro de la sección.

### 2.2.6.2.3 Varillas y Barras

Cuando se usan varillas y barras como miembros a tensión, pueden soldarse simplemente sus extremos, o bien, mantenerse en posición por medio de roscas (cuerdas) con tuercas. El esfuerzo de diseño nominal a tensión del AISC para varillas roscadas es  $F_m$ , entonces el área requerida para una carga específica a tensión puede calcularse como sigue: (McCormac & Csernak, 2012, p. 115)

$$R_n = F_m A_D = 0.75 F_u A_D \quad (\text{Ecuación 11})$$

Por tanto.

$$A_D \geq \frac{P_u}{\phi 0.75 F_u} \quad (\text{Ecuación 12})$$

### 2.2.6.3 Miembros Cargados Axialmente a Compresión.

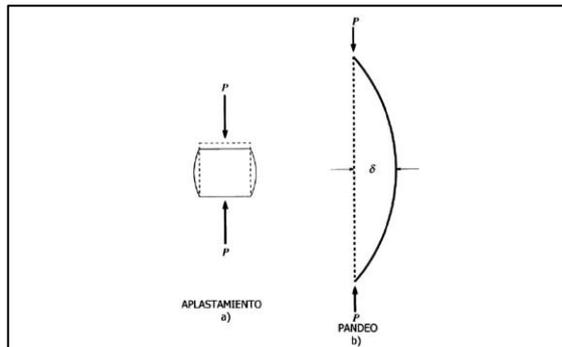
La columna es el tipo de elemento de compresión más conocido entre las distintas variedades. Los cordones superiores de las cerchas y otros elementos de arriostramiento son otros tipos. También hay compresión en muchas otras secciones.

Los pilares son elementos verticales rectos con una longitud considerablemente mayor que su anchura. Los puntales, o simplemente miembros de compresión, son elementos verticales cortos expuestos a cargas de compresión. (McCormac & Csernak, 2012, p. 129)

En general, los pilares sometidos a cargas axiales pueden fallar de tres maneras. Existen tres tipos de pandeo: torsional, local y flexión. A continuación, se ofrece una definición sucinta de estos modos de pandeo:

### Figura 18

*Miembros a compresión axial.*



*Nota:* Miembros cortos y largos a compresión axial.

El tipo de pandeo más común es el pandeo por *flexión*, también conocido como pandeo de Euler. Cuando los elementos se vuelven inestables, puede producirse el pandeo.

Cuando un componente o partes de la sección transversal de un pilar son tan finos que se pandean localmente en compresión antes de que puedan producirse los demás modos de pandeo, se habla de pandeo *local*.

Determinadas disposiciones de la sección transversal de los pilares pueden provocar pandeo por torsión y flexión. Estos pilares se pandean de forma torsional o combinando pandeo torsional y flexional.

Para una sección transversal dada, la tendencia de un pilar a pandearse aumenta con la longitud, y su capacidad máxima de carga disminuye. El coeficiente de esbeltez suele utilizarse para evaluar la susceptibilidad de un elemento al pandeo. El tipo de conexión en los extremos, la excentricidad de la aplicación de la carga, los defectos del material, el pandeo inicial del pilar y las

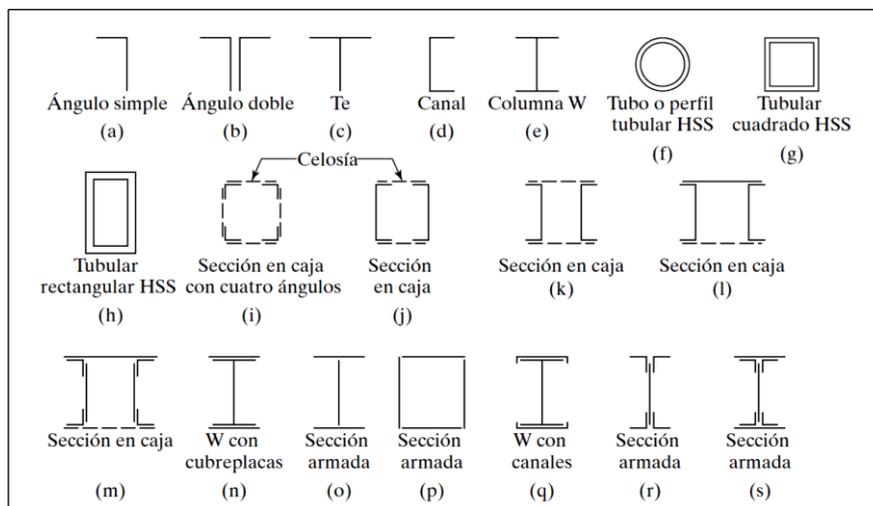
tensiones residuales de fabricación son otros factores que afectan a la probabilidad de pandeo. (McCormac & Csernak, 2012, p. 130)

### 2.2.6.3.1 Perfiles Usados Para Columnas

Teóricamente, se podría utilizar una variedad infinita de secciones transversales para mantener de forma segura una carga de compresión en una estructura específica. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, el tipo de secciones accesibles, los problemas de conexión y el tipo de estructura en la que se va a emplear la sección limitan el número de posibles soluciones. (McCormac & Csernak, 2012, p. 134)

**Figura 19**

*Tipos de miembros a compresión.*



*Nota.* Tomado de (McCormac & Csernak, 2012)

Salvo algunas excepciones, las secciones transversales utilizadas para los elementos de compresión suelen ser comparables a las utilizadas para los elementos de tracción. Las excepciones se deben a la necesidad de elementos rígidos y a la relación inversa entre la resistencia de los elementos de compresión y la relación de esbeltez.

Los elementos creados a partir de un único ángulo ( $\alpha$ ) funcionan bien como elementos de compresión y arriostramiento para armaduras dispersas. Debido a que los ángulos de lados iguales tienen radios de giro ( $r$ ) mínimos mayores para una superficie de acero dada, pueden ser más rentables que los ángulos de lados desiguales. (McCormac & Csernak, 2012, p. 134)

En la siguiente figura 19 se muestran algunos perfiles.

#### 2.2.6.3.2 Ecuación de Euler

El esfuerzo para el cual una columna se pandea, obviamente decrece conforme la columna se hace más larga. Después de que esta alcanza una cierta longitud, ese esfuerzo se habrá reducido al límite proporcional del acero. Para esa longitud y longitudes mayores, el esfuerzo de pandeo será elástico. Se denomina pandeo elástico porque, en el instante de pandeo, los esfuerzos en la sección se encuentran en el rango elástico. (Zapata, 1997, p. 4)

La carga crítica o carga de pandeo de Euler.

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{I}{A} \rightarrow F_{crit} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

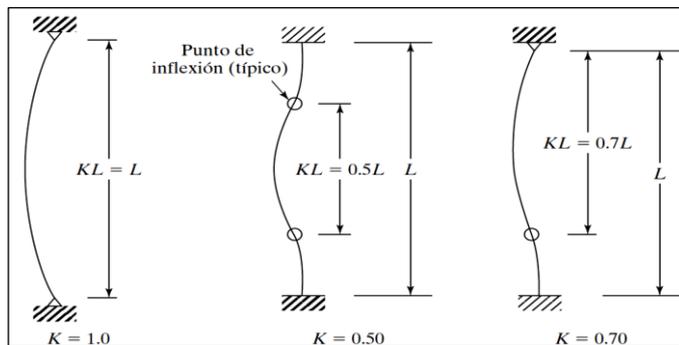
#### 2.2.6.3.3 Longitud Efectiva de Columnas

La longitud efectiva de una columna se define como la distancia entre puntos de momento nulo en la columna, es decir, la distancia entre sus puntos de inflexión. En las especificaciones de acero, la longitud efectiva de una columna se denomina  $KL$ , en donde  $K$  es el factor de longitud efectiva.  $K$  es el número por el que debe multiplicarse la longitud de la columna para obtener su longitud efectiva. Su magnitud depende de la restricción rotacional en los extremos de la columna y de la resistencia al movimiento lateral de esta. (McCormac & Csernak, 2012, p. 141).

En la figura 20 se muestran columnas con condiciones de extremo diferentes con ladeo impedido.

**Figura 20**

*Longitudes efectivas de columnas en marcos arriostrados.*

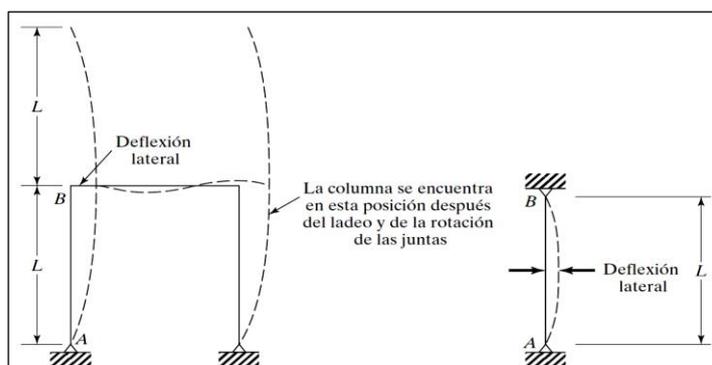


*Nota.* Tomado de (McCormac & Csernak, 2012, p. 141)

Los pilares estructurales de acero se utilizan para construir armazones, que en ocasiones están arriostrados y en otras no. Los pórticos arriostrados evitan el movimiento de sus uniones mediante arriostramientos, muros de cortante o el apoyo lateral de componentes adosados. En una estructura no arriostrada no existe ninguno de estos apoyos, sino que depende de la rigidez de sus propios elementos y de la rigidez rotacional de las uniones que conectan los elementos de la estructura para evitar el pandeo. Los valores de  $K$  no pueden ser superiores a 1,0 en los pórticos arriostrados, pero debido a la inclinación, siempre son superiores a 1,0 en los pórticos no arriostrados. (McCormac & Csernak, 2012, p. 142)

**Figura 21**

*Marco sin arriostrar y arriostrado.*



*Nota.* Tomado de (McCormac & Csernak, 2012, p. 142)

Dado que las circunstancias de junta y empotramiento perfectas no son factibles, la figura 22 proporciona dos conjuntos de valores de K: uno es el valor teórico y el otro es el valor recomendado para el diseño. Los factores de longitud efectiva recomendados se muestran para condiciones aproximadamente ideales.

**Figura 22**

Valores aproximados del factor de longitud efectiva K.

Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo						
	<ul style="list-style-type: none"> <li> Rotación y traslación impedidas</li> <li> Rotación libre y traslación impedida</li> <li> Rotación impedida y traslación libre</li> <li> Rotación y traslación libres</li> </ul>					

Nota. Tomado de (American Institute Of Steel Construction, 2010)

#### 2.2.6.3.4 Capacidad Resistente a Compresión. Pandeo flexional de miembros sin elementos esbeltos.

El estado límite de pandeo por flexión debe utilizarse para obtener la resistencia nominal a la compresión, P<sub>n</sub>:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$\phi_c = 0.85$$

La tensión de pandeo por flexión  $F_{cr}$ , se determina como sigue:

a) Cuando:  $\frac{KL}{r} \leq 1.5 \rightarrow F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$  (Ecuación 15)



$$\text{b) Cuando: } \frac{KL}{r} > 1.5 \rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

$F_e$  = tensión crítica de pandeo elástico.

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Ag: área total de miembro.

Fy: esfuerzo de fluencia especificada.

E: módulo de elasticidad.

K: factor de longitud efectiva.

L: longitud lateralmente no arriostrada.

r: Radio de giro respecto del eje de pandeo.

### 2.2.7 Fallas en Estructuras Metálicas

Una estructura debe ser capaz tanto de absorber como de disipar energía y poseer la capacidad de resistencia horizontal necesaria para evitar el colapso. El fallo es un estado desfavorable que impide a un elemento estructural llevar a cabo la tarea para la que fue diseñado. Se dice que una estructura ha fallado cuando es incapaz de cumplir la función para la que fue diseñada; sin embargo, el fallo no siempre va seguido de colapso o desastre. (Uribe, 2000, p. 4)

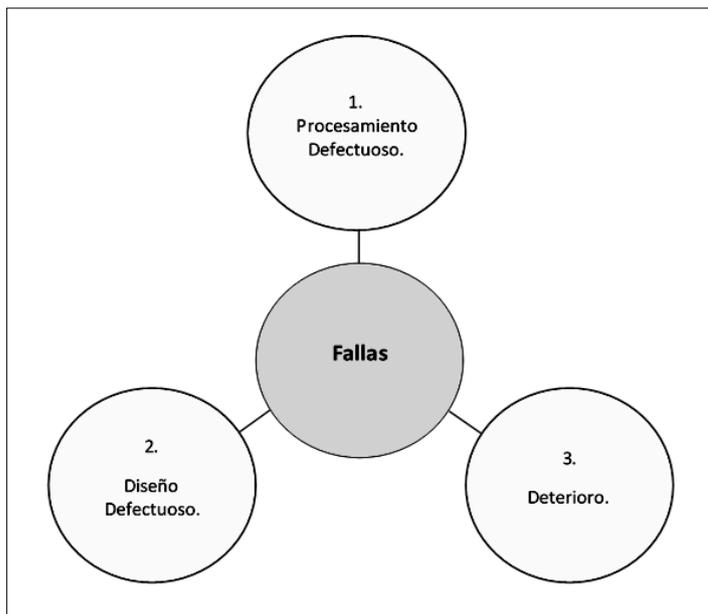
#### 2.2.7.1 Causas que Producen Fallas

Suarez (2008), menciona tres categorías de factores que producen fallas: procesamiento inadecuado, diseño inadecuado y deterioro de la pieza; pueden provocar un fallo. (Suarez et al., 2008)

La figura 23 muestra un gráfico explicativo

## Figura 23

### *Causas que producen fallas*



*Nota.* Tomado de (Suarez et al., 2008)

#### **2.2.7.1.1 Fallas debido al procesamiento defectuoso**

- Imperfecciones debido a una composición defectuosa.
- Defectos debido al proceso de fabricación
- Defectos debido a la soldadura.
- Irregularidades debido al maquinado, esmerilado y estampado.

#### **2.2.7.1.2 Fallas debido a consideraciones de diseño defectuoso**

- Falla dúctil (exceso de deformación elástica o plástica y fractura por rasgadura o corte).
- Fractura frágil (debido a imperfecciones o concentración de esfuerzos localizado de intensidad crítica).
- Falla por fatiga (cargas cíclicas).

#### **2.2.7.1.3 Fallas debidas al deterioro durante las condiciones de servicio**

- Condiciones de carga excesivas o imprevistas.



- Desgaste (erosión, daño superficial por fricción)
- Corrosión.
- Mantenimiento inadecuado, mal dirigido o reparación impropia.

### **2.2.7.2 Modo de falla**

“Un modo de falla se puede definir como el proceso físico que se combinan para producir la falla. Cualquier clasificación puede ser definida por alguna de las tres siguientes categorías” (Barrientosl & Razeto, 2014).

#### **2.2.7.2.1 Manifestación de la falla**

- Deformación elástica.
- Deformación plástica.
- Ruptura/ fractura
- Cambio en el material

#### **2.2.7.2.2 Agentes que inducen la falla**

- Fuerza
- Tiempo
- Temperatura
- Condición reactiva

#### **2.2.7.2.3 Localización de la falla**

- Cuerpo
- Superficie

### **2.2.7.3 Tipos de falla**

#### **2.2.7.3.1 Falla por fatiga**

Los componentes sometidos a cargas y tensiones variables acaban averiándose por fatiga. La interacción de cargas cíclicas, tensiones de tracción y deformaciones plásticas provoca fallos por fatiga. Si una de estas tres no está

presente, la falla por fatiga no se iniciará ni propagará. El 90% de las fallas de componentes mecánicos suceden por el mecanismo de fatiga. (Suarez et al, 2008, p. 103)

#### **2.2.7.3.2 Falla por Desgaste**

Esta falla se presenta en lugares donde los elementos están en contacto con otros componentes. A nivel macro esta falla se puede identificar por averías o desperfectos en la superficie sólida del componente; son ocasionados por el contacto entre la superficie y un sólido, líquido o gas. En esta falla no existen las superficies de fractura. (Suarez et al, 2008, p. 105)

#### **2.2.7.3.3 Inestabilidad Plástica (pandeo plástico).**

Tiene que ver con el funcionamiento del edificio. La persona puede tener miedo de utilizarlo. Además, puede provocar problemas de construcción como roturas. Cuando una sustancia alcanza el estado plástico, puede estabilizarse y provocar rápidamente un colapso plástico.

Otras veces, la rápida propagación de la grieta causada por la inestabilidad plástica puede dar lugar al fenómeno de la fractura dúctil rápida. Ahora se descubre que muchos fallos catastróficos que antes se atribuían a fracturas frágiles tenían su origen en inestabilidades dúctiles. Ingenieros e investigadores están prestando una atención especial a los fenómenos de fallo por inestabilidad dúctil como consecuencia del aumento de la resistencia y la tenacidad de los materiales en las últimas décadas. (Barrientosl & Razeto, 2014, p. 26)

#### **2.2.7.3.4 Fractura rápida (frágil, dúctil, mixta).**

“La fractura puede definirse como la separación o fragmentación de un cuerpo sólido en dos o más partes bajo el efecto de tensiones” (Barrientosl & Razeto, 2014, p. 27).

Las fracturas se dividen en dos categorías en función de la deformación plástica que puede soportar el material antes de romperse: *frágiles* y *dúctiles*. (Suarez et al., 2008)

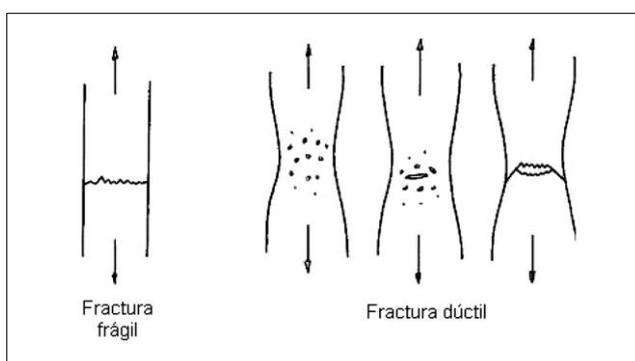
En pocas palabras, lo que hace que un material sea frágil es su incapacidad para detener la propagación de las grietas mediante la relajación de las tensiones locales a través de la deformación plástica. Si no hay tiempo suficiente para esta relajación, la grieta se propaga rápidamente y provoca una fractura frágil (carga de impacto).

Cuando se someten a un ensayo de tracción, algunos metales presentan una fractura dúctil, que se define como un apriete en la región central de la probeta. Las fracturas frágiles son las que se producen en sólidos que van precedidas de una deformación plástica muy leve, se propagan rápidamente y tienen una energía superficial baja.

El propio sistema de carga provoca una propagación acelerada de la grieta una vez que ésta empieza a crecer; este tipo de fractura rápida puede ir precedida o no de una extensión lenta de la grieta. Por otro lado, la extensión lenta de la grieta es una propagación estable que necesita que las cargas necesarias se eleven de forma constante para mantenerla. (Barrientosl & Razeto, 2014, p. 28)

#### Figura 24

*Fracturas de barras cilíndricas sometidas a tracción*



*Nota. Tomado de (Barrientosl & Razeto, 2014)*

### **2.2.7.3.5 Corrosión.**

La corrosión puede definirse como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque químico por su ambiente. Otros agentes, como el esfuerzo mecánico, continua exposición a factores climáticos y la erosión, también pueden contribuir a la corrosión. A continuación, se describen dos tipos de corrosión. (Suarez et al., 2008). La importancia del fenómeno de la corrosión está dada por el hecho de que en los diferentes países representa una pérdida considerable. Esto comprende tanto las pérdidas directas (rotura de equipos o maquinarias, reposición de piezas o partes, etc.) como perdidas indirectas (lucro cesante por salida de servicio, peligro para la vida, etc.). (Rascio et al., 1989, p. 5)

#### **- Corrosión uniforme.**

La corrosión uniforme puede ser descrita como una reacción de corrosión que ocurre por igual en toda la superficie del material, causando una pérdida general del metal. Su aspecto es rugoso, el menos peligroso de las formas de corrosión, pues es posible proyectar la velocidad de corrosión y reemplazar la pieza o reducir cargas cuando llegue a un nivel crítico.

#### **- Corrosión localizada.**

Se trata de variaciones en las condiciones locales de la superficie, pero sus consecuencias son peores que las de corrosión uniforme. Este tipo de corrosión se divide a nivel macroscópico y microscópico.

### **2.2.8 Inspección de estructuras metálicas.**

#### **2.2.8.1 Inspección de elementos estructurales y no estructurales.**

Entre las técnicas o procedimientos de inspección no destructiva, las inspecciones de superficie constituyen la primera línea de defensa contra los fallos de elementos mecánicos o estructurales en servicio. Normalmente, el síntoma de un problema



se identifica a partir de alguna manifestación superficial que se hace visible y que suele observarse con algún tipo de inspección superficial. (Rascio et al, 1989, p.4)

### **2.2.8.2 Inspección visual de pintura**

La difusión de oxígeno es el factor fundamental que determina la velocidad de corrosión, es obvio que esta velocidad se incrementa al reducir espesor de la capa acuosa depositada sobre la superficie incluso llegue al punto de perdido de capa. Capas más gruesas dificultan la llegada de oxígeno, en la práctica puede ocurrir que el deterioro por corrosión se acentúe si la capa de líquidos se elimina. El pintado de una superficie implica recubrirla con una capa o película de pintura de espesor variable con el objeto de protegerla contra la acción deteriorante del medio ambiente cuyo objetivo es proporcionar larga vida útil a estructuras sujetas a severas condiciones de servicio, evitándose así costosas operaciones de mantenimiento. (Rascio, y otros, 1989, p. 29).

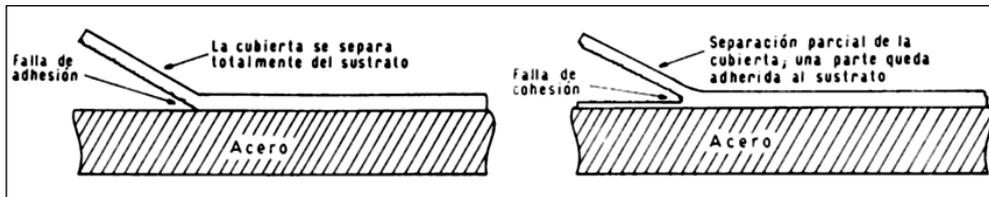
Los mecanismos de falla en relación a la pintura que causan mayor daño e inician el proceso de corrosión son la falla por adhesión, cohesión, ampollado de la película y socavamiento anódico.

#### **2.2.8.2.1 Falla de Adhesión – Cohesión.**

En la mayoría de los casos la adhesión ocurre por medio de fuerzas de dispersión y fundamentalmente, por la acción cooperativa de enlaces de hidrogeno e interacciones polares. La falla de adhesión ocurre cuando la cubierta se separa totalmente del sustrato mientras que la falla de cohesión se manifiesta en la separación parcial de la cubierta. Las fallas comunes que inician el deterioro de la cubierta incluyen abrasión, impacto, cuarteado, agrietado, acción de altas o bajas temperaturas, oxidación por acción de la luz ultravioleta. (Rascio et al., 1989, p. 39)

**Figura 25**

*Falla por Adhesión y Cohesión*



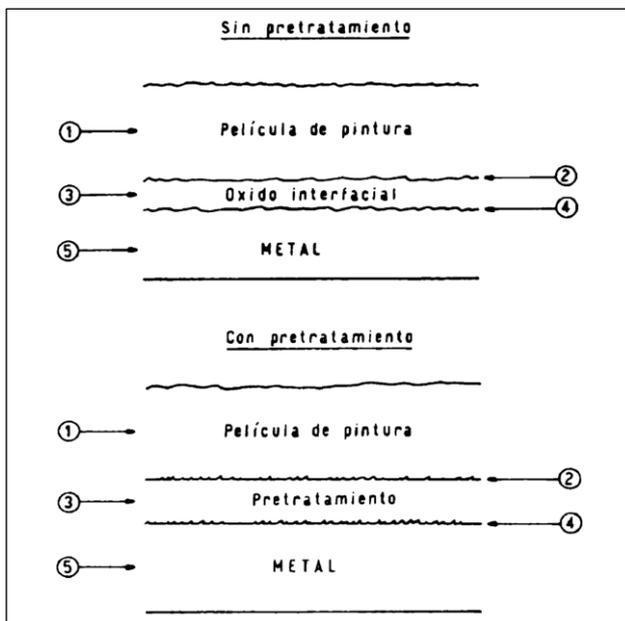
*Nota.* Tomado de (Rascio et al., 1989, p. 40)

#### 2.2.8.2.2 Socavamiento anódico

El socavamiento anódico representa la clase de reacciones de corrosión metálica que tienen lugar debajo de la película de pintura y en las que la reacción anódica es la causa principal de delaminación. La figura 26 muestra cinco zonas a lo largo de las cuales pueden tener lugar la delaminación o separación de la película del sustrato base. (Rascio et al., 1989, p. 33)

**Figura 26**

*Zonas donde puede ocurrir la delaminación.*



*Nota.* Tomado de (Rascio et al., 1989, p. 33)

### **2.2.8.2.3 Ampollado de la película**

El ampollado es una señal de la reducción de la capacidad protectora de la pintura. Las ampollas son áreas locales donde la pintura ha perdido adherencia al sustrato facilitando la acumulación de agua y en consecuencia generando zonas donde comenzaran a desarrollarse procesos de corrosión. Deberá observarse cuidadosamente la aparición de zonas donde la película ha perdido adhesividad o se presentan ampollas, lo cual puede ser índice de un proceso de corrosión no visible, que si no se detiene a tiempo puede resultar factor importante de deterioro. (Rascio et al., 1989, p. 32)

### **2.2.8.3 Inspección de fisuras y grietas en concreto**

Las grietas y fisuras son roturas que aparecen en el concreto como consecuencias de tensiones superiores a su capacidad resistente. La fisuración del concreto, es atribuible a numerosas causas, las fisuras pueden solo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. (Corral, 2004, p. 75).

#### **- Fisuras en concreto**

Las fisuras son aberturas de ancho de hasta 1 mm que afectan solamente a la superficie de una estructura de concreto, y su aparición está ligada a cambios de humedad, temperatura y al estado tensional.

#### **- Grietas en concreto**

Las grietas son aberturas cuyo ancho es mayor a 1 mm que afectan a la estructura de concreto en todo su espesor. Aparecen en cualquier elemento estructural o de cerramiento, estando asociada con el movimiento del suelo, reparto defectuoso de las cargas no previstas, sobrecargas, variaciones térmicas, entre los principales factores.



Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, como así también de la naturaleza de la fisuración. Las fisuras se caracterizan como fisuras en concreto estado plástico o fisuras en concreto endurecido. (Comite ACI 224, 1993, p. 2).

En la presente investigación únicamente se aborda las fisuras en concreto endurecido.

#### **2.2.8.3.1 Fisuración del concreto endurecido**

Según la ACI 224.1R (1993), la fisuración del concreto endurecido se puede presentar en los siguientes casos:

- **Tensiones de origen térmico.**

Los cambios diferenciales de volumen son el resultado de diferencias de temperatura dentro de estructuras de concreto armado o no armado. El concreto se agrietará si las tensiones de tracción provocadas por los cambios diferenciales de volumen son superiores a la capacidad del hormigón para soportarlas.

- **Corrosión de las armaduras.**

Los óxidos e hidróxidos de hierro se crean durante la corrosión del acero, y su volumen es sustancialmente mayor que el del hierro metálico original. Como resultado del aumento de volumen, empiezan a formarse fisuras radiales aisladas alrededor de las barras de refuerzo debido a las tensiones radiales de rotura. Estas fisuras radiales tienen el potencial de extenderse por toda la longitud de la barra, provocando el desprendimiento del hormigón o produciendo fisuras longitudinales.

- **Prácticas constructivas inadecuadas.**



El agrietamiento del concreto puede deberse a una amplia gama de técnicas de construcción deficientes. La práctica de añadir agua al concreto para hacerlo más manejable es la más frecuente. Se introduce agua, lo que debilita el material, provoca el asentamiento y hace que aumente la contracción por secado. El resultado será un aumento de las tensiones térmicas y quizá la aparición de grietas si esta técnica se combina con el uso de más cemento para compensar la pérdida de resistencia.

El grado de agrietamiento de una estructura de concreto aumentará en ausencia de curado. El secado hará que el cemento esté menos hidratado, lo que disminuirá la longevidad de la estructura, así como su resistencia a largo plazo.

Otros problemas que pueden provocar fisuración son el uso de apoyos inadecuados para encofrados, una compactación inadecuada y la colocación de juntas de contracción en puntos de tensión elevada.

- **Errores de diseño y detallado.**

Los errores de diseño y detallado pueden provocar fisuración inaceptable incluyen el uso de ángulos reentrantes mal detallados en las esquinas de muros, elementos y losas pre moldeados, la incorrecta selección y o detallado de las armaduras, la restricción de los elementos sujetos a cambios de volumen provocados por variaciones de temperatura y humedad, la falta de juntas de contracción adecuadas y el incorrecto diseño de las fundaciones, que provoca movimientos diferenciales dentro de la estructura.(pp. 3-6)

### **2.2.8.3.2 Evaluación de la fisuración**

Es importante identificar su ubicación y extensión. Se debería determinar si las fisuras observadas indican problemas estructurales actuales o futuros, considerando las condiciones actuales y las condiciones de carga anticipadas para

el futuro. La ubicación y magnitud de la fisuración, así como el estado general del concreto de una estructura se pueden determinar mediante observaciones directas e indirectas, ensayos no destructivos y destructivos y ensayos de testigos extraídos de la estructura. (Comite ACI 224, 1993, p. 2)

- **Observación directa e indirecta.**

**Tabla 7**

*Clasificación de fisuras y grietas en función a su ancho.*

<b>Clasificación por ancho (e)</b>	<b>Nivel de repercusión en la estructura</b>
Microfisuras $e < 0.05$ mm	“Nivel muy bajo”.
Fisuras $0.1 < e < 0.2$ mm	“Nivel bajo. Tener cuidado con ambientes marinos u otros agresivos donde pueda desencadenarse la corrosión del acero”.
Macrofisura $0.2 < e < 0.4$ mm	“Nivel moderado. Podrían existir repercusiones estructurales, se requiere estudio de vulnerabilidad para el diagnóstico y alternativas de reparación y/o reforzamiento en caso lo amerite”.
	“Nivel alto. Podría existir reducción de la capacidad sismorresistente. Se requiere estudio de vulnerabilidad para el diagnóstico, y alternativas de reparación y/o reforzamiento en lo aplicable”.
Grietas $1.0 \text{ mm} < e$	“Nivel muy alto. Posible reducción significativa de la capacidad sismoresistente. Se requiere estudio de vulnerabilidad para el diagnóstico y determinar la posibilidad de salvar la estructura. Dependiendo de los daños encontrados, se debe evaluar la evacuación y apuntalamiento de la edificación”.

*Nota.* Tomado de (Sotomayor, 2020, p. 2)

Se deben registrar las ubicaciones y anchos de las fisuras utilizando un esquema de la estructura. Marcar una grilla sobre la superficie de la estructura puede ser útil para ubicar con precisión las fisuras en el esquema

Algunos autores han relacionado las fisuras y grietas con el grado de peligrosidad de las estructuras, lo que ayuda a tomar decisiones al equipo de expertos que realizará los estudios de vulnerabilidad y patología. En particular para las condiciones agresivas y los compuestos peligrosos, la tabla 7 presenta una clasificación de las fisuras y fracturas en función de su anchura y del nivel de impacto en las estructuras expuestas. (Sotomayor, 2020, p. 2)

Se puede utilizar una tarjeta de comparación, que es una tarjeta con líneas distintas de cada anchura designada, para estimar el ancho de las grietas. Los esquemas se pueden complementar con fotografías que documenten la condición de la estructura en el momento de la investigación.

#### **2.2.8.4 Inspección de anclajes en concreto**

El control de calidad es el principal factor de construcción de anclajes en concreto. Los ingenieros suelen ser muy exigentes con las tolerancias al fabricar componentes estructurales de acero para edificios.

##### **2.2.8.4.1 Tolerancias**

Tolerancia es el término utilizado para describir la desviación aceptable de la posición dada. El ingeniero debe especificar las tolerancias adecuadas para la aplicación en cuestión.

##### **- Sistemas hormigonados in situ.**

Antes de colocar el concreto, es obligación del inspector asegurarse de que las dimensiones y la colocación de los anclajes se ajustan a los planos de la obra y a los requisitos técnicos. Para evitar que sean perturbados durante la colocación y el acabado



del concreto, los anclajes deben estar firmemente sujetos en su lugar, correctamente situados en el plano y tener un saliente suficiente. Para fijar los anclajes se pueden utilizar las siguientes técnicas: clavarlos a los encofrados (si es posible), fijar la plantilla superior a los encofrados, atar con alambre los pernos individuales o sus plantillas inferiores a los encofrados o a las armaduras, y soldarlos por puntos a las armaduras con el consentimiento del ingeniero.

- **Sistemas instalados en concreto endurecido.**

Los anclajes de los sistemas instalados en concreto endurecido se colocan en receptáculos u orificios taladrados. El inspector debe confirmar que los orificios o receptáculos están colocados correctamente.

Cuando se trata de taladrar agujeros, hay que asegurarse de que la broca se ha utilizado correctamente, de que el agujero ha quedado perpendicular a la superficie, de que el diámetro y la profundidad del agujero final son exactos y de que el equipo de taladrado es el adecuado.

#### **2.2.8.5 Inspección de la soldadura**

Para asegurar una buena soldadura en un trabajo determinado, deben seguirse tres pasos: 1) establecer buenos procedimientos de soldadura, 2) usar soldadores calificados y 3) emplear inspectores competentes en el taller y en la obra. (McCormac & Csernak, 2012)

Así mismo, la AISC indica que la observación de las operaciones de soldado y la inspección visual de soldaduras en proceso o completas debe ser el método primario para confirmar que los materiales, procedimientos y trabajos realizados sean conformes con los documentos constructivos.

Los ensayos no destructivos de juntas soldadas son los siguientes:

- Inspección visual.



- Ensayos ultrasónicos (UT)
- Ensayos de partícula magnética (MT)
- Ensayos penetrantes (PT)

Para la presente investigación se tomará como método primario la inspección visual, ya que la mayoría de elementos estructurales estudiados son vigas y columnas de alma abierta.

#### **2.2.8.5.1 Inspección Visual de la Soldadura.**

La inspección visual de soldaduras es una herramienta de vital importancia en la obtención de los resultados satisfactorios desde el punto de vista productivo y de calidad en los proyectos de construcción con soldadura. Enfocada y utilizada correctamente la inspección visual tiene elevadas posibilidades de detectar y corregir diversos inconvenientes de manera oportuna evitando los elevados gastos en tiempo y dinero. (Sanchez, 2015, p.17)

#### **2.2.8.5.2 Desarrollo de la Inspección Visual**

La inspección visual es esencialmente una serie de tareas que se llevan a cabo en distintas fases de desarrollo. A continuación, se presenta una división de los programas de formación de la AWS (American Welding Society):

- Fase A: revisión inicial.
- Fase B: verificación pre soldadura.
- Fase C: verificación durante la soldadura.
- Fase D: verificación posterior a la soldadura.

Para la presente investigación detallaremos únicamente la fase “D” ya que el análisis se realiza en estructuras existentes y más aún estructuras que se encuentran en funcionamiento, obviando las fases anteriores al montaje.

### 2.2.8.5.3 Verificación Posterior a la Soldadura.

Todas las soldaduras deberán de ser visualmente inspeccionadas y serán aceptables si satisfacen los criterios conforme indica el R.N.E. (E.090-Estructuras Metálicas).

**Tabla 8**

*Criterios de aceptación en la inspección visual*

<b>Aceptabilidad</b>	
Prohibición de grietas	“La soldadura no debe tener grietas”.
Fusión de la soldadura/metal de base	“Debe existir una completa fusión entre los diferentes cordones de soldadura y entre la soldadura y el metal base”.
Sección Recta del Cráter	“Todas cavidades deberán ser llenadas a la sección recta completa, excepto en los extremos de las soldaduras de filete intermitentes fuera de su longitud efectiva”.
Perfil de Soldadura	“Los perfiles de soldadura deberán de estar de acuerdo con 13.2.4e del R.N.E”.

*Nota.* Tomado de (Comité Especializado E.090, 2009)

Las condiciones sobre el ancho de la cara de soldadura de glóbulos de superficie individual y máxima convexidad se manifiestan en la siguiente tabla.

**Tabla 9**

*Convexidad máxima.*

<b>Ancho de la cara de soldadura o de glóbulos de superficie individual</b>	<b>Máxima convexidad, C</b>
$L \leq 8 \text{ mm}$	1.6 mm
$L > 8 \text{ mm hasta } <25 \text{ mm}$	3 mm
$L \geq 25 \text{ mm}$	5 mm

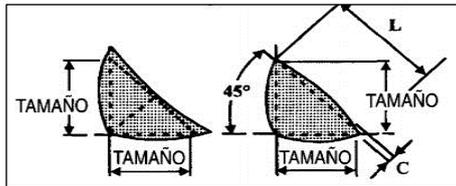
*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)

**Perfiles de soldadura de filete deseable;** Según se muestra en la figura 27, para aquellos que cumplen con las condiciones sobre el ancho de la cara de soldadura

de glóbulos de superficie individual y la máxima convexidad, conforme indica la tabla 9. Se guía el criterio de aceptabilidad de la soldadura.

### Figura 27

*Perfiles de soldadura de filete deseables.*

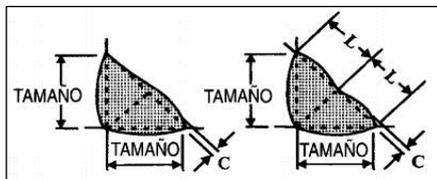


*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)

**Perfiles de soldadura de filete aceptable;** se muestra en la figura 28, para aquellos que cumplen las condiciones sobre el ancho de la cara de soldadura de glóbulos de superficie individual y la máxima convexidad, así indica la tabla 9.

### Figura 28

*Perfiles de soldadura de filete aceptables.*

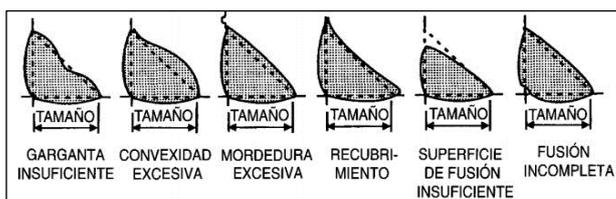


*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)

**Perfiles de soldadura de filete inaceptable;** se muestra en la figura 29, para aquellos que no cumplen con los criterios de soldadura y máxima convexidad.

### Figura 29

*Perfiles de soldadura de filete inaceptables.*



*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)



**Tiempo de Inspección:** “La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede empezar inmediatamente después que la soldadura completa se haya enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de inspección para los aceros ASTM A514, A517 estarán basadas en la inspección visual realizada a no menos de 48 horas después de finalizada la soldadura”.

**Menor tamaño de soldadura:** “Una soldadura de filete en cualquier soldadura continua simple, puede tener un menor tamaño, que el tamaño nominal del filete especificado por 1,6 mm sin corrección, si la porción de menor tamaño de la soldadura no excede el 10% de la longitud de la soldadura. En la soldadura de alma a ala en vigas, no se permite el menor tamaño de soldadura, en los extremos, para una longitud igual a 2 veces el ancho del ala”.

### **Socavación**

“(A) Para materiales menores que 25 mm de espesor, la socavación no excederá 1 mm con la excepción que se permite un máximo de 1,6 mm para una longitud acumulada de 50 mm en cualquier tramo de 300 mm. Para materiales iguales o mayores que 25 mm de espesor, la socavación no excederá 1,6 mm para cualquier longitud de soldadura”.

“(B) En miembros principales, la socavación no será mayor que 0,25 mm de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de carga de diseño y menor de 1 mm de profundidad para todos los otros casos”.

### **Porosidad**

“(A) La soldadura acanalada de penetración total en uniones a tope transversales a la dirección del esfuerzo calculado de tracción no debe tener porosidad alargada visible. Para todas las otras soldaduras acanaladas y para



soldaduras de filete, la suma de la porosidad alargada visible con diámetros de 1 mm y mayores no deberá exceder 10 mm en cualquier tramo de 25 mm de soldadura y no deberá exceder 19 mm en cualquier tramo de 300 mm de longitud de soldadura”.

“(B) La frecuencia de la porosidad alargada en soldaduras de filete no deberá exceder una en 100 mm de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder 2 mm. Excepción: para soldaduras de filete conectando rigidizadores de porosidad alargada no excederá 10 mm en cualquier tramo lineal de 25 mm y no excederá 19 mm en cualquier tramo de 300 mm de longitud de soldadura”. (Comite Especializado E.090, 2009, p. 118-121)

- **Finalizar, ordenar la documentación y preparar los reportes respectivos.**

Efectivamente se documentará toda información por cada institución parte del proyecto.

### **2.2.8.6 Inspección y Tolerancias en Elementos Estructurales**

El reglamento nacional de edificaciones (R.N.E.–E.090: tolerancias de la estructura). Acepta las diferencias en las proporciones totales de una estructura. Cuando tales diferencias no van más allá de los siguientes impactos, se considera que están dentro de los límites de las buenas prácticas de montaje.

El criterio de aceptación indica que la posición y alineamiento de las columnas metálicas se consideran aplomadas si la desviación del eje del trabajo no excede 1:500. (Comite Especializado E.090, 2009, p. 114)

### **2.2.9 Vulnerabilidad**

#### **2.2.9.1 Definición**

El instituto nacional de defensa civil INDECI (2006) define a la vulnerabilidad como “el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente



a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento pueda sufrir daños humanos y materiales” (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006, p. 3), así mismo la vulnerabilidad es entendida como “la predisposición intrínseca de un sujeto o de un elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas” (La Red, 2000, p. 8), o como “el porcentaje de pérdida de un elemento o de un grupo de elementos en un área sometida a una amenaza” (Uzielli et al, 2008, p. 22). En este contexto podríamos definir a la vulnerabilidad de estructuras metálicas ante eventos climáticos como la susceptibilidad de elementos estructurales metálicos a sufrir daños ante posibles eventos climáticos no convencionales.

Teniendo en cuenta que los recursos económicos son limitados, no es posible reducir la vulnerabilidad a un mínimo absoluto, además la demanda de un evento climático no convencional puede establecer sobre una estructura puede llegar a ser extrema, requiriendo de un sistema estructural suficiente. Es necesario entonces una evaluación cuantitativa de la amenaza ante eventos climáticos extremos que permita un diseño el cual logre equilibrar una resistencia ante eventos climáticos no convencionales con las limitaciones económicas. El equilibrio económico se da entre el costo adicional necesario para reducir la vulnerabilidad y el costo adicional de las pérdidas potenciales que se evitan con la primera inversión (Brommer, 2003)

### **2.2.9.2 Metodologías Para la Evaluación de la Vulnerabilidad**

Las líneas actuales de investigación se enfocan mayormente al riesgo sísmico, sin embargo, en la región de Puno, existen otros eventos extremos los cuales ponen en riesgo a este tipo de estructuras. Gracias a los avances sustanciales realizados en las técnicas experimentales y los métodos analíticos estructurales permiten determinar las propiedades mecánicas de las estructuras metálicas construidas. Por consiguiente, para el

desarrollo de este proyecto de investigación se usan bibliografías, bases teóricas, métodos y procedimientos sobre vulnerabilidad sísmica los mismos que se adaptan al concepto de vulnerabilidad ante eventos climáticos no convencionales.

“Los métodos han sido propuestos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en estudios de estimación de pérdidas pueden ser divididos en dos categorías principales: empíricas y analíticas ambas categorías pueden ser usadas dentro de los métodos híbridos” (Calvi et al., 2006, p. 8).

### 2.2.9.3 Métodos Empíricos

“Se caracterizan por un alto grado de subjetividad. Se usan cuando se dispone de limitada información, cuando se admite un resultado menos ambicioso y para evaluaciones preliminares. Son enfoques menos exigentes y más económicos” (Dolce, 1994, citado por Castro, 2019, p. 14)

Existen variedades de métodos de los cuales se mencionan los más importantes y se adopta un método empírico para el desarrollo de la presente investigación.

#### 2.2.9.3.1 Índices de Vulnerabilidad

Propuesto por (Benetti y Petrini, 1984). Este enfoque se basa en una importante cantidad de datos recogidos sobre el terreno, en los que se pretende identificar la tipología y los detalles constructivos de cada edificio. A continuación, los datos se combinan según reglas predeterminadas para elaborar un índice de vulnerabilidad ( $I_v$ ). Con este método se crea un índice de vulnerabilidad como medida ponderada de once parámetros, de los cuales sólo uno se obtiene mediante un modelo mecánico. Para determinar el índice de vulnerabilidad de cada edificio se utiliza la siguiente fórmula. (Zora, 2013, p. 25)

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} k_i w_i \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde  $W_i$  es el peso basado en la importancia proporcional de cada métrica y  $K_i$  es el coeficiente de calificación basado en las condiciones de calidad.

### 2.2.9.3.2 Curvas de Vulnerabilidad Continúas

Utiliza funciones de vulnerabilidad que se basan en el daño de edificios a causa de sismos pasados. Uno de los problemas en su formulación es el hecho de manejar la intensidad macro sísmica que no es una variable continua. Esta inconveniente fue superado por Spence en 1992 con la ayuda de su escala de intensidad sin parámetros, para derivar funciones de vulnerabilidad en términos de aceleración pico efectiva y basado en el año observado de edificios. (Zora, 2013, p. 25)

### 2.2.9.3.3 Propuesta de la Escala de Daño por la EERI (Eartchquake Engineering Research Institute)

Sugiere un marco totalmente nuevo para evaluar los daños que pueden sufrir diversos tipos de edificios tras un terremoto.

**Tabla 10**

*Definición de daño.*

Nivel	Estado de daño (%)	Definición
Ninguno	0	“Sin daño”
Ligero	0 – 5	“Daño no estructural aislado; costo de reparación menor al 5% del valor del mercado del edificio”
Moderado	5 – 25	“Daño considerado no estructural y daño estructural ligero; costo de reparación menor al 25% del valor del mercado”.
Severo	25 – 50	“Daño estructural considerable y daño no estructural excesivo; costo de reparación menor al 50% del valor del mercado”.
Total	50 – 100	“Más económico demoler que reparar”.
Colapso	>100	“Colapso de la estructura”

*Nota.* De acuerdo al EERI.



El EERI debe documentar exhaustivamente los daños sufridos por todos los edificios, incluso los del mismo tipo y tamaño, porque no siempre responden a los terremotos de la misma manera. Además, sugiere hacer un estudio tanto de las estructuras dañadas como de las no dañadas (EERI, 1996).

Dentro de la tabla 10, se tienen las escalas propuestas por Whitman et al, Hirschberg et al y Rojahn, y la propuesta por la NHCR dividida en 5 niveles, en donde trata de unificar las escalas de estos investigadores. Uno de los levantamientos del estado de daño de las estructuras más completo es el propuesto por Withman el año 1971. Cada estado de daño se identificó por una descripción subjetiva del daño físico y una relación objetiva del costo de reparación al costo de reposición.

#### **2.2.9.3.4 Propuesta de la Escala de Daño Estudiado Por La NHRC (Natural Hazards Research Centre)**

El Centro Nacional de Investigación de Huracanes (NHRC) ha reunido algunos de los índices de daños más completos para la evaluación de los daños en edificios provocados por catástrofes naturales como tornados, ciclones, corrimientos de tierras, incendios, terremotos, etc. La tabla 11 incluye los porcentajes de daños y las descripciones para cada uno de los niveles de daños sugeridos en esta guía.

Existen las escalas propuestas por Whitman et al, Hirschberg et al, y Rojahn, así como la escala de cinco niveles propuesta por el NHCR, que hace un esfuerzo por armonizar las escalas de estos investigadores.

El informe que Withman presentó en 1971 es uno de los análisis más completos del nivel de degradación estructural. Para identificar cada estado de deterioro se utilizó una descripción subjetiva de los daños físicos y una comparación objetiva de los costes de reparación con los de sustitución.

**Tabla 11**

*Definición de daño.*

<b>Daño estructural</b>	<b>Daño no estructural</b>	<b>Relación de daño (%)</b>	<b>Descripción del estado de daño</b>
Ninguno	Ninguno	0.00 - 0.05	“Sin daño”.
Ninguno	Menor	0.05 – 0.30	“Daño no estructural menor - grietas en algunos muros y tabique agrietados; daño irrelevantes en componentes mecánicos y eléctricos”.
Ninguno	Localizado	0.30 – 1.25	“Daño no estructural localizado – agrietamiento más importante (pero todavía no generalizado); posible daño en elevadores y/o otros componentes mecánicos y eléctricos”.
No apreciable	Generalizado	1.25 – 3.50	“Daño no estructural generalizado – posible agrietamiento en algunas vigas y columnas aunque no apreciables”.
Menor	Sustancial	3.50 – 7.50	“Daño estructural menor – agrietamiento obvio o cedencia de algunos elementos estructurales; daño sustancial no estructural con grietas generalizadas”.
Substancial	Extensivo	7.50 – 20.0	“Daño estructural sustancial en donde se requiere reparar o reemplazar algunos elementos estructurales; asociado a un daño importante en elementos no estructurales”.
Mayor	Cercano al total	20.0 – 65.0	“Daño estructural mayor, en donde se requiere reparar o reemplazar muchos elementos estructurales; el daño no estructural no asociado requiere reparar la mayor parte del interior; el edificio se desaloja durante la reparación”.
Declarado en ruina		100	“Edificio declarado en ruina”.
Colapso		100	“Colapso total”.

*Nota.* De acuerdo a NHRC (1973).

#### **2.2.9.4 Métodos Analíticos.**

Utilizando modelos mecánicos de respuesta estructural como base y las propiedades mecánicas de las estructuras como datos, los métodos analíticos evalúan la resistencia estimada de las estructuras. Son una estrategia minuciosa, rigurosa y costosa. Suelen llevar bastante tiempo y dependen en parte de la sofisticación con que se evalúen la calidad de la información y la aplicabilidad de los modelos. (Dolce, 1994, citado por Castro, 2019, p. 17)

Estas técnicas hacen uso de factores de carga o de colapso, que se calculan utilizando ideas de mecánica estructural, para determinar si se producirán daños o si puede surgir un mecanismo de fallo. Por tanto, mediante el modelado mecánico de estructuras, los enfoques mecánicos o analíticos pronostican las consecuencias de los fenómenos meteorológicos extremos sobre la estructura. Esta metodología permite la realización de estudios de sensibilidad detallados a través de análisis computacionales. Sin embargo, Este método, que construye las curvas de vulnerabilidad analíticamente, tiene algunos inconvenientes, uno de los cuales es el elevado coste informático de los modelos además de un alto consumo de tiempo para la realización de los respectivos análisis y las curvas de vulnerabilidad no pueden ser fácilmente obtenidas para diferentes zonas o países con diversas características de la construcción. (Calvi et al., 2006, p.16)

##### **2.2.9.4.1 El Procedimiento FaMIVE**

Desarrollado por D'Ayala y Speranza (2002), este método está basado en el cálculo de factores de colapso, el cual evalúa la vulnerabilidad de edificios y se basa en principios de mecánica estructural. FaMIVE a través del uso de un conjunto de reglas predefinidas, identifica el mecanismo de colapso más probable para lo cual se evalúa un factor de colapso mediante un proceso estático

equivalente. Este factor es sometido a varias modificaciones, lo cual lleva a la definición de un valor de vulnerabilidad relativo. Esta metodología no presenta una indicación clara de la manera en que el índice de vulnerabilidad calculado se pueda comparar con la vulnerabilidad relativa y no se tiene en cuenta el efecto de las incertidumbres que existen necesariamente en la capacidad estructural. (Consortio Microzonificación, 2007, p. 38)

#### **2.2.9.4.2 Metodología Basada en Desplazamientos**

También son un componente de las técnicas analíticas para evaluar la susceptibilidad de los edificios, en las que el desplazamiento es el principal indicador de los daños y una representación espectral de la demanda. La geometría y las características de las estructuras dentro de una clase o tipología estructural se utilizan en este procedimiento para aplicar los principios del método de diseño basado en el desplazamiento, en el que un sistema con múltiples grados de libertad se modela como un sistema con un grado de libertad y se tienen en cuenta diversos perfiles de desplazamiento basados en el mecanismo de fallo o el perfil de desplazamiento para un estado límite determinado. Calvi (1999) considero la variabilidad inherente en las propiedades estructurales dentro de un ambiente urbano, asignando valores máximos y mínimos a las variables. (Zora, 2013, p. 29)

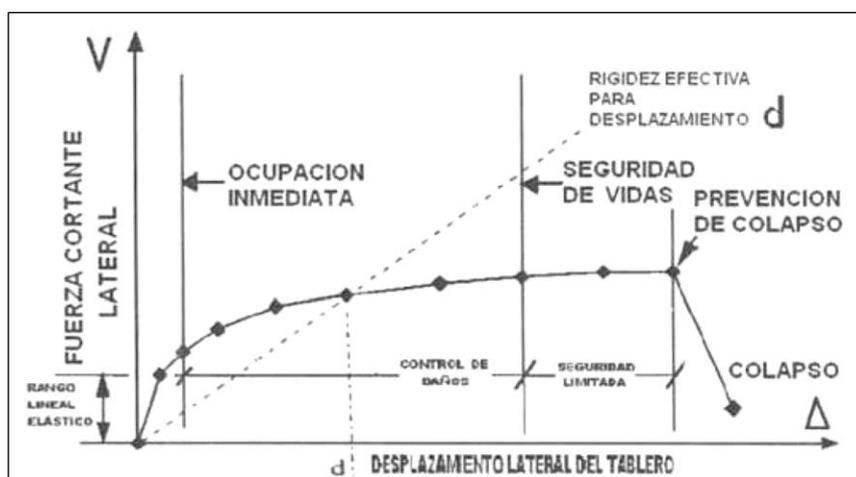
#### **2.2.9.4.3 Metodología FEMA**

El objetivo fundamental del seguro de vida es coherente con la metodología de la FEMA. Al exigir una baja probabilidad de colapso de las estructuras evaluadas cuando se ven sometidas a la acción de un suceso extremo, la técnica cumple el objetivo fundamental del seguro de vida. (Vielma & Cando, 2015, p. 28)

En FEMA 273 se especifican tres niveles de rendimiento que se muestran en la curva de capacidad. La ocupación inmediata es una condición de lesión leve con una pérdida mínima de rigidez y resistencia. El edificio debe poder repararse y presentar un riesgo mínimo para los ocupantes para que se considere seguro para la vida. La prevención del colapso es la fase inicial del colapso final, con un deterioro significativo de la rigidez y la resistencia. La curva de capacidad, que refleja el comportamiento global de la estructura y se produce mediante una técnica estática no lineal, muestra un comportamiento que depende de las partes constituyentes. (Hamburger, 1997 citado por Quintero, 2001, p. 21)

**Figura 30**

*Niveles de desempeño.*



*Nota.* Tomado de (FEMA 273, 1997).

Otros autores mencionan que “existen varios criterios para encontrar el punto de fluencia efectivo, que define el rango elástico, sin daño y el rango inelástico con daño” (Aguilar et al., 2015)

- **Descripción de la metodología.**

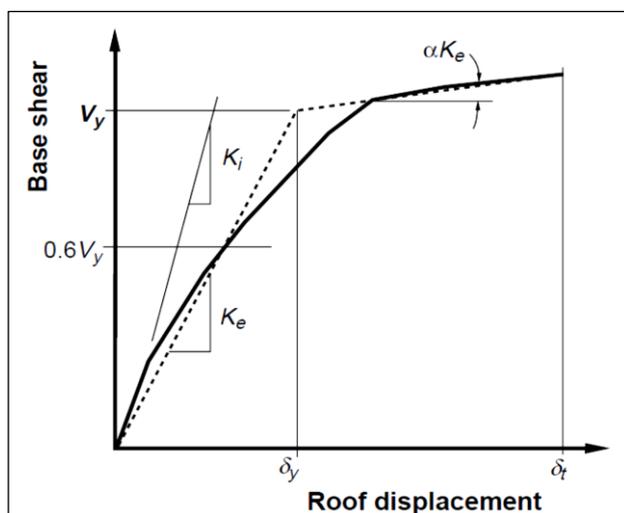
El modelo matemático del edificio se somete a incrementos de fuerzas laterales hasta que se alcanzan los desplazamientos límite o la estructura se derrumba por completo.

Las cargas gravitatorias deben mantenerse durante todo el procedimiento de carga para generar una curva de capacidad resistiva a la conclusión (pushover).

Cabe resaltar que esta metodología está desarrollada para la evaluación del desempeño sísmico, sin embargo, en la presente investigación se toma como referencia principal, el cual se adapta al desempeño de estructuras metálicas ante eventos climáticos no convencionales desarrollando la evaluación mediante un análisis estático lineal, el cual se detalla en el capítulo tres de la presente investigación.

**Figura 31**

*Representación de la curva de capacidad.*



*Nota.* Tomado de (FEMA 273, 1997)

**- Pasos de la metodología.**

El procedimiento de la metodología inicia con un desarrollo conceptual del sistema, y obtener información necesaria y requerida con el fin de suministrar información para el desarrollo de arquetipos, un prototipo que representa el



sistema estructural se denomina arquetipo. Se les exige que incluyan en sus arquetipos propuestos un conjunto de parámetros de diseño y características del sistema estructural que hayan sido elegidos para representar adecuadamente el espacio de diseño alcanzable y que tengan una influencia medible en la reacción del sistema estructural. Sirven de enlace entre la posibilidad de que se derrumbe una estructura y la predicción genérica del comportamiento necesaria para medir la eficacia de un tipo de edificio concreto.

Tras crear los arquetipos, pasamos a crear los modelos. La variedad de aplicaciones del sistema estructural propuesto está representada por un conjunto finito de escenarios que creamos diseñando arquetipos. Para el análisis de pórticos de celosías con cargas de gravedad otorgados por eventos climáticos no convencionales se tomará el modelo estático lineal, las cargas aplicadas por eventos climáticos no convencionales son entonces progresivamente escaladas hasta que se alcanza el colapso y finalmente realizar la evaluación de las prestaciones. (Vielma & Cando, 2015, p. 33)



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Enfoque

Según la definición y características del enfoque cuantitativo, “el enfoque cuantitativo refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas de investigación” (Hernandez, 2014, p. 5). La presente investigación esta direccionada bajo el enfoque cuantitativo.

##### 3.1.2 Tipo y Nivel

En el entendido de que “La investigación correlacional también se enmarca dentro de la metodología no experimental, y su contenido es hallar explicaciones mediante el estudio de relaciones entre variables en marcos naturales, sin que exista la manipulación de dichas variables” (Sanz & Meseguer, 2012, p. 104). El tipo de investigación que se aborda es de tipo correlacional, pues se tiene variables medibles, cuantificables y vinculadas entre sí.

#### 3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

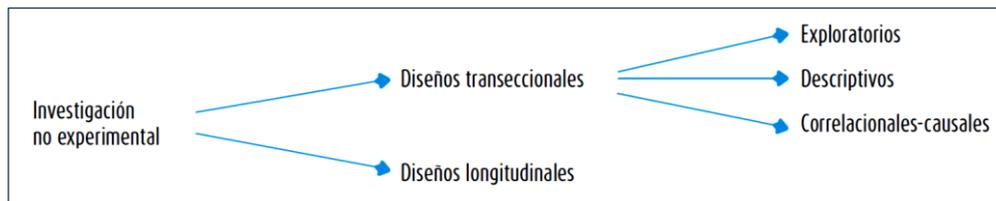
La investigación no experimental cuantitativa podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables independientes. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto en otras variables. (Hernandez, 2014, p. 152)

Así mismo, la investigación no experimental se divide en diseños transeccionales y diseños longitudinales, tal como se muestran en la figura 32.

Por tanto, el diseño adoptado en la presente investigación corresponde a diseños transeccionales, correlacionales – causales, debido a que se establecen relaciones entre variables en función a causa – efecto (causales).

### Figura 32

*Tipos de diseños no experimentales.*



*Nota.* Tomado de (Hernandez, 2014, p. 155)

## 3.3 VARIABLES

Para el presente trabajo de tesis se usó variables según su función en una relación causal, dividiéndose en variables independientes y variables dependientes ya que cuentan con características medibles y cuantificables.

### 3.3.1 Variables Independientes

Las variables independientes son los eventos climáticos no convencionales en la ciudad de Puno, pues son las causas que generan la variable dependiente.

**Tabla 12**

*Variable independiente*

<b>Variable independiente</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensión</b>
Eventos climáticos no convencionales	Eventos climáticos extremos ocurridos rara vez por cargas medioambientales	Velocidad del viento
		Precipitación de nieve

*Nota.* Se consideran dos variables independientes.

### 3.3.2 Variables Dependientes

Las variables dependientes es la vulnerabilidad estructural, pues son aquellas que se modifican por acción de la variable independiente.

**Tabla 13**

*Variable Dependiente.*

Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensión
Vulnerabilidad estructural	Susceptibilidad de elementos estructurales a sufrir daños	Método empírico
		Método analítico

*Nota.* Se considera dos variables dependientes.

### 3.3.3 Operacionalización de variables

Las variables independientes de velocidad del viento y precipitación de nieve, son aquellas ocurridas en los años 2017 y 2018, año donde ocurren los eventos de colapso de estructuras metálicas con cobertura de mallas raschel, la velocidad del viento, así como la precipitación de nieve son parámetros registrados por el SENAMHI, parámetros que al ser considerados eventos climáticos no convencionales, es decir aquellos que rara vez suceden obedecen al registro diario de parámetros máximos obtenidos durante los 365 días de los años 2017 y 2018.

La variable dependiente de vulnerabilidad estructural determinada mediante el método empírico se evalúa en función a la recolección y llenado de fichas de trabajo, mediante un procedimiento de inspección visual, para luego procesar mediante ponderados de la inspección.

La vulnerabilidad determinada mediante el método analítico, se evalúa en función al incremento de las variables independientes (viento y nieve), bajo un contraste real de colapso.

**Tabla 14**

*Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Fuente</b>
Variable independiente: Eventos climáticos no convencionales	Velocidad del viento	Registro histórico de la velocidad del viento	m/s	SENAMHI
	Precipitación de nieve	Registro histórico de la precipitación de nieve	Metros	SENAMHI
Variable dependiente: Vulnerabilidad estructural	Método empírico	- Cuestionario N°001 - Ficha de trabajo N°001 - Ficha de trabajo N°002 - Ficha de trabajo N°003 - Tablas de relación de daño.	Adimensional Adimensional Adimensional Adimensional	Inspección visual
	Método analítico	La variable será analizada mediante ratio de demanda sobre capacidad usando el software sap2000. Basado en un análisis estático lineal	Ratio (demanda/capacidad)	Análisis estático lineal y antecedentes históricos de colapso.

*Nota.* Puesta en funcionamiento de las variables.

### 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.4.1 Población.

La población objeto de esta investigación son las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria, dentro de la ciudad de Puno.

#### 3.4.2 Muestra.

La muestra es representativa de la población, es decir que tienen las mismas características que la población en calidad y proporción. Se ha tomado como tamaño de muestra un total de 03 instituciones educativas públicas de nivel primaria y 03

instituciones educativas públicas de nivel secundario las cuales están implementadas con estructuras metálicas con cobertura de malla raschel.

### 3.4.3 Tipo de Muestreo.

El tipo de muestreo para esta investigación es de tipo no probabilístico, se realizó el método de muestreo por conveniencia.

## 3.5 CASOS DE ESTUDIO

### 3.5.1 Descripción General

Antes de poder iniciar con el levantamiento de datos en campo se presentaron solicitudes dirigidas a las autoridades del plantel educativo, solicitando autorización y facilidades para la ejecución de la investigación, sin embargo, debido a las limitaciones descritas en el presente proyecto se verifico que 6 instituciones son compatibles en el entendido que las estructuras presentan características similares, en relación al tipo de pórtico.

### 3.5.2 Elección de las Instituciones

**Tabla 15**

*Instituciones educativas de nivel secundaria – autorizadas y compatibles.*

Nº	Nombre	Código de Investigación	Condición / Estado
1	Institución Educativa Secundaria “Industrial 32”	001-2021	Autorizado
2	Institución Educativa secundaria “José Carlos Mariátegui”.	002-2021	Autorizado
3	Institución Educativa Secundaria “San Antonio de Padua”	003-2021	Autorizado

*Nota.* Elaborado en base a los resultados obtenidos durante la visita a las instituciones.

El criterio de elección se basa en la elección por conveniencia, debido a que no todas las estructuras metálicas de las instituciones educativas visitadas comparten mismos

criterios de evaluación y comparación. En este contexto finalmente la elección de las instituciones educativas se muestra en la tabla 15 y tabla 16.

**Tabla 16**

*Instituciones educativas de nivel primaria – autorizadas y compatibles.*

Nº	Nombre	Código de Investigación	Condición / Estado
1	Institución Educativa Primaria “Nº 70024 – Laykakota”	004-2021	Autorizado
2	Institución Educativa Primaria “Nº 70010 – Gran Unidad Escolar San Carlos”	005-2021	Autorizado
3	Institución Educativa Primaria “Nº 71013 – Glorioso San Carlos”	006-2021	Autorizado

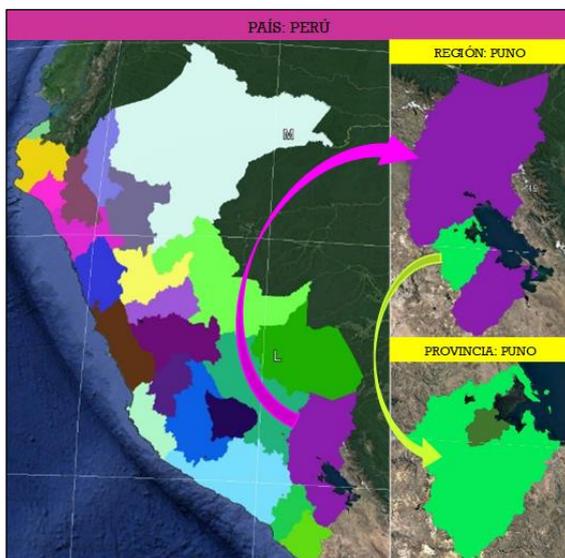
Nota. Elaborado en base a los resultados obtenidos durante la visita a las instituciones.

### 3.5.3 Ubicación.

La investigación se encuentra ubicado en la región de puno, provincia de Puno, distrito de Puno.

**Figura 33**

*Mapa satelital de ubicación geográfica de la investigación.*



Nota. Elaborado y extraído de Google earth.

Las instituciones educativas parte de la investigación, se encuentran dentro del distrito de Puno tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 34**

*Ubicación de la investigación.*



*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

Así mismo, se menciona a detalle la ubicación de cada una de las instituciones en coordenadas UTM con imagen satelital según corresponde.

- **Institución educativa secundaria Industrial 32.**

**Tabla 17**

*Coordenadas UTM I.E.S. Industrial 32.*

Zona	Longitud	Latitud	Dirección
19 L	391082.00 m E	8247702.00 m S	Av. Simón Bolívar N° 1505

*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

**Figura 35**

*Ubicación I.E.S. Industrial 32.*



*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

- Institución educativa secundaria “José Carlos Mariátegui”.

**Tabla 18**

*Coordenadas UTM I.E.S José Carlos Mariátegui.*

Zona	Longitud	Latitud	Dirección
19 L	391108.00 m E	8249853.00 m S	Jirón Jorge Basadre S/N

Nota. Elaborado y extraído de Google earth.

**Figura 36**

*Ubicación IES José Carlos Mariátegui.*



Nota. Elaborado y extraído de Google earth.

- Institución educativa secundaria “San Antonio de Padua”.

**Tabla 19**

*Coordenadas UTM I.E.S. San Antonio de Padua.*

Zona	Longitud	Latitud	Dirección
19 L	390091.00 m E	8248261.00 m S	Av. Huancane S/N

Nota. Elaborado y extraído de Google earth.

**Figura 37**

*Ubicación IES San Antonio de Padua.*



Nota. Elaborado y extraído de Google earth.

- **Institución educativa primaria N° 70024 “Laykakota”.**

**Tabla 20**

*Coordenadas UTM I.E.P. Laykakota.*

Zona	Longitud	Latitud	Dirección
19 L	390947.00 m E	8247851.00 m S	Jirón Luis Banchero Rossi 291

*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

**Figura 38**

*Ubicación IEP Laykakota.*



*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

- **Institución educativa primaria N° 70010 “Gran Unidad Escolar San Carlos”**

**Tabla 21**

*Coordenadas UTM I.E.P. Gran Unidad Escolar San Carlos*

Zona	Longitud	Latitud	Dirección
19 L	390309.00 m E	8248416.00 m S	Jr. Carabaya S/N

*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

**Figura 39**

*Ubicación IEP Gran Unidad San Carlos.*



*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

- **Institución educativa primaria N° 71013 “Glorioso San Carlos”**

**Tabla 22**

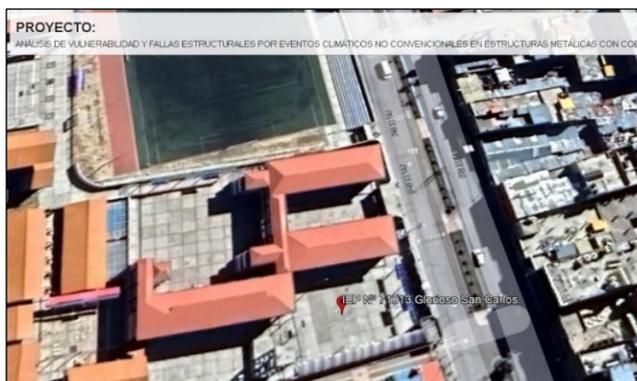
*Coordenadas UTM I.E.P. Glorioso san Carlos.*

<b>Zona</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Dirección</b>
19 L	390382.00 m E	8248992.00 m S	Av. El sol S/N.

*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

**Figura 40**

*Ubicación IEP Glorioso San Carlos.*



*Nota.* Elaborado y extraído de Google earth.

### **3.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Como ya se mencionó en el capítulo II, el método adoptado es el de análisis de vulnerabilidad sísmica, siendo este el más próximo a un análisis de vulnerabilidad ante eventos climáticos no convencionales, el mismo que se detalla en la figura 41.

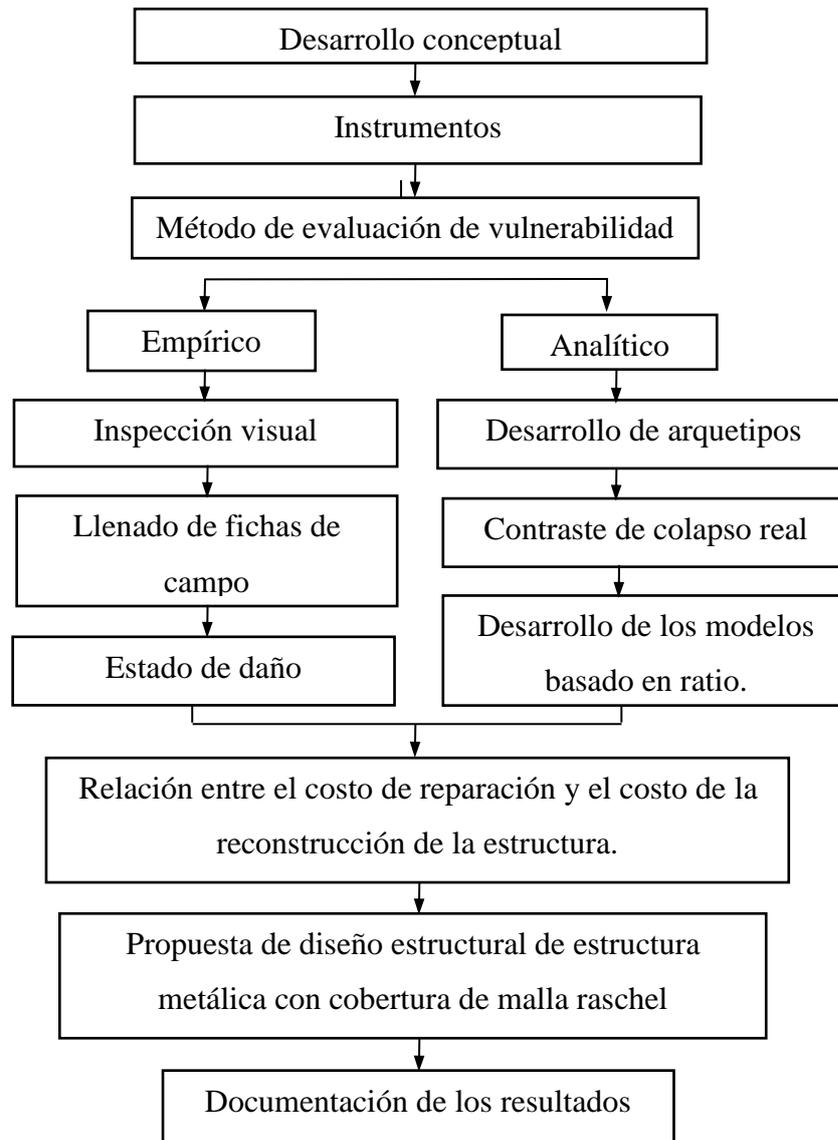
#### **3.6.1 Descripción de la metodología de investigación**

El plan que se desarrolla para obtener la información que se requiere en la presente investigación y responder al planteamiento del problema inicia con el desarrollo conceptual y recopilación bibliográfica información necesaria para elaborar los instrumentos de recolección de datos como cuestionarios, fichas de trabajos y replanteo de estructuras existentes, con el fin de acumular información necesaria para la evaluación de la vulnerabilidad bajo el método empírico y analítico, para finalmente proponer un

diseño estructural y poder estimar la relación entre el costo de reparación y el costo de reconstrucción de la estructura, en caso de colapso.

**Figura 41**

*Diseño metodológico de la investigación.*



*Nota.* Metodología adoptada para estructuras metálicas.

### 3.6.2 Instrumentos

Se utilizaron instrumentos de recolección de datos, los cuales tienen la función de recoger información suficiente para la recopilación de los indicadores de las variables



dependientes. Estos instrumentos fueron elaborados por el tesista los cuales se mencionan a continuación.

- Cuestionario N°001 (véase anexo 2).
- Ficha de trabajo N°001 (véase anexo 3).
- Ficha de trabajo N°002 (véase anexo 4).
- Ficha de trabajo N°003 (véase anexo 5).

### **3.6.2.1 Cuestionario N°001: Información general sobre la estructura metálica con cobertura de malla raschel**

El cuestionario N° 001 (véase anexo 2) contiene preguntas abiertas y cerradas, los que fueron aplicados a las autoridades de las instituciones en su mayoría directores y tiene como finalidad extraer información relevante sobre los antecedentes de la estructura metálica con cobertura de malla raschel. Así mismo, mencionar que los datos que recoge el presente cuestionario en su mayoría son de carácter informativo, ya que no son parte del proceso para determinar la vulnerabilidad, sin embargo, se puede determinar la relación que existe o no con los resultados obtenidos en la presente investigación.

#### **- Datos generales**

En este primer bloque se solicita el nombre y lugar de la institución educativa, así como la fuente de financiamiento con el que fue ejecutado y finalmente se pregunta si durante la etapa de fabricación, montaje e instalación se realizó bajo la supervisión de algún especialista. Estas dos últimas interrogantes ayudan a realizar una evaluación costo beneficio y la importancia de contratar un profesional que guie de forma correcta todo el proceso de ejecución.

#### **- Antecedentes de la estructura**

En este bloque se plantean interrogantes relacionados a posibles fallas y colapsos de la estructura que hayan sucedido anterior a la ejecución de la presente investigación,



los cuales guardan relación directa con la edad de diseño de este tipo de estructuras. Cabe mencionar que este cuestionario se aplicó a los directores de las instituciones los mismo que carecen de información precisa sobre tipos de fallas en elementos estructurales, en este contexto sobre la pregunta, si en algún momento la estructura sufrió fallas visibles, únicamente hace referencia a fallas muy evidentes, los que pueden detectarse a simple vista.

### **3.6.2.2 Fichas de trabajo**

Previo a la recolección de datos se elaboraron fichas de trabajo que “son instrumentos en los que se plasma por escrito información importante, tras realizar el proceso de búsqueda de información. Al organizar la información de esta forma, es más fácil concatenar las ideas sobre un tema y encontrarlo con facilidad” (Castro, 2016, p.1), estas herramientas ayudan a extraer información de manera elaborada y ordenada para un buen manejo y procesamiento de datos.

Según Hernández (2014) para la recolección de datos en la investigación se disponen de ocho métodos, de los cuales se adoptaron los métodos de observación, pruebas estandarizadas y finalmente instrumentos y procedimientos específicos propios de cada disciplina.

#### **3.6.2.2.1 Ficha de trabajo N°001: Inspección visual de la estructura metálica con cobertura de malla raschel y componentes.**

La ficha de trabajo N° 001 (véase anexo 3), está elaborada en función a la propuesta de la Escala de daño estudiado por la NHRC (Natural Hazards Research Centre), adaptada a la inspección visual de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel y sus componentes en relación al daño estructural y daño no estructural.

Esta ficha es aplicable a todas las instituciones tanto de nivel primaria y secundaria y contiene la siguiente información:

- Objetivo.
- Alcance.
- Referencia bibliográfica.
- Equipos y herramientas.
- Indicaciones que deben ser registradas.
- Evaluación de indicaciones.
- Reporte de inspección.

El reporte de inspección está dividido en dos bloques: en relación directa al daño no estructural y daño estructural.

### **A. Daño no estructural**

#### **A.1. Inspección visual de pintura.**

Si bien es cierto existen varios defectos que puede presentar la pintura luego de la aplicación, en este apartado se consideran aquellas fallas que exponen el daño no estructural. La escala de evaluación para la inspección visual de la pintura se clasifico en cuatro niveles.

**Tabla 23**

*Escala de evaluación de la inspección visual de pintura.*

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Ninguno	Sin daño.
Menor	Daño irrelevante como presencia de polvo y suciedad.
Localizado	Falla de cohesión, socavamiento anódico y ampollado de película.
Generalizado	Falla de adhesión y corrosión.

Nota. Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

#### **A.2. Inspección visual de malla raschel.**

En este bloque, se realiza la inspección del estado en que se encuentran la cobertura de malla raschel, cabe resaltar que la evaluación es de carácter funcional es

decir que generan daño no estructural, la calificación se realiza en cuatro niveles los cuales se detallan a continuación.

#### **Tabla 24**

*Escala de evaluación de la inspección visual de malla raschel.*

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Ninguno	“Sin daño”.
Menor	“Daño irrelevante como desgaste de la malla, es funcional”.
Localizado	“La malla presenta desprendimiento, aun es funcional”.
Generalizado	“La malla presenta daño grave, no es funcional”.

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

#### A.3. Inspección visual del sistema del funcionamiento.

En este bloque, se verifica con qué tipo de sistema funciona el tendido de la cobertura con malla raschel. Así mismo, se realiza la inspección del estado en que se encuentra el sistema de funcionamiento, estos parámetros de calificación se establecen en función a la relación de daño no estructural, la calificación se realiza en cuatro niveles los cuales se detallan a continuación.

#### **Tabla 25**

*Escala de evaluación de la inspección del sistema de funcionamiento.*

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Ninguno	“Sin daño”.
Menor	“Daño irrelevante en sus componentes, el sistema se encuentra en funcionamiento”.
Localizado	“Daño en componentes mecánicos y/o eléctricos, el sistema aún se encuentra en funcionamiento”.
Generalizado	“Indica que el sistema no está en funcionamiento”.

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

#### **B. Daño estructural**

##### B.1. Inspección visual de base de concreto.

En este bloque, se verifica el estado en que se encuentra la base de concreto donde la columna metálica se encuentra empotrada. Los parámetros de calificación se establecen

en función al daño estructural, evaluando de acuerdo al ancho de la fisura o grieta en el concreto. La ubicación y magnitud de la fisuración, así como el estado general del concreto se determinó mediante observaciones directas la calificación se realiza en cuatro niveles los cuales se detallan en la tabla 26.

**Tabla 26**

*Escala de evaluación de la inspección visual de la base de concreto.*

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Ninguno	“Sin daño (microfisuras menores a 0.05 mm)”
Menor	“Fisuras y macrofisuras (0.2 mm - 0.4 mm)”
Substancial	“Grietas entre 0.4 mm - 1.00 mm”
Mayor	“Grietas mayores a 1.00 mm”

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

#### B.2. Inspección visual del viento de anclaje.

En este bloque, se realiza la inspección visual del estado en que se encuentran los anclajes, estos parámetros se establecen en función al daño estructural, la calificación se realiza en cuatro niveles los cuales se detallan en la tabla 27:

**Tabla 27**

*Escala de evaluación de la inspección visual del anclaje.*

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Ninguno	“Sin daño”.
Menor	“Desgaste y desprendimiento de sus accesorios”.
Substancial	“Requiere reparación y/o cambio de algunos puntos de anclaje”.
Mayor	“Requiere reparación y/o cambio de muchos puntos de anclaje”.

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC y Comité ACI .

Así mismo, dentro de esta inspección visual, se verifica si los vientos de anclaje, compromete a otras estructuras colindantes, es decir donde exactamente se anclaron los vientos, mencionando a que estructuras está afectando.

#### B.3. Inspección visual de columnas y vigas metálicas.

En este bloque, se realiza la inspección visual del estado en que se encuentran los elementos principales de la estructura como la columna y viga metálica, estos parámetros se establecen en función al daño estructural, la calificación se realiza en cuatro niveles los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 28**

*Escala de evaluación de la inspección visual.*

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Ninguno	“Sin daño”.
Menor	“Cedencia de algunos elementos estructurales”.
Substancial	“Se requiere reparar o reemplazar algunos elementos estructurales”.
Mayor	“Se requiere reparar o reemplazar muchos elementos estructurales”.

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

#### **3.6.2.2.2 Ficha N°002: Inspección visual de soldadura**

La ficha de trabajo N° 002 (véase anexo 4), está elaborada en función a la propuesta de la Escala de daño estudiado por la NHRC, adaptada a la inspección visual de soldadura en relación al daño estructural. Así mismo, la ficha de inspección visual de soldadura, se elaboró en concordancia con el reglamento nacional de edificaciones (R.N.E.–E.090: requisitos mínimos de ejecución de la soldadura) y contiene la siguiente información:

- Objetivo.
- Alcance.
- Normas y documentos de referencia.
- Equipos y herramientas.
- Métodos de inspección.
- Indicaciones que deben ser registradas.
- Evaluación de indicaciones.

- Criterios de aceptación.
- Reporte de inspección.

El criterio de aceptación es evaluada in situ, todas las soldaduras deberán de ser visualmente inspeccionada y serán aceptables si satisfacen los criterios del R.N.E. el cual se detalla a continuación.

**Tabla 29**

*Criterios de aceptación en la inspección visual de soldadura*

<b>Categoría de Discontinuidad y Criterio de Inspección</b>	<b>Conexiones de Elementos No Tubulares Cargadas Estáticamente</b>	<b>Conexiones de Elementos Tubulares (Todas las cargas)</b>
1) Prohibición de grietas.	Aplicable	Aplicable
2) Fusión de la soldadura/metal de base.	Aplicable	Aplicable
3) Sección Recta del Cráter.	Aplicable	Aplicable
4) Perfil de Soldadura.	Aplicable	Aplicable
5) Tiempo de Inspección.	Aplicable	Aplicable
7) Socavación.	Aplicable	Aplicable
8) Porosidad.	Aplicable	Aplicable

*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)

El perfil de soldadura se evalúa conforme el siguiente criterio de la tabla 30.

**Tabla 30**

*Convexidad máxima.*

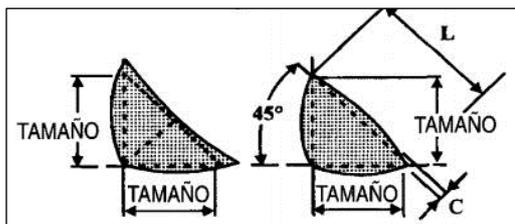
<b>Ancho de la cara de soldadura o de glóbulos de superficie individual</b>	<b>Máxima convexidad, C</b>
$L \leq 8 \text{ mm}$	1.6 mm
$L > 8 \text{ mm hasta } <25 \text{ mm}$	3 mm
$L \geq 25 \text{ mm}$	5 mm

*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)

**Perfiles de soldadura de filete deseable;** en la ficha de inspección visual de soldadura estos perfiles obedecen al tipo “A” como se muestra en la figura 42, para aquellos que cumplen con las condiciones sobre el ancho de la cara de soldadura de glóbulos de superficie individual y la máxima convexidad.

**Figura 42**

*Perfiles de soldadura de filete deseables tipo A.*

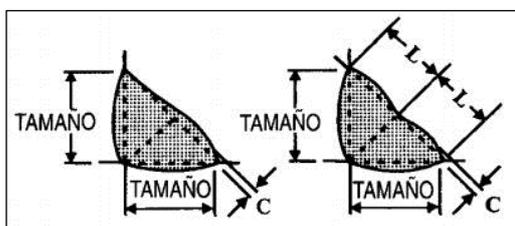


*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)

**Perfiles de soldadura de filete aceptable;** en la ficha de inspección visual de soldadura estos perfiles obedecen al tipo “B” como se muestra en la figura 43, para aquellos que cumplen con las condiciones sobre el ancho de la cara de soldadura de glóbulos de superficie individual y la máxima convexidad.

**Figura 43**

*Perfiles de soldadura de filete aceptables tipo B.*

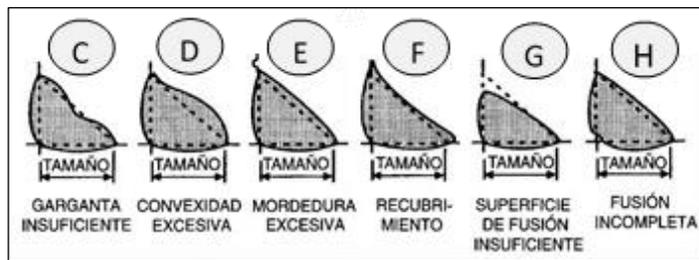


*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)

**Perfiles de soldadura de filete inaceptable;** en la ficha de inspección visual de soldadura estos perfiles obedecen al tipo “C, D, E, F, G y H” como se muestra en la figura 44, para aquellos que no cumplen con los criterios de ancho de cara de soldadura y máxima convexidad.

## Figura 44

*Perfiles de soldadura de filete inaceptables tipo C, D, E, F, G y H*



*Nota.* Tomado de (Comite Especializado E.090, 2009)

Esta evaluación se realizó en tres puntos por columna, la cantidad de columnas es variable dependiendo al tipo de estructura.

### 3.6.2.2.3 Ficha N°003: Tolerancias dimensionales en la estructura.

La ficha de trabajo N° 003 (véase anexo 5), está elaborada en función a la propuesta de la Escala de daño estudiado por la NHRC (Natural Hazards Research Centre). Así mismo, la ficha de tolerancias dimensionales en la estructura, se elaboró en concordancia con el reglamento nacional de edificaciones (R.N.E.–E.090: tolerancias de la estructura). Esta ficha es aplicable a todas las instituciones tanto de nivel primaria y secundaria los cuales se muestran en el anexo 5 de la presente investigación y contiene la siguiente información:

- Objetivo.
- Alcance.
- Normas y documentos de referencia.
- Equipos y herramientas.
- Indicaciones que deben ser registradas.
- Evaluación de indicaciones.
- Criterios de aceptación.



El criterio de aceptación en la posición y alineamiento de la columna metálica consideran aplomadas si la desviación del eje del trabajo no excede 1:500. Esta evaluación se realizó en tres puntos por cada columna la cual se califica con términos de aceptable y no aceptable.

### **3.6.3 Limitaciones en el Levantamiento de Información**

Durante el desarrollo de la presente investigación se presentaron varias limitaciones para el levantamiento de información:

- La presente investigación se desarrolló durante la pandemia que aqueja a nuestro país debido al COVID-19. Siendo esta la principal limitación en el levantamiento y recolección de datos, debido a que las instituciones educativas trabajaron de manera remota.
- Al momento de la investigación las estructuras con cobertura de malla raschell, no se encuentran en funcionamiento, debido a que las clases presenciales se suspendieron.
- La visita a las instituciones educativas, son puntuales, puesto que el personal de servicio obedece a horarios reducidos.
- Los ensayos destructivos no fueron autorizados, debido a que las estructuras metálicas aún están cumpliendo su función, por consiguiente, para la ejecución de la presente investigación se autorizó únicamente la realización de ensayos no destructivos.

### **3.6.4 Método de Evaluación de Vulnerabilidad**

En la presente investigación la evaluación de vulnerabilidad se realizó mediante el método empírico y analítico.

### 3.6.4.1 Método Empírico

De la variedad de métodos empíricos propuestos por diferentes autores se adopta la escala de daño estudiado por la NHRC ya que es el método que más se asemeja en relación a eventos climáticos no convencionales.

#### 3.6.4.1.1 Escala de daño estudiado por la NHRC, la NHRC (Natural Hazards Research Centre).

Para la aplicación de la escala de daño estudiado por la NHRC, se adaptaron los indicadores, mismo que están sustentados con las fichas de trabajo N°001 (véase anexo 3), ficha de trabajo N°002 (véase anexo 4) y la ficha de trabajo N°003 (véase anexo 5).

**Tabla 31**

*Estado de daño cero.*

Relación de daño (%)	Indicadores	Descripción del estado de daño
0.00 - 0.05		Sin daño.
Ficha de trabajo N°001	Inspección visual de pintura en columna.	Ninguno.
	Inspección visual de pintura en viga.	Ninguno.
	Inspección visual de malla raschel.	Ninguno.
	Inspección visual del sistema de funcionamiento.	Ninguno.
	Inspección visual de la base de concreto.	Ninguno.
	Inspección visual del anclaje.	Ninguno.
	Inspección visual de la columna.	Ninguno.
Ficha de trabajo N° 002	Inspección visual de la soldadura NO ACEPTABLE AL 0.05%	Ninguno.
	Ficha de trabajo N° 003	Tolerancia dimensional NO ACEPTABLE AL 0.05%

*Nota.* Elaborado en función a la escala de daño estudiado por la NHRC.

Todos estos datos son procesados en la ficha de determinación de relación de daño, correspondiente a la ficha de trabajo N°004 (véase anexo 6). Esta ficha es aplicable a todas las instituciones tanto de nivel primaria y secundaria los cuales se muestran en el anexo 6 de la presente investigación.

La ficha de trabajo N°004 (véase anexo 6) ficha de determinación de relación de daño adoptada de la escala de daño estudiado por la NHRC está en escala de nueve niveles divididas progresivamente desde la relación de daño no estructural, relación de daño estructural y colapso de la estructura, a continuación, se presentan los criterios tomados para la escala de daño estudiado por la NHRC, para cada nivel de estado de daño.

- **Estado de daño cero.**

El estado de daño igual a cero, indica como daño estructural ninguno, daño no estructural ninguno, relación de daño desde 0.00 % - 0.05 % y descripción del estado de daño catalogado como sin daño. Para la evaluación del estado de daño igual a cero se consideran los criterios de la tabla 31.

**Tabla 32**

*Estado de daño uno.*

Relación de daño (%)	Indicadores	Descripción del estado de daño
0.05 - 0.3		
Ficha de trabajo N°001	Inspección visual de pintura en columna.	Daño irrelevante como presencia de polvo y suciedad.
	Inspección visual de pintura en viga.	Daño irrelevante como presencia de polvo y suciedad.
	Inspección visual de malla raschel.	Daño irrelevante como desgaste de la malla, es funcional.
	Inspección visual del sistema de funcionamiento.	Daño irrelevante en sus componentes, el sistema se encuentra en funcionamiento.

*Nota.* Elaborado en función a la escala de daño estudiado por la NHRC.

- **Estado de daño uno.**

El estado de daño igual a uno, indica como daño estructural ninguno, daño no estructural menor, relación de daño desde 0.05 % - 0.3 % y la descripción del estado de daño catalogado es variable según los indicadores. Para la evaluación del estado de daño igual a uno se consideran los criterios de la tabla 32.

- **Estado de daño dos.**

El estado de daño igual a dos, indica como daño estructural ninguno, daño no estructural localizado, relación de daño desde 0.3 % - 1.25 % y la descripción del estado de daño catalogado es variable según los indicadores. Para la evaluación del estado de daño igual a dos se consideran los siguientes criterios.

**Tabla 33**

*Estado de daño dos.*

Relación de daño (%)	Indicadores	Descripción del estado de daño
0.3 - 1.25	Inspección visual de pintura en columna.	Falla de cohesión, socavamiento anódico y ampollado de película.
	Inspección visual de pintura en viga.	Falla de cohesión, socavamiento anódico y ampollado de película.
	Ficha de trabajo N°001 Inspección visual de malla raschel.	La malla presenta desprendimiento, aun es funcional.
	Inspección visual del sistema de funcionamiento.	Daño en componentes mecánicos y/o eléctricos, el sistema aún se encuentra en funcionamiento.

*Nota.* Elaborado en función a la escala de daño estudiado por la NHRC.

- **Estado de daño tres.**

El estado de daño igual a tres, indica como daño estructural no apreciable, daño no estructural generalizado, relación de daño desde 1.25 % - 3.50 % y la descripción del

estado de daño catalogado es variable según los indicadores. Para la evaluación del estado de daño igual a tres se consideran los siguientes criterios.

**Tabla 34**

*Estado de daño tres.*

Relación de daño (%)	Indicadores	Descripción del estado de daño
1.25 - 3.50		
Ficha de trabajo N°001	Inspección visual de pintura en columna.	Falla de adhesión y corrosión.
	Inspección visual de pintura en viga.	Falla de adhesión y corrosión.
	Inspección visual de malla raschel.	La malla presenta daño grave, no es funcional.
	Inspección visual del sistema de funcionamiento.	Indica que el sistema no está en funcionamiento.

*Nota.* Elaborado en función a la escala de daño estudiado por la NHRC.

**Tabla 35**

*Estado de daño cuatro.*

Relación de daño (%)	Indicadores	Descripción del estado de daño
3.50 - 7.50		
Ficha de trabajo N°001	Inspección visual de la base de concreto.	Fisuras y microfisuras (0.2 mm - 0.4 mm)
	Inspección visual del anclaje.	Desgaste y desprendimiento de sus accesorios.
	Inspección visual de la columna.	Cedencia de algunos elementos estructurales.
	Inspección visual de la viga.	Cedencia de algunos elementos estructurales.
Ficha de trabajo N°002	Inspección visual de la soldadura NO ACEPTABLE AL 0.05%	Inspección visual de la soldadura no aceptable menor al 7.50%
Ficha de trabajo N° 003	Tolerancia dimensional NO ACEPTABLE AL 0.05%	Tolerancia dimensional no aceptable menor al 7.50%

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

- **Estado de daño cuatro.**

El estado de daño igual a cuatro, indica como daño estructural menor, daño no estructural sustancial, relación de daño desde 3.50 % - 7.50 % y la descripción del estado de daño catalogado es variable según los indicadores. Para la evaluación del estado de daño igual a cuatro se consideran los criterios de la tabla 35.

- **Estado de daño cinco.**

El estado de daño igual a cinco, indica como daño estructural sustancial, daño no estructural extensivo, relación de daño desde 7.50 % - 20.00 % y la descripción del estado de daño catalogado es variable según los indicadores. Para la evaluación del estado de daño igual a cinco se consideran los siguientes criterios.

**Tabla 36**

*Estado de daño cinco.*

Relación de daño (%)	Indicadores	Descripción del estado de daño
7.50 - 20.00	Inspección visual de la base de concreto.	Grietas entre 0.4 mm - 1.00 mm.
	Inspección visual del anclaje.	Requiere reparación y/o cambio de algunos puntos de anclaje.
	Inspección visual de la columna.	Se requiere reparar o reemplazar algunos elementos estructurales.
	Inspección visual de la viga.	Se requiere reparar o reemplazar algunos elementos estructurales.
Ficha de trabajo N° 001	Inspección visual de la soldadura NO ACEPTABLE AL 20.00%	Inspección visual de la soldadura no aceptable menor al 20.00%
Ficha de trabajo N° 002	Tolerancia dimensional NO ACEPTABLE AL 20.00%	Tolerancia dimensional no aceptable menor al 20.00%
Ficha de trabajo N° 003		

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

- **Estado de daño seis.**

El estado de daño igual a seis, indica como daño estructural mayor, daño no estructural cercano al total, relación de daño desde 20.00 % - 65.00 % y la descripción del estado de daño catalogado es variable según los indicadores. Para la evaluación del estado de daño igual a seis se consideran los siguientes criterios.

**Tabla 37**

*Estado de daño seis.*

Relación de daño (%)	Indicadores	Descripción del estado de daño
20.00 - 65.00	Inspección visual de la base de concreto.	Grietas mayores a 1.00 mm
	Inspección visual del anclaje.	Requiere reparación y/o cambio de muchos puntos de anclaje.
	Ficha de trabajo N° 001 Inspección visual de la columna.	Se requiere reparar o reemplazar muchos elementos estructurales.
	Inspección visual de la viga.	Se requiere reparar o reemplazar muchos elementos estructurales.
Ficha de trabajo N° 002	Inspección visual de la soldadura NO ACEPTABLE AL 65.00%	Inspección visual de la soldadura no aceptable menor al 65.00%
Ficha de trabajo N° 003	Tolerancia dimensional NO ACEPTABLE AL 65.00%	Tolerancia dimensional no aceptable menor al 65.00%

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

- **Estado de daño siete.**

El estado de daño igual a siete, indica como daño estructural declarado en ruina, relación de daño desde 100.00 % y la descripción del estado de daño catalogado es

variable según los indicadores. Para la evaluación del estado de daño igual a siete se consideran los siguientes criterios.

**Tabla 38**

*Estado de daño siete.*

<b>Relación de daño (%)</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Descripción del estado de daño</b>
100.00	Criterios de no aceptabilidad al 100.00 %	Estructura declarada en ruina.

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

- **Estado de daño ocho.**

El estado de daño igual a ocho, indica como daño estructural colapso, relación de daño desde 100.00 % y la descripción del estado de daño catalogado es variable según los indicadores. Para la evaluación del estado de daño igual a ocho se consideran los siguientes criterios.

**Tabla 39**

*Estado de daño ocho.*

<b>Relación de daño (%)</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Descripción del estado de daño</b>
100.00	Criterios de no aceptabilidad al 100.00 %	Colapso de la estructura.

*Nota.* Elaborado y adaptado de la escala de daño estudiado por la NHRC.

### **3.6.4.2 Método analítico**

#### **3.6.4.2.1 Metodología FEMA adoptada para la presente investigación.**

- **Desarrollo de arquetipos**

Los arquetipos en lo posible deberán aglomerar datos con la capacidad de representar el sistema estructural existente, con posibilidades de análisis posteriores. En esta investigación, los sistemas de arquetipo son el equivalente al levantamiento de planos post construcción de las estructuras metálicas existentes, así como el desarrollo de modelo

estructural, sin embargo, es prácticamente imposible cuantificar las prestaciones de todas las posibles aplicaciones. En cualquier caso, deben reflejar las desviaciones permitidas, y las cualidades que conforman los arquetipos deben incluir lo siguiente.

#### Tabla 40

*Contenido de los arquetipos.*

---

<b>Especificaciones técnicas</b>	
<b>Características de los materiales</b>	Resistencia del acero, por cada material que componen los elementos estructurales.
<b>Plano detalle</b>	Replanteo y detalle en planos en cad, especificando características geométricas.
<b>Análisis de cargas actuantes</b>	Cargas que se generan en eventos climáticos no convencionales.
<b>Desarrollo de modelo en sap2000</b>	Configuración 3d, definición y asignación de materiales, sección, patrón de cargas y combinación de cargas en el programa sap2000.

---

*Nota.* Las especificaciones técnicas contenidas en el arquetipo.

- **Desarrollo de los modelos basado en ratio (demanda/capacidad)**

El presente modelo de ratios de demanda/capacidad, se desarrolla en el software de sap2000, refiriendo que la demanda son las solicitudes actuantes referidas a eventos climáticos no convencionales y la capacidad es referida al desempeño de la estructura.

**Ratio demanda/capacidad de la estructura**, se entiende que la relación de demanda/capacidad es la representación del estado de desempeño de un elemento estructural y se determina mediante el software sap2000, considerando lo que se indica en la tabla 41.

La evaluación de los ratios se realiza en cada incremento de carga, hasta alcanzar cargas máximas de viento y nieve, donde finalmente se evalúa según la tabla 42 tabla de relación de daño en función al porcentaje de elementos estructurales que sufren daño.

**Tabla 41**

*Estados de ratio (demanda de solicitudes/capacidad de la estructura).*

<b>Ratio (D/C)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Descripción según el estado de daño</b>
$R \leq 1$	Indica el elemento estructural tiene la capacidad de cumplir con la demanda de solicitudes.	El elemento no ha sufrido daño.
$R > 1$	Indica que el elemento estructural no tiene la capacidad de cumplir con la demanda de solicitudes.	El elemento este sobre esforzado o ha sufrido daño.

*Nota.* Valores de estado de ratio que se generan en el software sap2000.

**Tabla 42**

*Definición de daño estructural*

<b>Daño estructural</b>	<b>Relación de daño (%)</b>	<b>Descripción del estado de daño</b>
Menor	$R_d \leq 7.50$	Daño estructural menor (% de No aceptabilidad menor a 7.5)  Daño estructural sustancial en donde se requiere reparar o
Substancial	$R_d \leq 20.0$	reemplazar algunos elementos estructurales (% de No aceptabilidad menor a 20.0).  Daño estructural mayor, en donde se requiere reparar o
Mayor	$R_d \leq 65.0$	reemplazar muchos elementos estructurales (% de No aceptabilidad menor a 65.0).
Declarado en ruina	$R_d < 100.0$	Edificio declarado en ruina (% de No aceptabilidad menor a 100.0).
Colapso	$R_d = 100.0$	Colapso total (% de No aceptabilidad igual a 100.0).

*Nota.* De acuerdo a (NHRC, 1973)

- **Desarrollo de los modelos basado en desplazamientos.**



La curva de capacidad de la estructura ante eventos climáticos no convencionales, se determina mediante la curva de desplazamiento en el techo de la estructura ante la fuerza cortante acumulada en la base de la estructura para cada incremento de carga, en este contexto se entiende que la fuerza cortante acumulada en la base de la estructura reemplaza a la cortante basal usada en método FEMA, al igual que el desplazamiento en el techo se desarrolla mediante el análisis estático lineal.

**La fuerza cortante en la base de la estructura**, se determina en función al incremento de cargas en este caso, incremento de la velocidad del viento y el incremento de la carga de nieve, es decir la fuerza de cortante en la base de la estructura ira incrementando para cada incremento de viento y nieve, las fuerzas cortantes se determinan en el software sap2000.

**El incremento de cargas**, se determina en función a los registros de viento y nieve ocurridos en la ciudad de Puno, se considera velocidades de viento y cargas de nieve máximas al registro de eventos que rara vez suceden durante los años 2017 y 2018.

**Desplazamiento en el techo**, se determina mediante el análisis estático lineal, usando el programa sap2000.

**Curva de capacidad**, se determina con la relación grafica del desplazamiento en el techo de la estructura vs la fuerza cortante en la base de la estructura.

#### **3.6.4.2.2 Contraste de la Metodología con un Caso Real de Colapso.**

A fin de dar validez a la metodología adoptada, se realiza el contraste con la evaluación de colapso de un caso real de una estructura metálica con cobertura de malla raschel. La evaluación se desarrolla mediante un análisis estático lineal desarrollada con el software sap2000 y memoria de cálculo estructural (véase anexo 8).

### 3.6.5 Relación entre el costo de reparación y el costo de reconstrucción.

De acuerdo a la EERI, es posible relacionar el estado de daño (%) de la estructura con el costo de reparación y el costo de reconstrucción.

**Tabla 43**

*Daño en relación al costo de reparación y costo de reconstrucción.*

<b>Nivel</b>	<b>Estado de daño (%)</b>	<b>Definición</b>
Ninguno	0	Sin daño
Ligero	0 – 5	Daño no estructural aislado; costo de reparación menor al 5% del valor del mercado del edificio
Moderado	5 – 25	Daño considerado no estructural y daño estructural ligero; costo de reparación menor al 25% del valor del mercado.
Severo	25 – 50	Daño estructural considerable y daño no estructural excesivo; costo de reparación menor al 50% del valor del mercado.
Total	50 – 100	Más económico demoler que reparar.
Colapso	>100	Colapso de la estructura

*Nota.* De acuerdo al EERI

Por tanto, para la determinación del costo de reparación o reconstrucción de la estructura, será necesario conocer el estado de relación de daño determinado mediante el método analítico en las condiciones más desfavorables, es decir con cargas máximas de viento y nieve, ya que se pretende advertir posibles colapsos de estas estructuras ante eventos climáticos no convencionales.

## 3.7 RECOLECCIÓN DE DATOS - INDICADORES

### 3.7.1 Recolección de Datos de la Variable Independiente

Para la recolección de datos veraces y confiables se solicitaron las variables hidrometeorológicas de velocidad del viento y carga de nieve a la dirección zonal 13 del SENAMHI en la ciudad de Puno.

### 3.7.1.1 Reporte Histórico de la Precipitación de Nieve

La dirección zonal 13 de Senamhi no cuenta con instrumentos de monitoreo de nieves ni granizo en la región de Puno de manera específica, sin embargo, los datos tomados en la presente investigación se estiman de anomalías registradas en el informe de actualización de estudio de frecuencia de nevadas en el Perú de SENAMHI.

Así, mismo en vista que la presente investigación es motivada por dos eventos de colapso de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel ocurridos en la ciudad de Puno en los años 2017 y 2018, para el desarrollo del análisis de vulnerabilidad se adoptan registros de anomalías de fuertes nevadas con los siguientes valores máximos.

#### Tabla 44

*Carga máxima de nieve adoptada para la presente investigación.*

Año	Región	Descripción de la anomalía	Carga máxima de nieve adoptada
2018	Puno	Nieve acumulada hasta de 23 cm en algunos distritos de Puno.	23 cm

*Nota:* Extraído y elaborado del informe de actualización del estudio de frecuencia de nevadas en el Perú SENAMHI.

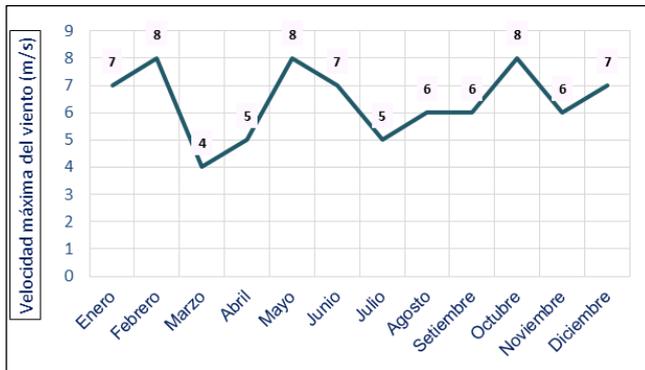
De la información manifestada, se considera que la carga de nieve de 23 cm de espesor registrada en el año 2018, es catalogada como un evento climático no convencional ya que es un evento que rara vez ocurre.

### 3.7.1.2 Reporte Histórico de la Velocidad del Viento

La dirección zonal 13 de SENAMHI cuenta con instrumentos de monitoreo de velocidad del viento de manera específica, los datos solicitados corresponden a los años 2017, 2018 y 2021 extraídos de la estación de monitoreo ubicada en C.P. Puno, latitud 15°49'34.5'', longitud 70°0'43.5'' y altitud 3825 msnm.

**Figura 45**

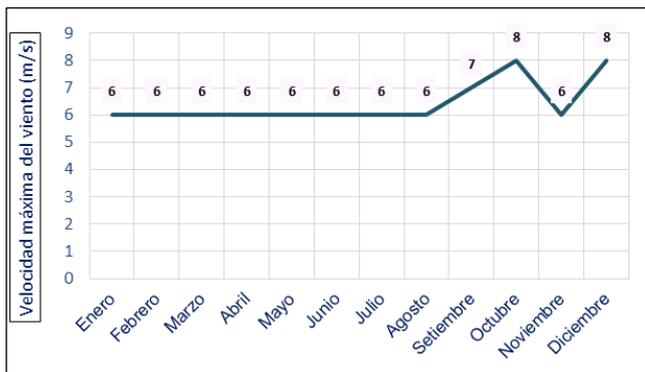
*Registro de velocidad del viento año 2017.*



*Nota:* Extraído y elaborado con datos solicitados al SENAMHI (véase anexo 9)

**Figura 46**

*Registro de velocidad del viento año 2018*



*Nota:* Extraído y elaborado con datos solicitados al SENAMHI (véase anexo 9)

En el año 2017, año en que ocurre el evento de colapso en la I.E. Glorioso Nacional San Carlos de Puno, se registraron velocidades máximas del viento de hasta 8 m/s en los meses de febrero, mayo y octubre, tal como se muestra en la figura 45.

En el año 2018, año en que ocurre el evento de colapso en la I.E. Independencia nacional de Puno, se registraron velocidades máximas del viento de hasta 8 m/s en los meses de octubre y diciembre, tal como se muestra en la figura 46.

De la información manifestada, se resume que en el año 2017 durante los 365 días se registraron velocidades máximas de 8 m/s únicamente en 3 días, en el año 2018 durante



los 365 días se registraron velocidades máximas de 8 m/s únicamente en 3 días, por consiguiente, se consideran las velocidades de 8 m/s como eventos climáticos no convencionales ya que son eventos que ocurren rara vez.

### **3.7.2 Recolección de Datos de la Variable Dependiente**

#### **3.7.2.1 Cuestionario N°001: Información general sobre la estructura metálica con cobertura de malla raschel**

A continuación, se presenta el consolidado de temas considerados en los objetivos de la presente investigación del cuestionario N°001 (véase anexo 2).

**Tabla 45**

*Datos generales.*

<b>Código de investigación</b>	<b>Fuente de financiamiento</b>
<b>001-2021</b>	Mantenimiento de locales escolares
<b>002-2021</b>	APAFA
<b>003-2021</b>	Mantenimiento de locales escolares
<b>004-2021</b>	Mantenimiento de locales escolares
<b>005-2021</b>	APAFA
<b>006-2021</b>	PRONIED

*Nota.* Extraído y elaborado del cuestionario N° 001

#### **3.7.2.2 Ficha de Trabajo N°001: Inspección visual de la estructura metálica con cobertura de malla raschel y componentes.**

La recolección de datos mediante la inspección visual en relación al daño no estructural y el daño estructural de las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel y componentes se sustenta en las fichas de trabajo N°001 (véase anexo 3).

A continuación, se presenta el resumen consolidado de la recolección de datos de la ficha de trabajo N° 001 (véase anexo 3), de las seis instituciones tanto de nivel primario

y nivel secundario, respetando los códigos de investigación asignados en el presente proyecto.

**Tabla 46**

*Inspección visual en relación al daño no estructural.*

<b>Código de investigación</b>	<b>Inspección de pintura en columna metálica</b>	<b>Inspección de pintura en viga metálica</b>	<b>Inspección de malla raschell</b>	<b>Inspección del sistema de funcionamiento</b>
<b>001-2021</b>	Menor	Ninguno	Ninguno	Menor
<b>002-2021</b>	Localizado	Ninguno	Generalizado	Menor
<b>003-2021</b>	Ninguno	Ninguno	Generalizado	Generalizado
<b>004-2021</b>	Menor	Menor	Ninguno	Menor
<b>005-2021</b>	Ninguno	Ninguno	Menor	Localizado
<b>006-2021</b>	Ninguno	Ninguno	Generalizado	Localizado

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 001

**Tabla 47**

*Inspección visual en relación al daño estructural.*

<b>Código de investigación</b>	<b>Inspección de la base de concreto</b>	<b>Inspección del anclaje</b>	<b>Inspección de columnas</b>	<b>Inspección de vigas</b>
<b>001-2021</b>	Menor	Substancial	Menor	Menor
<b>002-2021</b>	Ninguno	Substancial	Menor	Menor
<b>003-2021</b>	Substancial	Substancial	Menor	Menor
<b>004-2021</b>	Mayor	Substancial	Substancial	Menor
<b>005-2021</b>	Menor	Menor	Ninguno	Menor
<b>006-2021</b>	Menor	Substancial	Menor	Menor

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 001

### **3.7.2.3 Ficha de Trabajo N°002: Inspección visual de soldadura**

La recolección de datos mediante la inspección visual de la soldadura en relación al daño estructural se sustenta en las fichas de trabajo N°002 (véase anexo 4), las que recogen información de cada institución parte del proyecto.

A continuación, se presenta el resumen consolidado de la recolección de datos de las seis instituciones tanto de nivel primario y nivel secundario, respetando los códigos de investigación asignados en el presente proyecto.

- **Institución educativa secundaria Industrial 32.**

**Tabla 48**

*Inspección visual de soldadura: Cód. inv. 001-2021.*

Columna	Prohibición de grietas	Fusión de soldadura	Sección recta del cráter	Perfil de soldadura	Socavación	Porosidad
<b>C1</b>	A	A	A	NA	A	A
<b>C2</b>	A	NA	A	A	A	A
<b>C3</b>	NA	A	A	A	A	A
<b>C4</b>	A	NA	A	NA	A	A
<b>C5</b>	A	A	A	A	A	A
<b>C6</b>	A	A	A	A	A	A
<b>C7</b>	A	NA	A	NA	A	A
<b>C8</b>	A	NA	A	NA	A	A
<b>C9</b>	A	NA	A	NA	A	A
<b>C10</b>	NA	A	A	A	A	A

*Nota.* Extraído de ficha de trabajo N° 002. (A= Aceptable; NA= No Aceptable)

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la soldadura correspondiente a la institución educativa secundaria industrial 32, se resume en la tabla 49.

**Tabla 49**

*Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 001-2021.*

Columna	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	Total
Aceptable (%)	83	83	83	67	100	100	67	67	67	83	80
No aceptable (%)	17	17	17	33	0	0	33	33	33	17	20

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 002

- **Institución educativa José Carlos Mariátegui**

**Tabla 50**

*Inspección de soldadura: Cód. inv. 002-2021.*

Columna	Prohibición de grietas	Fusión de soldadura	Sección recta del cráter	Perfil de soldadura	Socavación	Porosidad
<b>C1</b>	NA	NA	NA	NA	A	NA
<b>C2</b>	A	A	A	A	A	A
<b>C3</b>	A	NA	A	NA	A	NA
<b>C4</b>	NA	NA	NA	NA	A	NA

*Nota.* Extraído de ficha de trabajo N° 002. (A= Aceptable; NA= No Aceptable)

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la soldadura correspondiente a la I. E. S. José Carlos Mariátegui, se resume en la tabla 51.

**Tabla 51**

*Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 002-2021.*

Columna	C1	C2	C3	C4	Total
Aceptable	16.7%	100.0%	50.0%	16.7%	45.8%
No aceptable	83.3%	0.0%	50.0%	83.3%	54.2%

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 002

- **I. E. S. San Antonio de Padua**

**Tabla 52**

*Aceptabilidad de la soldadura: Cód. inv. 003-2021.*

Columna	Prohibición de grietas	Fusión de soldadura	de Sección recta del cráter	Perfil de soldadura	Socavación	Porosidad
<b>C1</b>	A	A	A	NA	A	A
<b>C2</b>	A	A	A	A	A	A
<b>C3</b>	A	A	A	NA	A	A
<b>C4</b>	A	A	A	NA	A	A
<b>C5</b>	A	A	A	NA	A	A
<b>C6</b>	A	A	A	A	A	A

*Nota.* Extraído de ficha de trabajo N° 002. (A= Aceptable; NA= No Aceptable)

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la soldadura correspondiente a la I. E. S. San Antonio de Padua, se resume en la tabla 53.

**Tabla 53**

*Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 003-2021.*

Columna	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total
Aceptable	83.3%	100.0%	83.3%	83.3%	83.3%	100.0%	88.8%
No aceptable	16.7%	0.0%	16.7%	16.7%	16.7%	0.0%	11.2%

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 002

- **Institución educativa laykakota**

**Tabla 54***Inspección de soldadura: Cód. inv. 004-2021.*

Columna	Prohibición de grietas	Fusión de soldadura	Sección recta del cráter	Perfil de soldadura	Socavación	Porosidad
C1	A	NA	A	A	A	A
C2	A	NA	A	NA	A	A
C3	A	NA	A	NA	A	A
C4	A	NA	A	NA	A	A
C5	A	NA	NA	A	A	A
C6	A	NA	NA	NA	A	A
C7	A	NA	NA	NA	A	A
C8	A	NA	NA	NA	A	A

*Nota.* Extraído de ficha de trabajo N° 002. (A= Aceptable; NA= No Aceptable)

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad, se resume en la tabla 55.

**Tabla 55***Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 004-2021.*

Columna	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total
Aceptable	83.3%	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	50.0%	50.0%	50.0%	62.5%
No aceptable	16.7%	33.3%	33.3%	33.3%	33.3%	50.0%	50.0%	50.0%	37.5%

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 002

- **I. E. P. Gran Unidad San Carlos**

**Tabla 56***Inspección de soldadura: Cód. inv. 005-2021.*

Columna	Prohibición de grietas	Fusión de soldadura	Sección recta del cráter	Perfil de soldadura	Socavación	Porosidad
C1	A	NA	NA	NA	A	A
C2	A	A	NA	NA	A	A
C3	A	A	NA	NA	A	A
C4	A	NA	A	NA	A	A
C5	A	NA	NA	A	A	A
C6	A	A	A	NA	A	A
C7	A	A	NA	A	A	A
C8	A	NA	A	NA	A	A

*Nota.* Extraído de ficha de trabajo N° 002. (A= Aceptable; NA= No Aceptable)

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad, se resume en la tabla 57.

**Tabla 57**

*Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 005-2021.*

Columna	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total
Aceptable	50.0%	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	83.3%	83.3%	66.7%	68.8%
No aceptable	50.0%	33.3%	33.3%	33.3%	33.3%	16.7%	16.7%	33.3%	31.2%

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 002

- **I. E. P. Glorioso San Carlos**

**Tabla 58**

*Inspección de soldadura: Cód. inv. 006-2021.*

Columna	Prohibición de grietas	Fusión de la soldadura	Sección recta del cráter	Perfil de soldadura	Socavación	Porosidad
<b>C1</b>	A	NA	A	A	A	A
<b>C2</b>	A	A	A	A	A	A
<b>C3</b>	A	A	A	NA	A	A
<b>C4</b>	A	NA	A	NA	A	A
<b>C5</b>	A	NA	A	NA	A	A
<b>C6</b>	A	NA	A	A	A	A
<b>C7</b>	A	NA	A	NA	A	A
<b>C8</b>	A	A	A	A	A	A

*Nota.* Extraído de ficha de trabajo N° 002. (A= Aceptable; NA= No Aceptable)

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la soldadura correspondiente

a la I. E. P. Glorioso San Carlos, se resume en la tabla 59.

**Tabla 59**

*Aceptación de la soldadura: Cód. inv. 006-2021.*

Columna	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total
Aceptable	83.3%	100.0%	83.3%	66.7%	66.7%	83.3%	66.7%	100.0%	81.3%
No aceptable	16.7%	0.0%	16.7%	33.3%	33.3%	16.7%	33.3%	0.0%	18.8%

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 002

### 3.7.2.4 Ficha de trabajo N°003: Tolerancias dimensionales en la estructura.

La recolección de datos de las tolerancias dimensionales en la estructura en relación al daño estructural se sustenta en las fichas de trabajo N°003 (véase anexo 5), las que recogen información de cada institución parte del proyecto.

A continuación, se presenta el resumen consolidado de la recolección de datos de la ficha de trabajo N°003 (véase anexo 5), de las seis instituciones, respetando los códigos de investigación asignados en el presente proyecto.

#### - **Institución educativa secundaria Industrial 32.**

**Tabla 60**

*Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 001-2021.*

<b>Elemento</b>	<b>Aceptable</b>	<b>No aceptable</b>
Columna 1	-	No aceptable
Columna 2	Aceptable	-
Columna 3	Aceptable	-
Columna 4	Aceptable	-
Columna 5		No aceptable
Columna 6		No aceptable
Columna 7	Aceptable	-
Columna 8	Aceptable	-
Columna 9	Aceptable	-
Columna 10	-	No aceptable
<b>Total</b>	<b>60%</b>	<b>40%</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 003

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la tolerancia dimensional de la estructura, se resume en la tabla 60.

#### - **Institución educativa José Carlos Mariátegui**

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la tolerancia dimensional de la estructura, se resume en la tabla 61.

**Tabla 61**

*Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 002-2021.*

<b>Elemento</b>	<b>Aceptable</b>	<b>No aceptable</b>
Columna 1	-	No aceptable
Columna 2	Aceptable	-
Columna 3	Aceptable	-
Columna 4	-	No aceptable
<b>Total</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 003

- **Institución educativa San Antonio de Padua**

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la tolerancia dimensional de la estructura, se resume en la tabla 62.

**Tabla 62**

*Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 003-2021.*

<b>Elemento</b>	<b>Aceptable</b>	<b>No aceptable</b>
Columna 1	Aceptable	-
Columna 2	Aceptable	-
Columna 3	Aceptable	-
Columna 4	Aceptable	-
Columna 5	-	No aceptable
Columna 6	-	No aceptable
<b>Total</b>	<b>67%</b>	<b>33%</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 003

- **Institución educativa Laykakota**

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la tolerancia dimensional de la estructura, se resume en la siguiente tabla 63.

**Tabla 63**

*Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 004-2021.*

<b>Elemento</b>	<b>Aceptable</b>	<b>No aceptable</b>
Columna 1	Aceptable	-
Columna 2	Aceptable	-
Columna 3	Aceptable	-
Columna 4	-	No aceptable
Columna 5	-	No aceptable
Columna 6	-	No aceptable
Columna 7	-	No aceptable
Columna 8	-	No aceptable
<b>Total</b>	<b>38%</b>	<b>62%</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 003

- **Institución educativa Gran Unidad San Carlos**

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la tolerancia dimensional de la estructura, se resume en la tabla 64.

**Tabla 64**

*Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 005-2021.*

<b>Elemento</b>	<b>Aceptable</b>	<b>No aceptable</b>
Columna 1	Aceptable	-
Columna 2	Aceptable	-
Columna 3	Aceptable	-
Columna 4	Aceptable	-
Columna 5	Aceptable	-
Columna 6	Aceptable	-
Columna 7	Aceptable	-
Columna 8	Aceptable	-
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 003

- **Institución educativa Glorioso San Carlos**

El porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad de la tolerancia dimensional de la estructura, se resume en la tabla 65.

**Tabla 65**

*Tolerancia dimensional en la estructura: Cód. inv. 006-2021.*

<b>Elemento</b>	<b>Aceptable</b>	<b>No aceptable</b>
Columna 1	-	No aceptable
Columna 2	Aceptable	-
Columna 3	Aceptable	-
Columna 4	Aceptable	-
Columna 5	-	No aceptable
Columna 6	Aceptable	-
Columna 7	Aceptable	-
Columna 8	Aceptable	-
<b>Total</b>	<b>75%</b>	<b>25%</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 003

### 3.7.2.5 Replanteo de estructuras existentes

El levantamiento de planos post construcción (replanteo) aglomeran datos suficientes para el desarrollo de modelos estructurales. A continuación, se presentan el levantamiento de planos post construcción de las estructuras metálicas con cobertura de malla raschel de cada institución educativa.

**Tabla 66**

*Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 001-2021.*

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Luz libre	L= 28.00 m
Altura de la estructura	H=6.85 m
Resistencia del acero	Tubo rectangular ASTM A500: $f_y=2743.04 \text{ kg/cm}^2$ Tubo redondo ASTM A500 Grado A: $f_y=2324.96 \text{ kg/cm}^2$
Columna metálica	Celosía plana N° 01.
Viga metálica	Celosía espacial N° 01.
Plano	Detalle de estructura metálica con cobertura de malla raschel: Lamina E-01 / cód. inv. 001-2021 (Véase anexo 11)

*Nota.* Datos extraídos durante la visita a las Instituciones educativas.

### Tabla 67

*Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 002-2021.*

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Luz libre	L= 22.00 m
Altura de la estructura	H=6.35 m
Resistencia del acero	Tubo redondo ASTM A500 Grado A: $f_y=2324.96 \text{ kg/cm}^2$
Columna metálica	Celosía espacial N° 01
Viga metálica	Celosía espacial N° 02
Plano	Detalle de estructura metálica con cobertura de malla raschel: Lamina E-02 / cód. inv. 002-2021 (Véase anexo 11)

*Nota.* Datos extraídos durante la visita a las Instituciones educativas.

### Tabla 68

*Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 003-2021.*

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Luz libre	L= 18.20 m
Altura de la estructura	H=7.50 m
Resistencia del acero	Tubo redondo ASTM A500 Grado A: $f_y=2324.96 \text{ kg/cm}^2$
Columna metálica	Celosía plana N° 01
Viga metálica	Celosía plana N° 02
Plano	Detalle de estructura metálica con cobertura de malla raschel: Lamina E-03 / cód. inv. 003-2021 (Véase anexo 11)

*Nota.* Datos extraídos durante la visita a las Instituciones educativas.

### Tabla 69

*Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 004-2021.*

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Luz libre	L= 23.20 m
Altura de la estructura	H=7.50 m
Resistencia del acero	Angulo de acero ASTM A36: $f_y=2531.10 \text{ kg/cm}^2$ Barra redonda lisa ASTM A36: $f_y=2531.10 \text{ kg/cm}^2$
Columna metálica	Celosía espacial N° 01
Viga metálica	Celosía espacial N° 02
Plano	Detalle de estructura metálica con cobertura de malla raschel: Lamina E-04/cód. inv. 004-2021 (Véase anexo 11)

*Nota.* Datos extraídos durante la visita a las Instituciones educativas.

**Tabla 70**

*Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 005-2021.*

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Luz libre	L= 3.00 m
Altura de la estructura	H=7.00 m
Resistencia del acero	Tubo redondo ASTM A500 Grado A: $f_y=2324.96 \text{ kg/cm}^2$ Acero corrugado ASTM A615: $f_y=4280.00 \text{ kg/cm}^2$
Columna metálica	Celosía espacial N° 01
Viga metálica	Celosía plana N° 01
Plano	Detalle de estructura metálica con cobertura de malla raschel: Lamina E-05 / cód. inv. 005-2021 (Véase anexo 11)

*Nota.* Datos extraídos durante la visita a las Instituciones educativas

**Tabla 71**

*Replanteo de estructura existente: Cód. inv. 006-2021.*

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Luz libre	L= 24.00 m
Altura de la estructura	H=5.00 m
Resistencia del acero	Tubo redondo ASTM A500 Grado A: $f_y=2324.96 \text{ kg/cm}^2$ Acero corrugado ASTM A615: $f_y=4280.00 \text{ kg/cm}^2$
Columna metálica	Celosía plana N° 01
Viga metálica	Celosía plana N° 02
Plano	Detalle de estructura metálica con cobertura de malla raschel: Lamina E-06 / cód. inv. 006-2021 (Véase anexo 11)

*Nota.* Datos extraídos durante la visita a las Instituciones educativas

### **3.8 PROCESAMIENTO DE DATOS**

#### **3.8.1 Antecedentes de Estructuras Metálicas con Cobertura de Malla Raschel.**

El cuestionario N° 001 (véase anexo 2), pone en manifiesto datos con carácter informativos con posibilidades de motivar futuras investigaciones relacionadas al tema, sin embargo, durante la ejecución del presente proyecto de investigación se ha visto la necesidad de abordar la fuente de financiamiento, ya que se ha visto que es un factor de

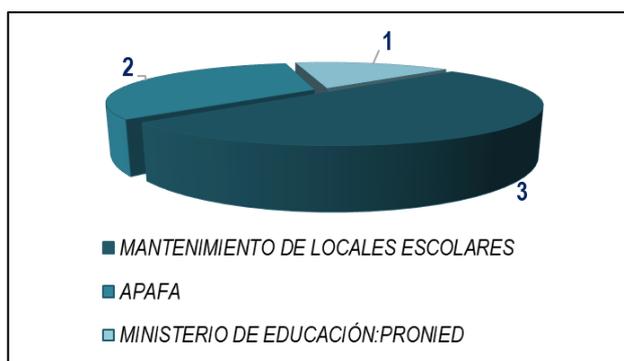
importancia, en ese contexto se ponen en manifiesto la fuente de financiamiento de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel.

### 3.8.1.1 Fuente de Financiamiento.

Sobre la fuente de financiamiento de la fabricación, montaje e instalación de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel, tres instituciones manifiestan que la fuente de financiamiento es por medio de mantenimiento de locales escolares, dos instituciones manifiestan que la fuente de financiamiento es por medio del APAFA y solo una institución manifiesta que la fuente de financiamiento directamente por medio de ministerio de educación, esto se describe en el siguiente diagrama.

**Figura 47**

*Fuente de financiamiento de la estructura metálica.*



*Nota.* Elaborado en base a los resultados obtenidos del cuestionario N° 001

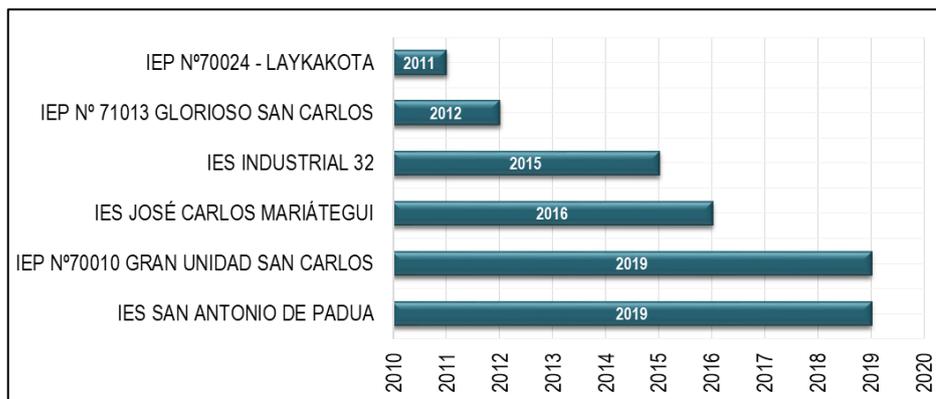
### 3.8.1.2 Año de instalación de las estructuras con cobertura de malla raschel

En los últimos años la implementación de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel, se ha convertido en una necesidad de prioridad en las instituciones educativas publicas debido a los beneficios que esta ofrece, además de ser económica, ya que en su mayoría están compuestas por celosías planas y espaciales.

En la figura 48, se evidencia el incremento de la implementación de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en los últimos años.

**Figura 48**

*Año de la instalación de la estructura con cobertura de malla raschel.*



*Nota.* Elaborado en base a los resultados obtenidos del cuestionario N° 001,

### 3.8.2 Evaluación de vulnerabilidad por el método empírico.

La evaluación de la vulnerabilidad mediante la relación de daño se determina conforme se indica en la ficha de trabajo N°004 (véase anexo 6).

- **Institución educativa secundaria Industrial 32.**

**Tabla 72**

*Relación de daño - Cód. inv. 001-2021.*

Estado de daño	Daño estructural	Daño no estructural	Relación de daño (%)
<b>0</b>	Ninguno	<b>Ninguno</b>	0.01
<b>1</b>	Ninguno	<b>Menor</b>	0.13
<b>2</b>	Ninguno	<b>Localizado</b>	0.00
<b>3</b>	No apreciable	<b>Generalizado</b>	0.00
<b>4</b>	<b>Menor</b>	Sustancial	2.00
<b>5</b>	<b>Substancial</b>	Extensivo	4.17
<b>6</b>	<b>Mayor</b>	Cercano al total	7.50
<b>7</b>	<b>Declarado en ruina</b>		0.00
<b>8</b>	<b>Colapso</b>		0.00
<b>Relación de daño determinado (%):</b>			<b>13.81</b>
<b>Estado de daño:</b>			<b>5</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 004



- **Institución educativa José Carlos Mariátegui**

**Tabla 73**

*Relación de daño - Cód. inv. 002-2021.*

<b>Estado de daño</b>	<b>Daño estructural</b>	<b>Daño no estructural</b>	<b>Relación de daño (%)</b>
<b>0</b>	Ninguno	<b>Ninguno</b>	0.01
<b>1</b>	Ninguno	<b>Menor</b>	0.06
<b>2</b>	Ninguno	<b>Localizado</b>	0.24
<b>3</b>	No apreciable	<b>Generalizado</b>	0.56
<b>4</b>	<b>Menor</b>	Sustancial	1.33
<b>5</b>	<b>Substancial</b>	Extensivo	2.08
<b>6</b>	<b>Mayor</b>	Cercano al total	15.00
<b>7</b>	<b>Declarado en ruina</b>		0.00
<b>8</b>	<b>Colapso</b>		0.00
<b>Relación de daño determinado (%):</b>			<b>19.28</b>
<b>Estado de daño:</b>			<b>5</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 004

- **Institución educativa San Antonio de Padua**

**Tabla 74**

*Relación de daño - Cód. inv. 003-2021.*

<b>Estado de daño</b>	<b>Daño estructural</b>	<b>Daño no estructural</b>	<b>Relación de daño (%)</b>
<b>0</b>	Ninguno	<b>Ninguno</b>	0.01
<b>1</b>	Ninguno	<b>Menor</b>	0.00
<b>2</b>	Ninguno	<b>Localizado</b>	0.00
<b>3</b>	No apreciable	<b>Generalizado</b>	1.13
<b>4</b>	<b>Menor</b>	Sustancial	1.33
<b>5</b>	<b>Substancial</b>	Extensivo	6.25
<b>6</b>	<b>Mayor</b>	Cercano al total	7.50
<b>7</b>	<b>Declarado en ruina</b>		0.00
<b>8</b>	<b>Colapso</b>		0.00
<b>Relación de daño determinado (%):</b>			<b>16.22</b>
<b>Estado de daño:</b>			<b>5</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 004



- **Institución educativa Laykakota**

**Tabla 75**

*Relación de daño - Cód. inv. 004-2021.*

<b>Estado de daño</b>	<b>Daño estructural</b>	<b>Daño no estructural</b>	<b>Relación de daño (%)</b>
<b>0</b>	Ninguno	<b>Ninguno</b>	0.00
<b>1</b>	Ninguno	<b>Menor</b>	0.19
<b>2</b>	Ninguno	<b>Localizado</b>	0.00
<b>3</b>	No apreciable	<b>Generalizado</b>	0.00
<b>4</b>	<b>Menor</b>	Sustancial	0.67
<b>5</b>	<b>Substancial</b>	Extensivo	4.17
<b>6</b>	<b>Mayor</b>	Cercano al total	22.50
<b>7</b>	<b>Declarado en ruina</b>		0.00
<b>8</b>	<b>Colapso</b>		0.00
<b>Relación de daño determinado (%):</b>			<b>27.53</b>
<b>Estado de daño:</b>			<b>6</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 004

- **Institución educativa Gran Unidad San Carlos**

**Tabla 76**

*Relación de daño - Cód. inv. 005-2021.*

<b>Estado de daño</b>	<b>Daño estructural</b>	<b>Daño no estructural</b>	<b>Relación de daño (%)</b>
<b>0</b>	Ninguno	<b>Ninguno</b>	0.02
<b>1</b>	Ninguno	<b>Menor</b>	0.06
<b>2</b>	Ninguno	<b>Localizado</b>	0.24
<b>3</b>	No apreciable	<b>Generalizado</b>	0.00
<b>4</b>	<b>Menor</b>	Sustancial	2.00
<b>5</b>	<b>Substancial</b>	Extensivo	0.00
<b>6</b>	<b>Mayor</b>	Cercano al total	7.50
<b>7</b>	<b>Declarado en ruina</b>		0.00
<b>8</b>	<b>Colapso</b>		0.00
<b>Relación de daño determinado (%):</b>			<b>9.82</b>
<b>Estado de daño:</b>			<b>5</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 004



- **Institución educativa Glorioso San Carlos**

**Tabla 77**

*Relación de daño - Cód. inv. 006-2021.*

<b>Estado de daño</b>	<b>Daño estructural</b>	<b>Daño no estructural</b>	<b>Relación de daño (%)</b>
<b>0</b>	Ninguno	<b>Ninguno</b>	0.01
<b>1</b>	Ninguno	<b>Menor</b>	0.00
<b>2</b>	Ninguno	<b>Localizado</b>	0.24
<b>3</b>	No apreciable	<b>Generalizado</b>	0.56
<b>4</b>	<b>Menor</b>	Sustancial	2.00
<b>5</b>	<b>Substancial</b>	Extensivo	4.17
<b>6</b>	<b>Mayor</b>	Cercano al total	7.50
<b>7</b>	<b>Declarado en ruina</b>		0.00
<b>8</b>	<b>Colapso</b>		0.00
<b>Relación de daño determinado (%):</b>			<b>14.48</b>
<b>Estado de daño:</b>			<b>5</b>

*Nota.* Elaborado y extraído de ficha de trabajo N° 004

### **3.8.3 Evaluación de Vulnerabilidad por el Método Analítico**

La evaluación se logra en aplicación al incremento de cargas de nieve y viento, el desarrollo de los arquetipos a detalle para cada estructura se encuentra en la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

#### **3.8.3.1 Análisis de Cargas Actuantes**

##### **3.8.3.1.1 Cargas Permanentes.**

Como carga permanente se considera el peso de la cobertura de malla raschel y el peso propio de la estructura, dependiendo de las características de los materiales, la carga permanente se determina en la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### 3.8.3.1.2 Carga Viva por Mantenimiento y/o Reparación:

No se considera, ya que es una estructura existente, y se requiere evaluar la estructura en el estado en que se encuentra, para someter a cargas generados por eventos climáticos no convencionales.

Así mismo, según el cuestionario N°001 (véase anexo 002), se evidencia que el mantenimiento en su mayoría es de carácter funcional mas no estructural, referido al cambio de malla raschel, por lo que durante el mantenimiento la estructura no será sometida a esfuerzos generados por mantenimiento.

### 3.8.3.1.3 Carga de Viento no Convencional.

El R.N.E. indica que la velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la cobertura, pero no menos de 75 km/h, sin embargo, en la presente investigación en relación a eventos climáticos no convencionales, la velocidad máxima adoptada es de 8 m/s, siendo la máxima ocurrida en los años 2017 y 2018 según datos del SENAMHI (véase anexo 10).

**La velocidad de diseño**, en cada altura de la edificación se obtendrá de la siguiente expresión.

$$V_h = V \left( \frac{h}{10} \right)^{0.22} \quad (\text{Ecuación 19})$$

V<sub>h</sub>: velocidad de diseño en la altura h en km/h

V: velocidad de diseño hasta 10 m de altura en km/h.

h: altura sobre el terreno en metros.

### **Presión o Succión del viento a una altura “h”**

La carga exterior (presión o succión), ejercida por el viento se supondrá estática y perpendicular a la superficie sobre la cual actúa.

$$P_h = 0.005CV_h^2 \quad (\text{Ecuación 20})$$

$P_h$ : presión o succión del viento a una altura  $h$  en  $\text{kg/m}^2$ .

$C$ : factor de forma.

$V_h$ : velocidad de diseño en  $\text{km/h}$ .

### Consideraciones para el factor de forma “C”

Para nuestro caso se trata de una superficie horizontal con un porcentaje considerable de aberturas; por lo que se considerara un factor adicional de Retención Porcentual de vientos de acuerdo a las especificaciones técnicas de la malla raschel.

$$C = C_p \% R \quad (\text{Ecuación 21})$$

$C_p$ : Coeficiente de presión.

$\%R$ : Retención Porcentual de vientos de la malla.

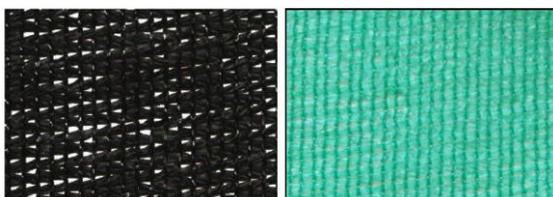
### Consideraciones del porcentaje porcentual de vientos de la malla $\%R$ :

Los porcentajes de sombras se refieren a la cantidad de irradiación solar que bloquea, es decir el porcentaje de sombra que esta ofrece.

En tanto en un idealización a detalle, se entiende que el área extendida de la malla contiene un porcentaje de textura o tejido ( $R\%$ ) y un  $(100-R)\%$  de vacíos, por consiguiente, en el presente análisis se considera la retención efectiva de vientos al porcentaje de textura. Según un análisis visual y comparativo, se considera las mallas existentes una retención de viento al 80%, el mismo de la retención de sombra.

### Figura 49

*Malla raschel sombra lisa al 80%.*



*Nota.* Tomado de ficha técnica de malla raschel.

Por tanto, se considera:  $\%R = 80.00 \%$

### Cálculo del coeficiente de presión $C_p$ .

Para el cálculo del coeficiente de presión; se debe tener presente los efectos de presión o succión sobre techos; tanto internas como externas.

$$C_p = C_{pe} \pm C_{pi} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Los factores de forma se toman de la siguiente tabla:

**Tabla 78**

*Factores de forma C*

Construcción	Barlovento	Sotavento
“Superficies verticales de edificios”.	+0,8	-0,6
“Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento”.	+1,5	-
“Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica”.	+0,7	-
“Tanques de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular”.	+2,0	-
“Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°”.	±0,8	-0,5
“Superficies inclinadas a 15° o menos”.	+0,3 -0,7	-0,6
“Superficies inclinadas entre 15° y 60°”.	+0,7 -0,3	-0,6
“Superficies inclinadas entre 60° y la vertical”.	+0,8	-0,6
“Superficies verticales verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento”.	-0,7	-0,7

*Nota.* Tomado de del E.020 Cargas.

Análisis del caso más desfavorable, cuando exista solo la acción del viento.

Barlovento en Superficies inclinadas a 15° o menos (caso 1)  $C_{pex} = 0.3$

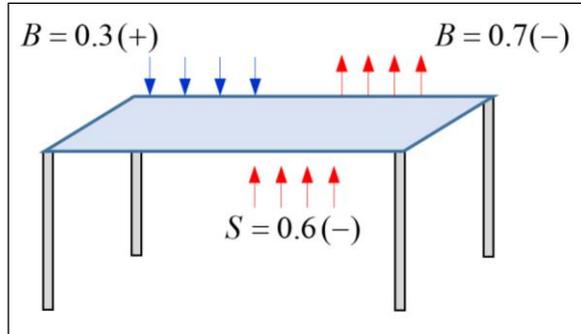
Barlovento en Superficies inclinadas a 15° o menos (caso 2)  $C_{pex} = -0.7$

Sotavento en Superficies inclinadas a  $15^\circ$  o menos.

$$C_{pin} = -0.6$$

### Figura 50

*Idealización de la presión y succión del viento.*



*Nota.* Caso más desfavorable de la acción del viento.

Por tanto, el caso más desfavorable corresponde a la succión exterior (barlovento) más la presión interior (sotavento):  $C = 0.13 (-)$

#### 3.8.3.1.4 Análisis del Incremento de Velocidad del Viento

El análisis de incremento de cargas obedece al registro de la velocidad del viento en la ciudad de Puno en los años 2017 y 2018 realizada por el SENAMHI, se evidencia velocidades máximas que rara vez ocurren hasta 8 m/s equivalente a 28.8 km/h.

En vista que, el análisis se desarrolla en el programa sap2000, para facilidades de cálculo es necesario asignar a cada incremento de velocidad un factor de incremento en función a la presión del viento.

#### Tabla 79

*Incremento de la velocidad del viento.*

	$P_{v1}$	$P_{v2}$	$P_{v3}$	$P_{v4}$	$P_{v5}$	$P_{v6}$
V (km/h)	3.6	10.8	18	21.6	25.2	28.8
$F_v$	1	9	25	36	49	64

*Nota.*  $F_v$  es necesario para facilidades de cálculo en sap2000.

### 3.8.3.1.5 Carga de Nieve No Convencional.

La sobrecarga de nieve en una superficie cubierta es el peso de la nieve que, en condiciones climatológicas más desfavorables, puede acumularse sobre ella. Conforme indica el R.N.E. en su apartado E.020 esta ofrece alternativas en diferentes condiciones, de las que se adopta "cargas de nieve sobre techos".

#### Carga básica de nieve sobre el suelo ( $Q_s$ )

El valor mínimo de la carga básica de nieve sobre el suelo ( $Q_s$ ) será de 0.40kPa que equivalen a 0.40 m de nieve fresca (peso específico de 1kN/m<sup>3</sup>) o a 0.20 m de nieve compactada (peso específico de 2 kN/m<sup>3</sup>)

#### Carga de nieve sobre los techos ( $Q_t$ )

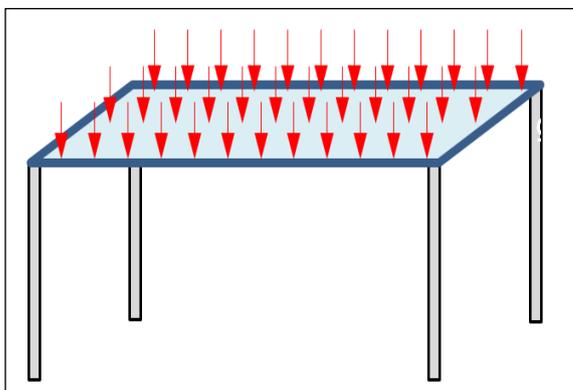
Para techos a una o dos aguas con inclinaciones menores o iguales a 15° y para techos curvos con una relación flecha/luz menor igual a 0.1 o ángulo vertical menor o igual a 10° (calculado desde el borde hasta el centro) la carga de diseño ( $Q_t$ ), sobre la proyección horizontal será:

$$Q_t = \%R (Q_s)$$

%R: Retención porcentual de nieve en la malla

#### Figura 51

*Idealización de la carga de nieve.*



*Nota.* Carga de nieve actuante sobre la cobertura.

### 3.8.3.1.6 Análisis del Incremento de Carga de Nieve

El incremento de cargas de nieve se realizará a fin de buscar el colapso en la estructura, según registros de SENAMHI la carga máxima registrada más próxima a la ciudad de Puno en los años 2017 y 2018 es de 23 cm, siendo este valor el máximo a considerar, el incremento de la carga de nieve es aplicado a cada caso de estudio, así mismo el factor de incremento es proporcional al incremento de la velocidad del viento.

**Tabla 80**

*Incremento del espesor de nieve.*

	$Q_{t1}$	$Q_{t2}$	$Q_{t3}$	$Q_{t4}$	$Q_{t5}$	$Q_{t6}$
t (m)	0.004	0.032	0.090	0.129	0.176	0.230
$F_q$	1	9	25	36	49	64

*Nota.*  $F_q$  es necesario para facilidades de cálculo en sap2000.

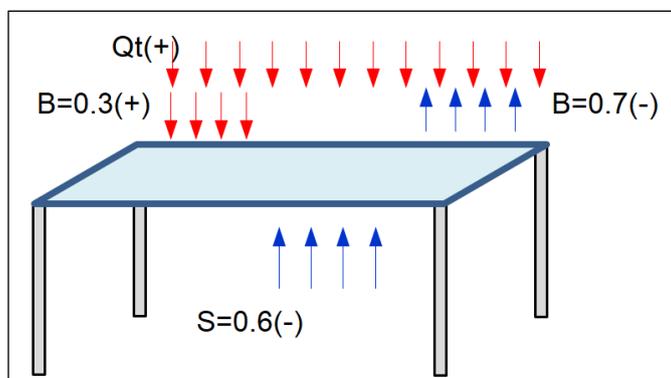
### 3.8.3.1.7 Combinación de Cargas.

De todas las combinaciones de carga consideradas en la norma, se opta por la que produzca los efectos más desfavorables en el elemento estructural considerando las reducciones, cuando sean aplicables. Por tanto, se considera la siguiente combinación:

$$C_a = 1.2D + 1.6S + 0.8W \quad (\text{Ecuación 22})$$

**Figura 52**

*Idealización de la combinación de cargas.*



*Nota.* Se considera el caso más desfavorable.

Así mismo, se considera la siguiente idealización, para determinar el caso más desfavorable en caso suceda la combinación de cargas (eventos simultáneos).

En el entendido que la carga predominante es la carga de nieve, el coeficiente de presión de viento será ( $C_p=0.3$ ) a favor de la gravedad y el porcentaje de retención de viento se considera ( $R=100\%$ ), ya que se deduce que la malla está cubierta de nieve.

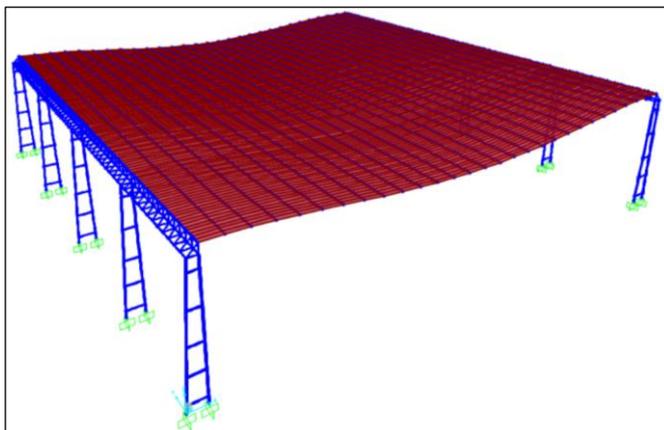
### 3.8.3.2 Desarrollo de Arquetipos

Mediante el análisis estático lineal se pretende calcular los desplazamientos, las cortantes y ratios (demanda/capacidad) ya que las fuerzas son directamente proporcionales a los desplazamientos. Así mismo se pretende realizar el proceso bajo un incremento de cargas con el fin de alcanzar el colapso. La modelación estática se realizó en el programa sap2000 V.21, por las facilidades que esta ofrece.

Los arquetipos consideran configuración 3d, definición y asignación de materiales, sección, patrón de cargas y combinación de cargas. El tipo de área que simula una cobertura con malla raschel, corresponde al elemento tipo shell, ya que soporta fuerzas y momentos en todas las direcciones.

#### Figura 53

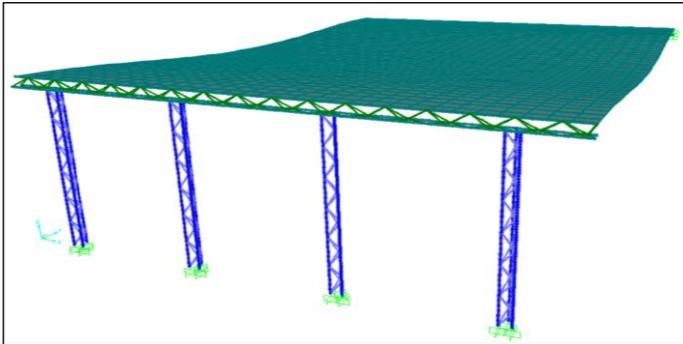
*Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 001-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de software sap2000.

### Figura 54

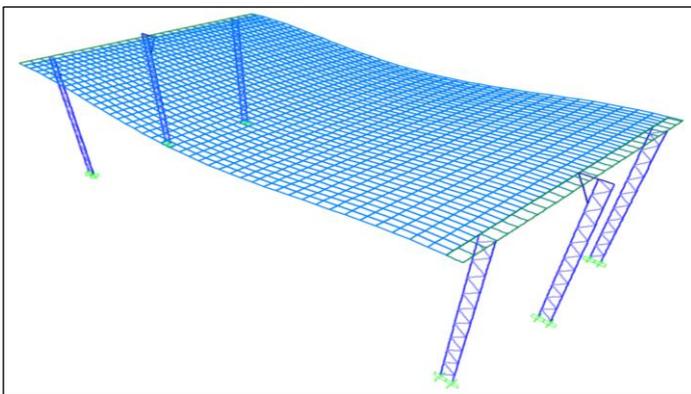
*Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 002-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de software sap2000.

### Figura 55

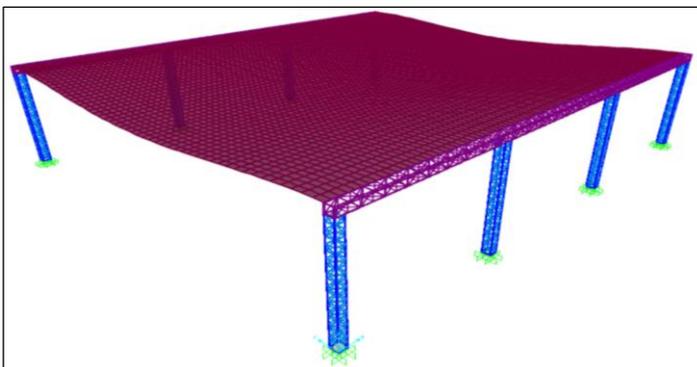
*Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 003-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de software sap2000.

### Figura 56

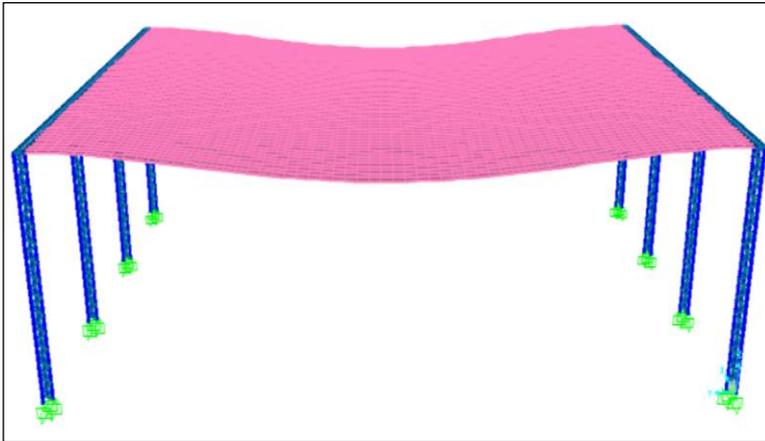
*Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 004-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de software sap2000.

### Figura 57

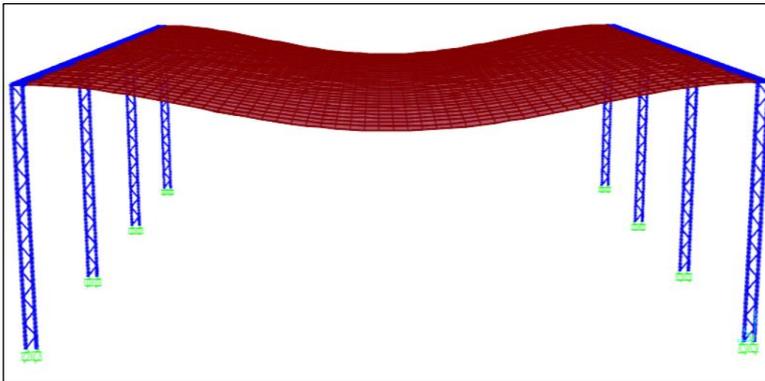
Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 005-2021.



Nota. Elaborado y extraído de software sap2000.

### Figura 58

Arquetipo desarrollado - Cód. inv. 006-2021.



Nota. Elaborado y extraído de software sap2000.

### 3.8.3.3 Desarrollo de los Modelos Basado en Ratio (Demanda/Capacidad)

#### 3.8.3.3.1 Aceptabilidad y No Aceptabilidad de Elementos Estructurales

El elemento es aceptable en el caso que  $R \leq 1$ , caso contrario se considera que el elemento se ha sobre esforzado y ha sufrido daño, el cálculo de aceptabilidad y no aceptabilidad se muestra en la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7). Así mismo el ratio (demanda/capacidad), se determina para cada elemento e incremento de carga.

Por tanto, el porcentaje de aceptabilidad y no aceptabilidad, se resume en las siguientes tablas.

**Tabla 81**

*Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 001-2021.*

	Acceptable	No acceptable		Acceptable	No acceptable		Acceptable	No acceptable
<b>P<sub>v0</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t0</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a0</sub></b>	100%	0%
<b>P<sub>v1</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t1</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a1</sub></b>	92%	8%
<b>P<sub>v2</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t2</sub></b>	82%	18%	<b>C<sub>a2</sub></b>	36%	64%
<b>P<sub>v3</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t3</sub></b>	23%	77%	<b>C<sub>a3</sub></b>	7%	93%
<b>P<sub>v4</sub></b>	93%	7%	<b>Q<sub>t4</sub></b>	10%	90%	<b>C<sub>a4</sub></b>	3%	97%
<b>P<sub>v5</sub></b>	79%	21%	<b>Q<sub>t5</sub></b>	6%	94%	<b>C<sub>a5</sub></b>	1%	99%
<b>P<sub>v6</sub></b>	64%	36%	<b>Q<sub>t6</sub></b>	3%	97%	<b>C<sub>a6</sub></b>	0.5%	99.5%

*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

**Tabla 82**

*Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 002-2021.*

	Acceptable	No acceptable		Acceptable	No acceptable		Acceptable	No acceptable
<b>P<sub>v0</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t0</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a0</sub></b>	100%	0%
<b>P<sub>v1</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t1</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a1</sub></b>	98%	2%
<b>P<sub>v2</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t2</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a2</sub></b>	72%	28%
<b>P<sub>v3</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t3</sub></b>	73%	27%	<b>C<sub>a3</sub></b>	60%	40%
<b>P<sub>v4</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t4</sub></b>	69%	31%	<b>C<sub>a4</sub></b>	53%	47%
<b>P<sub>v5</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t5</sub></b>	61%	39%	<b>C<sub>a5</sub></b>	45%	55%
<b>P<sub>v6</sub></b>	99%	1%	<b>Q<sub>t6</sub></b>	55%	45%	<b>C<sub>a6</sub></b>	41%	59%

*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

**Tabla 83***Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 003-2021.*

	Acceptable	No acceptable		Acceptable	No acceptable		Acceptable	No acceptable
<b>P<sub>v0</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t0</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a0</sub></b>	100%	0%
<b>P<sub>v1</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t1</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a1</sub></b>	96%	4%
<b>P<sub>v2</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t2</sub></b>	98%	2%	<b>C<sub>a2</sub></b>	77%	23%
<b>P<sub>v3</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t3</sub></b>	78%	22%	<b>C<sub>a3</sub></b>	65%	35%
<b>P<sub>v4</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t4</sub></b>	69%	31%	<b>C<sub>a4</sub></b>	59%	41%
<b>P<sub>v5</sub></b>	98%	2%	<b>Q<sub>t5</sub></b>	66%	34%	<b>C<sub>a5</sub></b>	56%	44%
<b>P<sub>v6</sub></b>	96%	1%	<b>Q<sub>t6</sub></b>	62%	38%	<b>C<sub>a6</sub></b>	52%	48%

*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).**Tabla 84***Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 004-2021.*

	Acceptable	No acceptable		Acceptable	No acceptable		Acceptable	No acceptable
<b>P<sub>v0</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t0</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a0</sub></b>	100%	0%
<b>P<sub>v1</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t1</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a1</sub></b>	76%	24%
<b>P<sub>v2</sub></b>	97%	3%	<b>Q<sub>t2</sub></b>	79%	21%	<b>C<sub>a2</sub></b>	66%	34%
<b>P<sub>v3</sub></b>	83%	17%	<b>Q<sub>t3</sub></b>	67%	33%	<b>C<sub>a3</sub></b>	57%	43%
<b>P<sub>v4</sub></b>	80%	20%	<b>Q<sub>t4</sub></b>	61%	39%	<b>C<sub>a4</sub></b>	53%	47%
<b>P<sub>v5</sub></b>	78%	22%	<b>Q<sub>t5</sub></b>	58%	42%	<b>C<sub>a5</sub></b>	47%	53%
<b>P<sub>v6</sub></b>	75%	25%	<b>Q<sub>t6</sub></b>	55%	45%	<b>C<sub>a6</sub></b>	41%	59%

*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

**Tabla 85**

*Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 005-2021.*

	No		No		No			
	Acceptable	acceptable	Acceptable	acceptable	Acceptable	acceptable		
<b>P<sub>v0</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t0</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a0</sub></b>	100%	0%
<b>P<sub>v1</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t1</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a1</sub></b>	78%	22%
<b>P<sub>v2</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t2</sub></b>	87%	13%	<b>C<sub>a2</sub></b>	72%	28%
<b>P<sub>v3</sub></b>	93%	7%	<b>Q<sub>t3</sub></b>	72%	28%	<b>C<sub>a3</sub></b>	68%	32%
<b>P<sub>v4</sub></b>	90%	10%	<b>Q<sub>t4</sub></b>	70%	30%	<b>C<sub>a4</sub></b>	62%	38%
<b>P<sub>v5</sub></b>	81%	19%	<b>Q<sub>t5</sub></b>	68%	32%	<b>C<sub>a5</sub></b>	58%	42%
<b>P<sub>v6</sub></b>	75%	25%	<b>Q<sub>t6</sub></b>	63%	37%	<b>C<sub>a6</sub></b>	53%	47%

*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

**Tabla 86**

*Aceptabilidad y no aceptabilidad - Cód. inv. 006-2021.*

	No		No		No			
	Acceptable	acceptable	Acceptable	acceptable	Acceptable	acceptable		
<b>P<sub>v0</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t0</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a0</sub></b>	100%	0%
<b>P<sub>v1</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t1</sub></b>	100%	0%	<b>C<sub>a1</sub></b>	80%	20%
<b>P<sub>v2</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t2</sub></b>	89%	11%	<b>C<sub>a2</sub></b>	72%	28%
<b>P<sub>v3</sub></b>	100%	0%	<b>Q<sub>t3</sub></b>	72%	28%	<b>C<sub>a3</sub></b>	58%	42%
<b>P<sub>v4</sub></b>	94%	6%	<b>Q<sub>t4</sub></b>	67%	33%	<b>C<sub>a4</sub></b>	52%	48%
<b>P<sub>v5</sub></b>	91%	9%	<b>Q<sub>t5</sub></b>	60%	40%	<b>C<sub>a5</sub></b>	46%	54%
<b>P<sub>v6</sub></b>	88%	12%	<b>Q<sub>t6</sub></b>	54%	46%	<b>C<sub>a6</sub></b>	41%	59%

*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

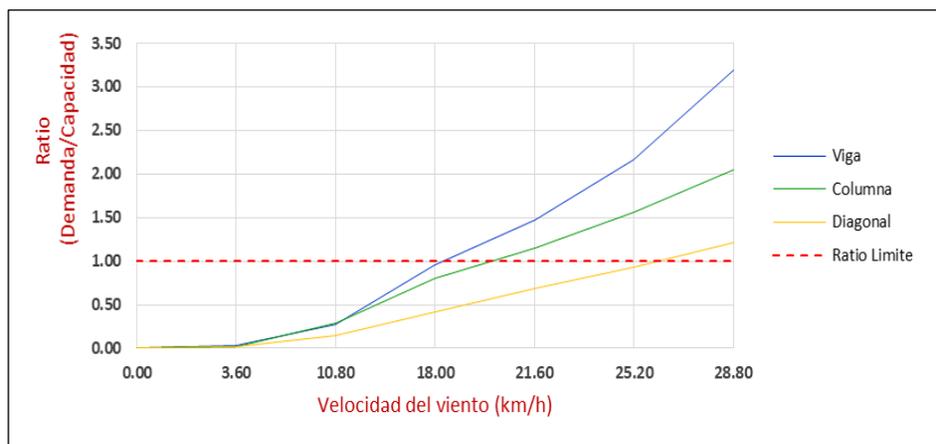
### 3.8.3.3.2 Curvas de ratio ante el incremento de cargas.

El incremento de ratios máximos ante el incremento de cargas, genera una curva que refleja el estado de daño limite. Las curvas se determinan en la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

- **Institución educativa secundaria Industrial 32**

**Figura 59**

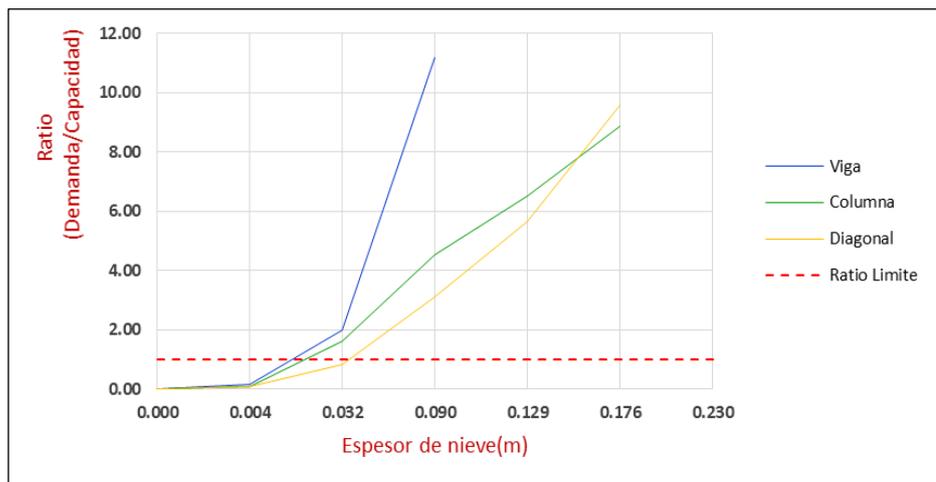
*Curva ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 001-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

**Figura 60**

*Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 001-2021.*

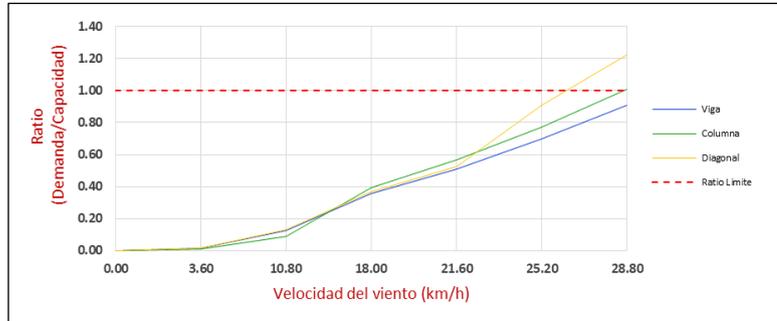


*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

- **Institución educativa secundaria Jose Carlos Mariategui.**

**Figura 61**

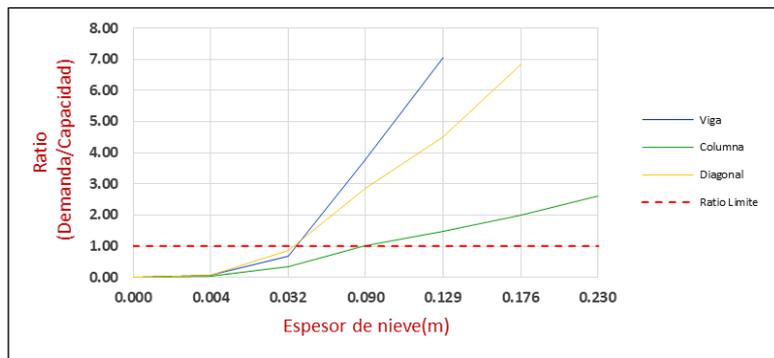
*Curva ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 002-2021*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

**Figura 62**

*Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 002-2021.*

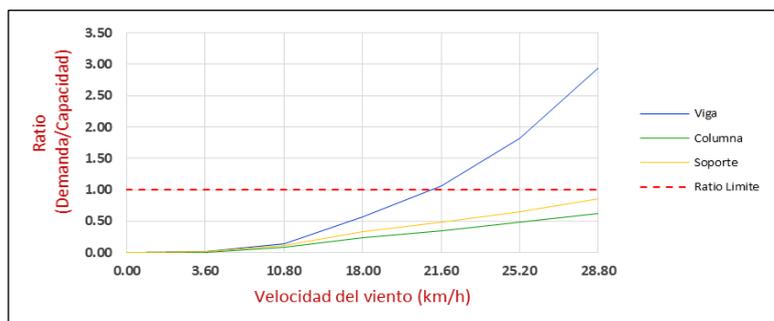


*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

- **Institución educativa secundaria San Antonio de Padua.**

**Figura 63**

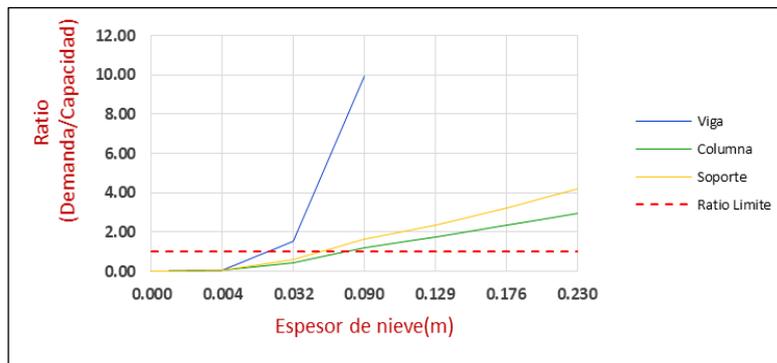
*Curva de ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 003-2021*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### Figura 64

Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 003-2021.

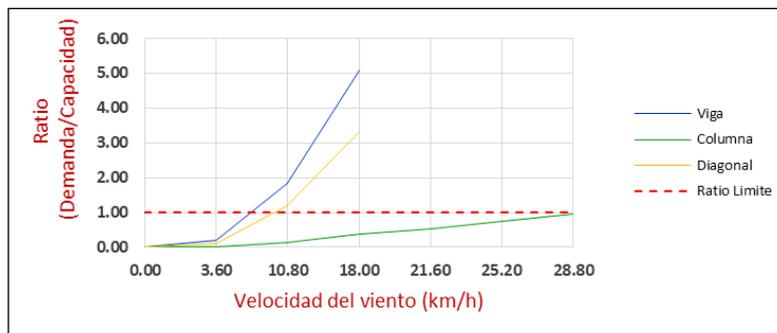


Nota. Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

#### - Institución educativa primaria Laykakota

### Figura 65

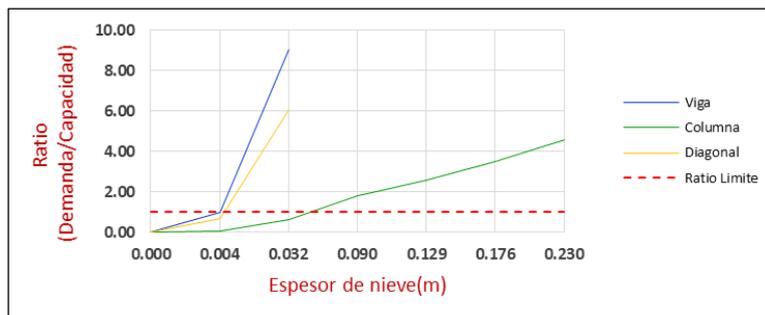
Curva de ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 004-2021



Nota. Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### Figura 66

Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 004-2021.

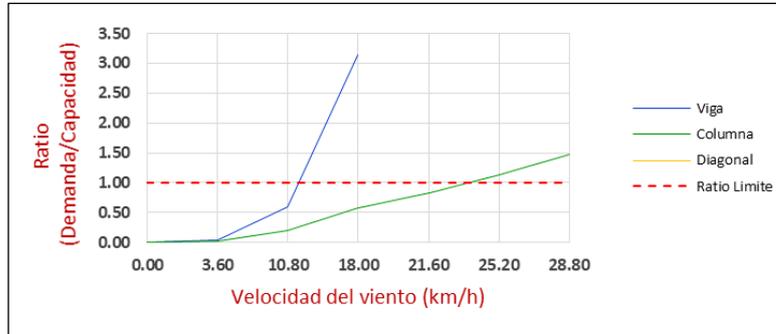


Nota. Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

- **Institución educativa primaria Gran unidad San Carlos**

**Figura 67**

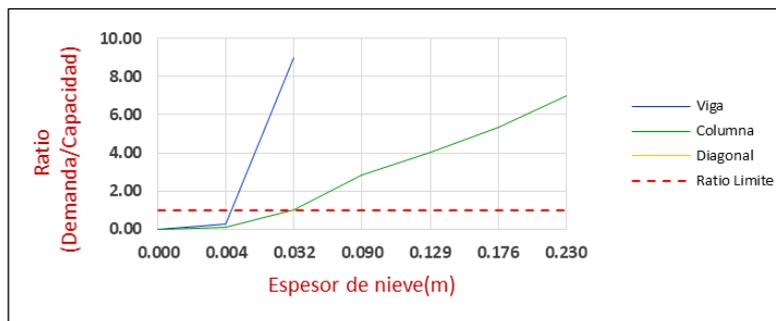
*Curva de ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 005-2021*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

**Figura 68**

*Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 005-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

- **I. E. P. Glorioso San Carlos**

**Figura 69**

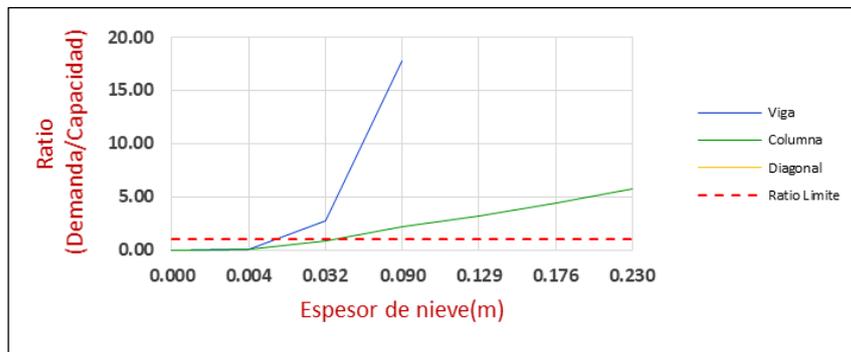
*Curva de ratio vs velocidad del viento - Cód. inv. 006-2021*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

## Figura 70

Curva ratio vs espesor de nieve - Cód. inv. 006-2021.



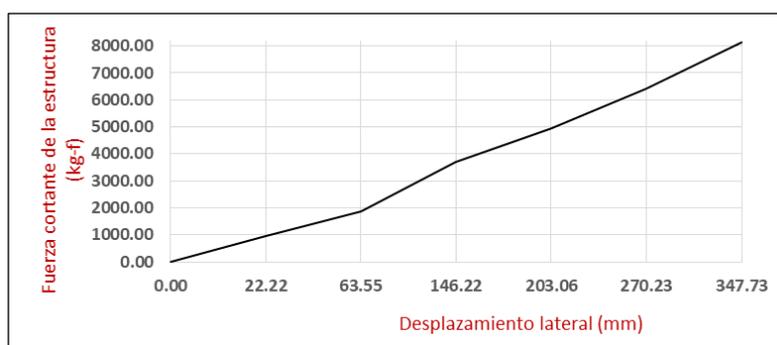
Nota. Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### 3.8.3.4 Desarrollo de los modelos basado en desplazamientos.

La representación gráfica de la curva que genera el desplazamiento en el techo de la estructura ante el incremento de la fuerza cortante de la estructura se considera curva de capacidad. La fuerza cortante en la base de la estructura (acumulación de fuerzas), se determina para cada incremento de la combinación de cargas a una altura de 0.01 m, al igual que la deformación es la máxima determinada en las vigas, para el presente análisis la fuerza cortante en la base de la estructura, se considera a la mayor fuerza en evaluación de todas las columnas, esto para cada combinación. Los cálculos se muestran en la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7), a continuación, se muestran los gráficos de esfuerzo – deformación de la estructura.

## Figura 71

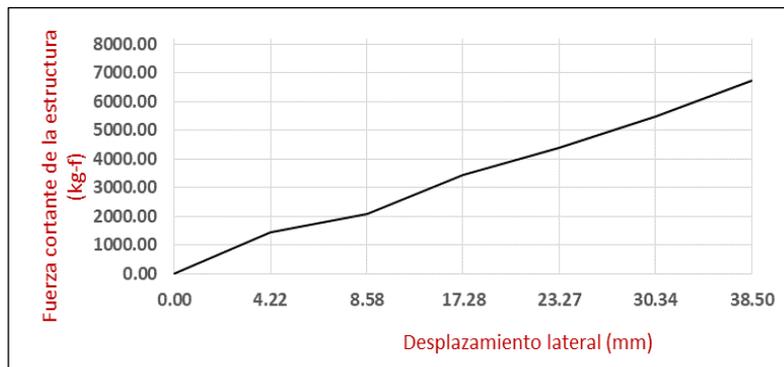
Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 001-2021.



Nota. Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### Figura 72

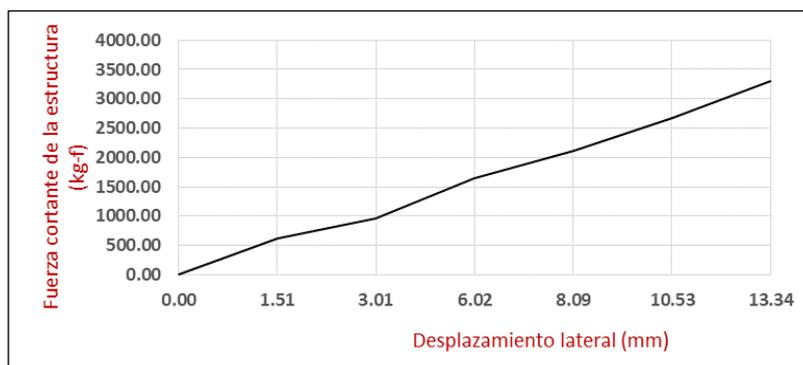
*Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 002-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### Figura 73

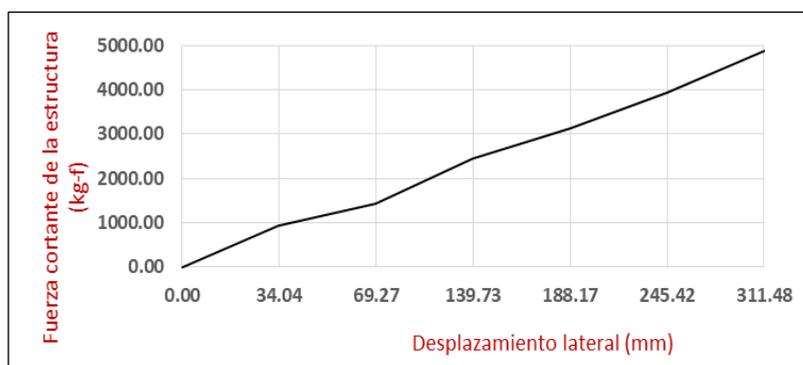
*Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 003-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### Figura 74

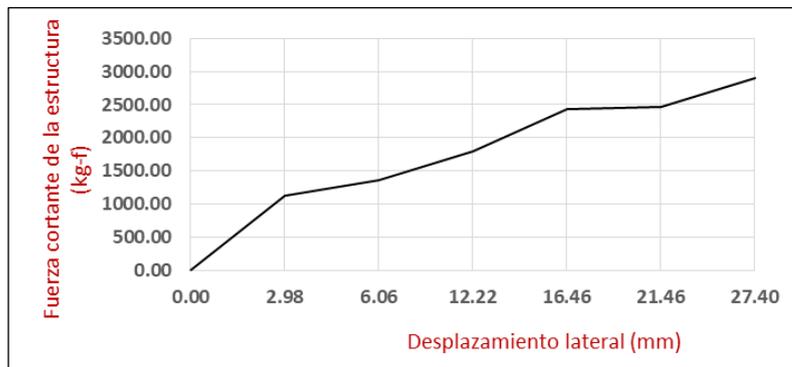
*Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 004-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### Figura 75

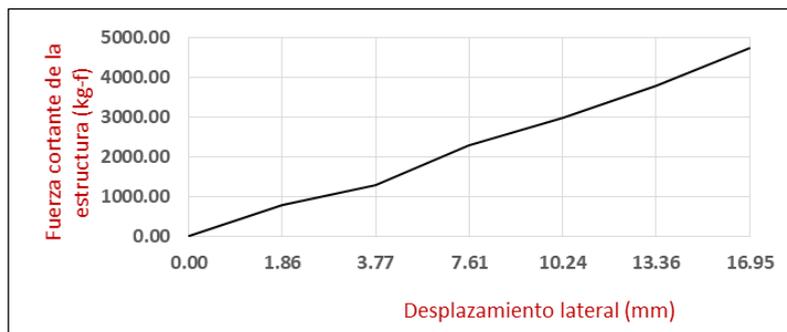
*Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 005-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

### Figura 76

*Esfuerzo vs deformación de la estructura - Cód. inv. 006-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo estructural N°001 (véase anexo 7).

#### 3.8.4 Contraste de la Metodología con un Caso Real de Colapso.

A fin de dar validez a la metodología adoptada, se realiza el contraste con la evaluación de colapso de un caso real de una estructura metálica con cobertura de malla raschel. La evaluación se desarrolla mediante un análisis estático lineal desarrollada en el software sap2000 y una memoria de cálculo estructural (véase anexo 8).

##### 3.8.4.1 Datos del evento ocurrido.

- Lugar: patio de honor de la institución educativa Primaria Glorioso San Carlos.
- Fecha del evento: 12 de octubre del 2017.

- Velocidad máxima del viento en de octubre del 2017: 8 m/s (reporte de SENAMHI)
- Carga de granizada: 8 cm a 10 cm.

### 3.8.4.2 Descripción del evento:

Para recabar información fidedigna sobre el evento ocurrido se realizaron visitas a la institución en mención, extrayendo información verbal por parte del personal administrativo y la sub directora de la institución donde según manifiestan la estructura (pórtico metálico) se vino abajo debido a la acumulación de granizada en la malla raschel a una altura de 8 cm a 10 cm, información corroborada por la nota periodística de radio onda azul, así mismo la velocidad del viento según reporte del SENAMHI, en el mes de octubre del 2017, alcanzó picos máximos de 8 m/s.

En ese contexto, se evalúa el colapso ocurrido en función al incremento de viento y carga de nieve.

### Figura 77

*Reubicación de la estructura colapsada el año 2017.*



*Nota.* Tomado durante visitas a campo.

Por otro lado, mencionar que la estructura colapsa parcialmente, es decir colapsa solo un pórtico compuesto por cinco columnas metálicas y una viga metálica.

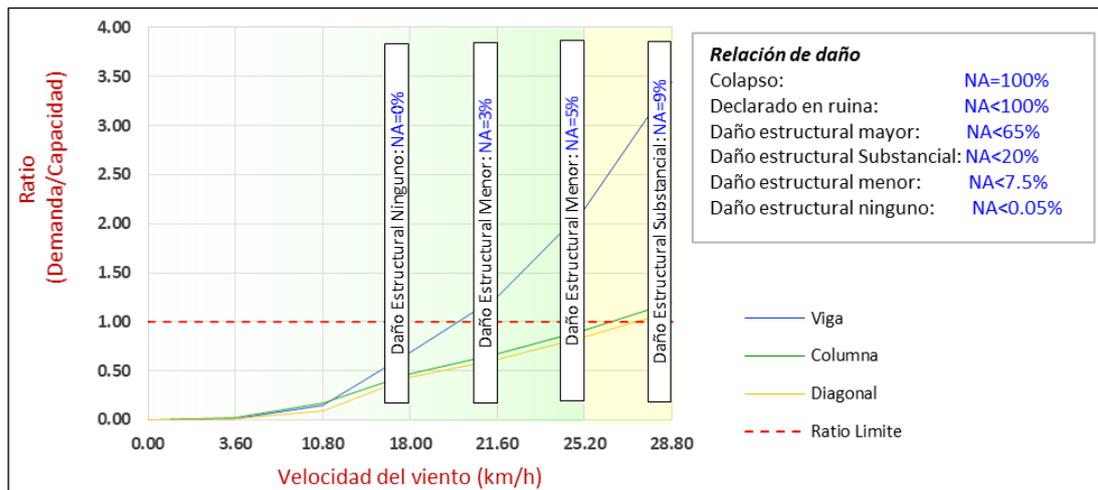
### 3.8.4.3 Análisis del comportamiento teórico de la estructura.

- **Comportamiento teórico ante el incremento de viento.**

La evaluación del comportamiento teórico de la estructura ante el incremento de la velocidad del viento se realiza en función a la no aceptabilidad de aquellos elementos que se encuentren sobre esforzados ( $R > 1$ ).

### Figura 78

*Comportamiento teórico ante el incremento de velocidad del viento.*



*Nota:* La evaluación se realiza en función al ratio (demanda/capacidad).

El comportamiento de la estructura ante el incremento de la velocidad del viento, evidencia, que a velocidades menores a 18 km/h, ningún elemento se encuentra sobre esforzado ( $R \leq 1$ ), sin embargo cuando se presentan velocidades mayores a 21.60 km/h se evidencia que los elementos horizontales como las vigas están sobre esforzadas, verificando un daño estructural menor, el mismo escenario ocurre cuando la velocidad es de 25.20 km/h, por último se verifica que a velocidades máximas de 28.8 km/h el 9 % de los elementos estructurales sometidos a estas cargas están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño.

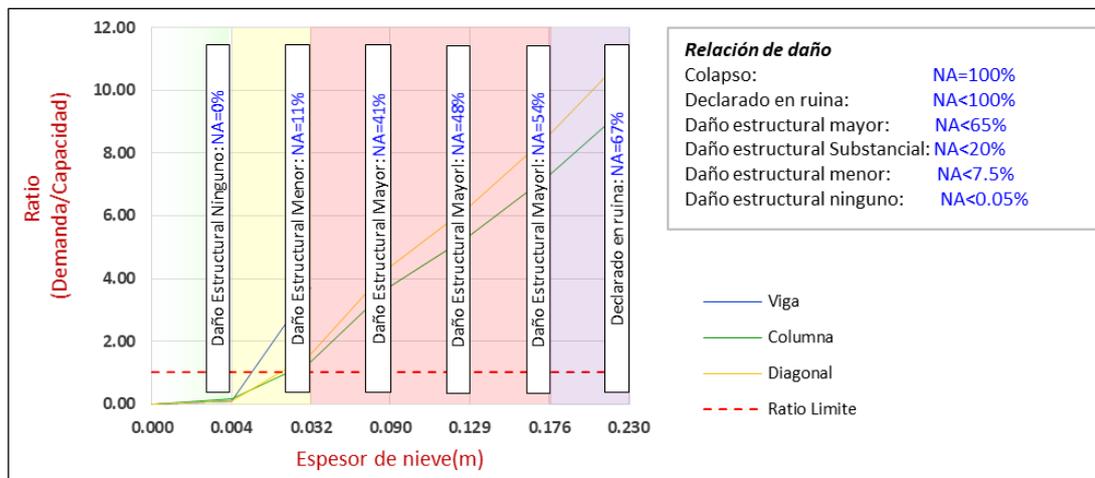
Según el presente análisis se deduce que la máxima velocidad del viento, generan un daño substancial, lo que indica que algunos elementos estructurales están sobre esforzados. Sin embargo, se evidencia que la carga del viento no género el colapso de la estructura.

- **Comportamiento teórico ante el incremento de carga de nieve.**

La evaluación del comportamiento teórico de la estructura ante el incremento de la carga de nieve se realiza en función a la no aceptabilidad de aquellos elementos que se encuentren sobre esforzados ( $R > 1$ ).

**Figura 79**

*Comportamiento teórico ante el incremento de nieve.*



*Nota:* La evaluación se realiza en función al ratio (demanda/capacidad) de los elementos estructurales.

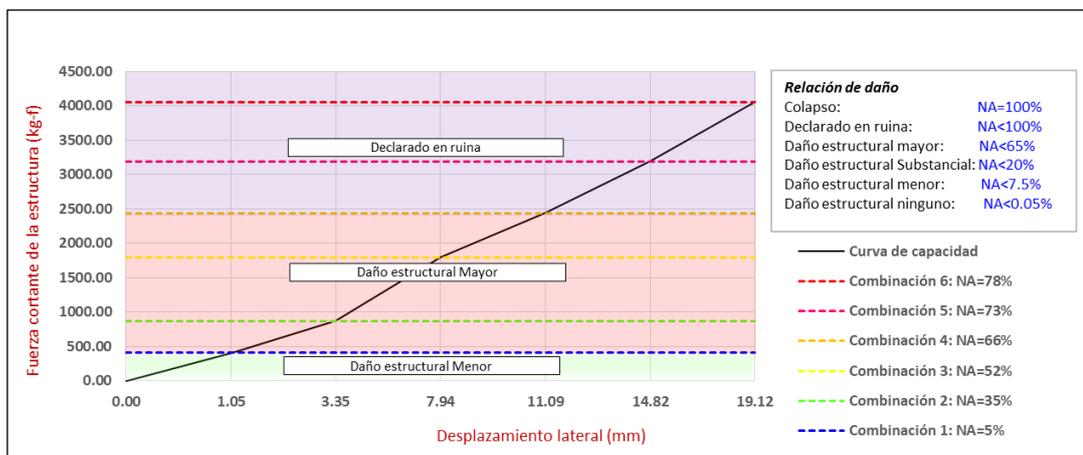
El comportamiento de la estructura ante el incremento de carga de nieve, evidencia que cuando la carga de nieve se ha acumulado hasta una altura de 4 mm, la estructura no sufre daño alguno, sin embargo, cuando el espesor de nieve es de 3.2 cm algunos elementos horizontales, verticales y diagonales están sobre esforzados. Así mismo, en el momento que la carga de nieve es de 9.0 cm el 41 % de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ), tal vez podríamos definir este punto como el momento previo al colapso, pero se analiza únicamente la carga de nieve, por tanto, se deduce que cuando los elementos estructurales sobre esforzados son mayores al 41%, existe riesgo de colapso de la estructura, sin embargo, el colapso real se analiza ante la combinación de cargas de viento y nieve.

- **Comportamiento teórico ante el incremento de combinación de cargas.**

La evaluación del comportamiento teórico de la estructura ante el incremento de la combinación de cargas de viento y nieve, se realiza en función a la no aceptabilidad de aquellos elementos que se encuentren sobre esforzados ( $R > 1$ ) comparados en las curvas de capacidad de la estructura.

**Figura 80**

*Comportamiento teórico de la estructura ante la combinación de cargas.*



*Nota:* La evaluación se realiza en función al ratio (demanda/capacidad) de los elementos estructurales.

Si bien es cierto en el análisis realizado al comportamiento teórico de la estructura ante el incremento independiente de nieve y viento, se evaluaron elementos verticales, horizontales y diagonales, en este caso para la determinación del contraste del punto de colapso, se analiza en una sola curva, que representa la curva de capacidad de la estructura, la cual se evalúa en función a la combinación de cargas aplicadas simultáneamente. En ese entender el comportamiento teórico de la estructura ante el incremento de combinaciones de carga, evidencia que existe un daño menor cuando se aplica una combinación de cargas 1, muy pronto se tiene un daño mayor de la estructura cuando se aplica la combinación 2. Cuando se aplica la combinación de cargas 3, el 52% de los elementos estructurales están sobre esforzados o han sufrido algún daño, por tanto,

la combinación 3, representa la aplicación simultanea de cargas de viento (18.00 km/h) y nieve (9.00 cm) con la cual la estructura colapsa parcialmente.

#### 3.8.4.4 Control de hipótesis

El 52% de elementos estructurales sobre esforzados, son el resultado de la evaluación en todos los elementos estructurales (columnas y vigas), a continuación, se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 87**

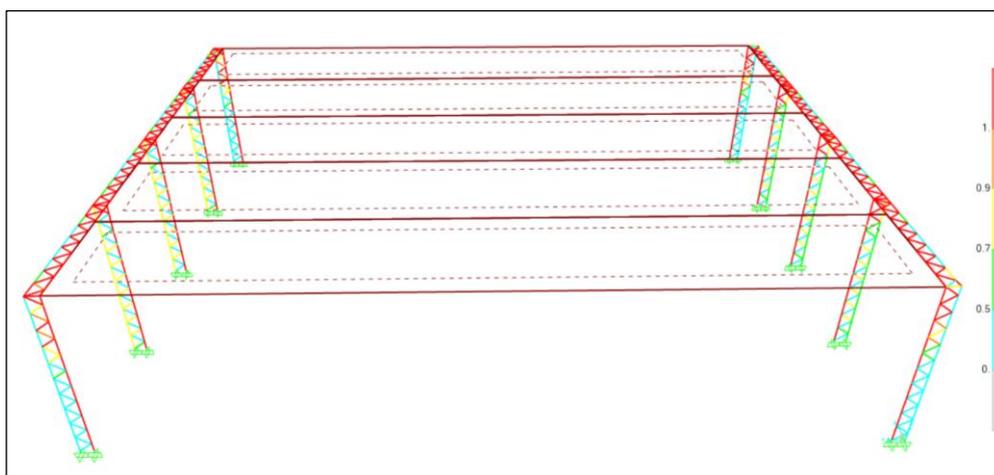
*Porcentaje de no aceptabilidad*

Elemento	Detalle	% de No Aceptabilidad
<b>Columna metálica</b>		<b>9%</b>
	Tubo circular	4%
	Fierro corrugado (diagonal)	5%
<b>Viga metálica</b>		<b>43%</b>
	Tubo circular	17%
	Fierro corrugado (diagonal)	26%
<b>Total</b>		<b>52%</b>

*Nota:* La evaluación se realiza en función al ratio (demanda/capacidad).

**Figura 81**

*Verificación de elementos sobre esforzados.*

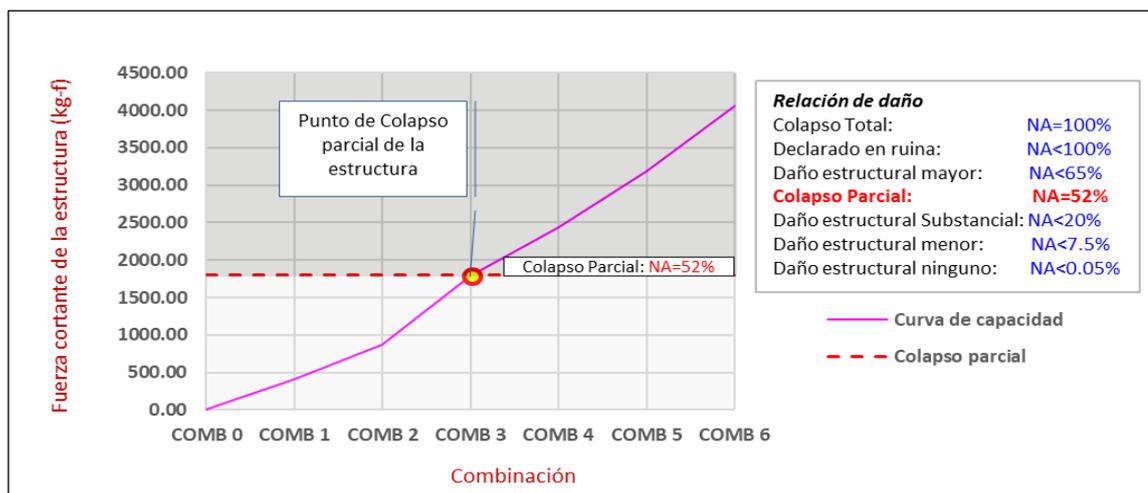


*Nota:* La evaluación se realiza en función al ratio (demanda/capacidad).

En la figura 81 se puede apreciar que los elementos sobre esforzados en su mayoría pertenecen a las vigas metálicas, sin embargo el colapso se debe a una falla en la base de las columnas, en este contexto podemos afirmar que la falla en la columna se debe a deformaciones excesivas en las vigas generando ladeos en el extremo libre de la columna y por consiguiente el incremento de la fuerza cortante en la base de la columna, por tanto la evaluación del colapso, engloba una sumatoria de sobre esfuerzos ( $R > 1$ ), no solo en el punto de falla sino en toda la estructura.

## Figura 82

### *Punto de colapso parcial de la estructura*



*Nota:* El colapso se manifiesta cuando se aplica la combinación de cargas 3.

Del análisis descrito, se deduce que el contraste es válido en el entendido que la estructura colapsa parcialmente cuando la curva de capacidad se encuentra en la zona de estado de daño estructural mayor y que el 52% de los elementos estructurales (columnas y vigas) se encuentran sobre esforzados o han sufrido algún daño. Por tanto, el punto de colapso de la estructura se da cuando el 52% de elementos estructurales se encuentran sobre esforzados o sufren algún daño.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se desarrolla y discutirá los resultados obtenidos de la presente investigación, en donde se analizan la vulnerabilidad de las estructuras metálicas bajo el método empírico y el método analítico.

#### 4.1 VULNERABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO EMPÍRICO

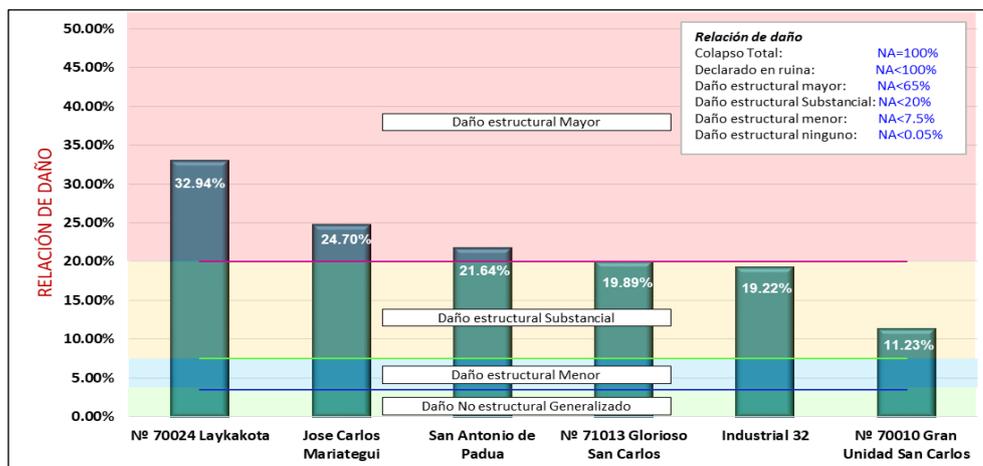
##### 4.1.1 Resultados

La vulnerabilidad de las estructuras determinadas mediante el método empírico usando tablas de relación de daño reflejan el estado de daño actual en que se encuentran las estructuras en condiciones normales ya que en la etapa de recolección de datos las estructuras no han sido sometidas a cargas de nieve y viento por tanto este método de evaluación no predice situaciones a futuro de fallas o colapsos, únicamente ponen en evidencia los puntos críticos de la estructura.

Los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad mediante el método empírico en función a la relación de daño se muestran a continuación.

**Figura 83**

*Relación de daño de la estructura.*



*Nota.* Resumen de relación de daño de las seis instituciones.



#### **4.1.2 Descripción del daño con potencial de falla estructural.**

De los resultados mostrados se pueden hacer las siguientes apreciaciones para cada caso de estudio.

##### **4.1.2.1 Institución educativa primaria Laykakota.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa primaria Laykakota, presenta una relación de daño igual a 32.94%, siendo este el máximo valor en comparación con las otras instituciones, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño estructural mayor según se describe a continuación.

###### **- Columna metálica.**

Se evidencia desplazamientos laterales de hasta 10.5 cm en los extremos libres (ladeo) en las columnas metálicas C6, C7 y C8 ubicadas en el pórtico del eje “A-A” según el plano E-04/cod. inv. 004-2021 (véase anexo 11), generados aparentemente a causa del funcionamiento de la cobertura de malla raschel, esto es un indicativo que la armadura de la columna no tiene la rigidez necesaria para trabajar por sí sola, más por lo contrario este pórtico depende de los anclajes lo que genera un daño estructural substancial.

###### **- Anclajes.**

Las fuerzas generadas por el ladeo en las columnas C6, C7 y C8 han generado sobre esfuerzos en los puntos de anclajes ubicados en dinteles de aulas existentes en los que se evidencia deformación, cedencia y daño en los puntos de anclaje (dinteles). Por tanto, obedecen a un daño estructural mayor, ya que requiere reubicación de los anclajes que sujetan al pórtico ubicado en el eje “A-A” según el plano E-04/cód. inv. 004-2021 (véase anexo 11).

###### **- Pedestal de concreto armado.**



El desplazamiento lateral en el extremo libre de la columna (ladeo), genera fuerzas cortantes en la base de la columna (pedestal), lo que hace que este elemento este sobre esforzado, ya que se evidencia presencia de fisuras existentes ubicadas en los pedestales de las columnas C6, C7 y C8 según el plano E-04/cod. inv. 004-2021 (véase anexo 11).

#### **4.1.2.2 Institución educativa secundaria José Carlos Mariátegui.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa secundaria José Carlos Mariátegui, presenta una relación de daño igual a 24.70%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño estructural mayor según se describe a continuación.

- **Uniones con soldadura.**

Las uniones con soldadura evidencian inspección visual de soldadura no aceptable al 54% en las columnas C1, C3 y C4, ya que contienen presencia de grietas, fusión de soldadura, sección recta del cráter, perfil de soldadura y porosidad no aceptable, por tanto, obedecen a un daño estructural mayor en las uniones.

- **Anclajes.**

Se evidencia vientos de anclaje amarrados en aceros corrugados descubiertos en columnas de concreto armado existentes, por tanto, se requiere la reubicación de los anclajes que sujetan al pórtico ubicado en el eje “2-2” según el plano E-02/cod. inv. 002-2021 (véase anexo 11).

#### **4.1.2.3 Institución educativa secundaria San Antonio de Padua.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa secundaria San Antonio de Padua, presenta una relación de daño igual a 21.64%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño estructural mayor según se describe a continuación.

- **Anclajes.**



Obedecen a un daño estructural mayor, ya que requiere reubicación de los anclajes que sujetan al pórtico ubicado en el eje “2-2” según el plano E-03/cod. inv. 003-2021 (véase anexo 11), atados al cerco metálico existente en los que se evidencia cedencia y deformación en los puntos de amarre.

#### **4.1.2.4 Institución educativa Glorioso San Carlos.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa primaria Glorioso San Carlos, presenta una relación de daño igual a 19.89%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño estructural substancial, sin embargo, no se evidencia daño con potencial de falla estructural. Así mismo se evidencia el uso de acero A-615 (acero corrugado), el cual no está permitido para trabajos de soldadura conforme indica la norma E-090 estructuras metálicas, por tanto se recomienda el cambio con acero liso A-36.

#### **4.1.2.5 Institución educativa secundaria Industrial 32.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa secundaria industrial 32, presenta una relación de daño igual a 19.22%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño estructural substancial ya que es necesario la reubicación de un punto de anclaje mismo que compromete a una columna de concreto armado, sin embargo no se evidencia daño con potencial de falla estructural.

#### **4.1.2.6 Institución educativa primaria gran unidad San Carlos.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa primaria gran unidad San Carlos, presenta una relación de daño igual a 11.23%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño estructural substancial en relación a la aceptabilidad de la soldadura, sin embargo, no se evidencia daño con potencial de falla estructural. Así mismo se evidencia el uso de acero A-615 (acero corrugado), el cual no está permitido para trabajos de soldadura conforme indica

la norma E-090 estructuras metálicas, por tanto, se recomienda el cambio con acero liso A-36.

## 4.2 VULNERABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO ANALÍTICO

La vulnerabilidad de las estructuras determinadas mediante el método analítico desarrollando modelos basados en ratio (demanda/capacidad) y apoyándonos en el uso de tablas de relación de daño, estos reflejan el estado de daño en condiciones desfavorables, es decir con cargas aplicadas ante eventos climáticos no convencionales.

### 4.2.1 I. E. S. Industrial 32.

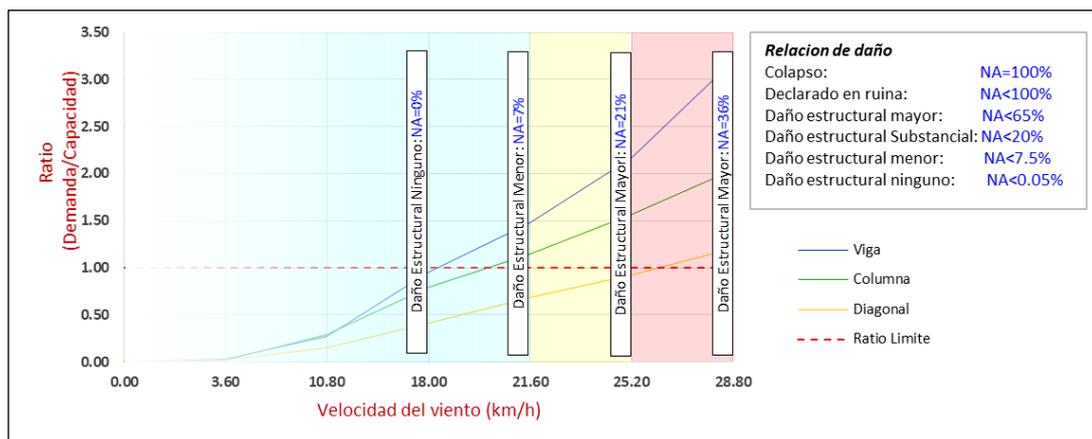
A continuación, se muestra el daño en función al incremento de cargas de la velocidad del viento y la carga de nieve.

#### 4.2.1.1 Descripción del daño ante el incremento de la velocidad del viento.

La vulnerabilidad estructural debido al incremento de la velocidad del viento se muestra en la siguiente figura.

**Figura 84**

*Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 001-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

- A velocidades menores a 18 km/h la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos estructurales, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la velocidad del viento ( $R \leq 1$ ).

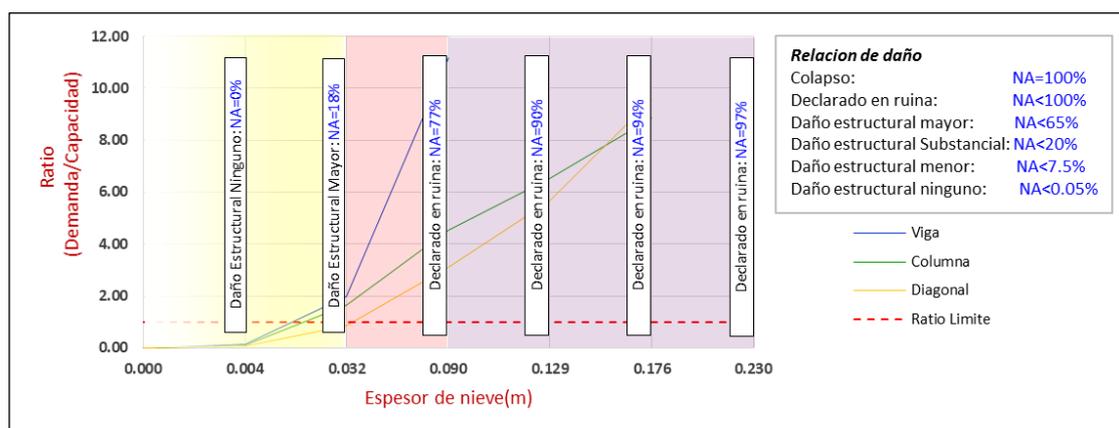
- A velocidades mayores a 18 km/h se observa que algunos elementos están sobre esforzados ( $R > 1$ ) principalmente elementos de la viga metálica.
- A velocidades mayores a 25.20 km/h, se observa elementos sobre esforzados ( $R > 1$ ) con un porcentaje de no aceptabilidad del 21%.
- Cuando la velocidad es de 28.80 km/h, se observa que el 36% de elementos están sobre esforzados en las vigas, columnas y diagonales.

#### 4.2.1.2 Descripción del daño ante el incremento de la carga de nieve.

La vulnerabilidad estructural debido al incremento de carga de nieve se muestra en la siguiente figura.

**Figura 85**

*Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 001-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 4 mm, la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la carga de nieve ( $R \leq 1$ ).
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 3.2 cm, se observa que el 18% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño.
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 9 cm, se observa que el 77% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ).

#### 4.2.2 I. E. S. José Carlos Mariátegui.

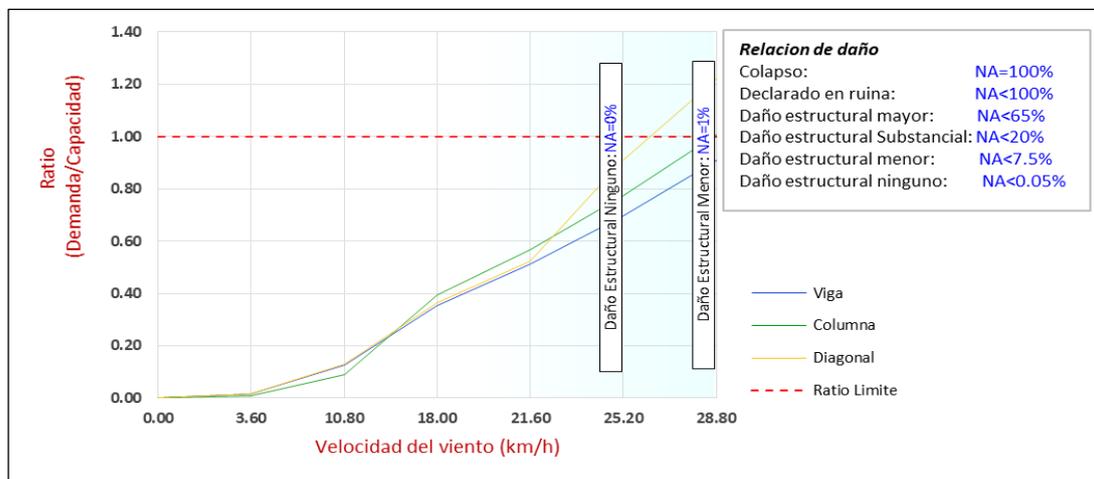
A continuación, se muestra el daño en función al incremento de cargas de la velocidad del viento y la carga de nieve.

##### 4.2.2.1 Descripción del daño ante el incremento de la velocidad del viento.

La vulnerabilidad estructural debido al incremento de la velocidad del viento se muestra en la siguiente figura.

**Figura 86**

*Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 002-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

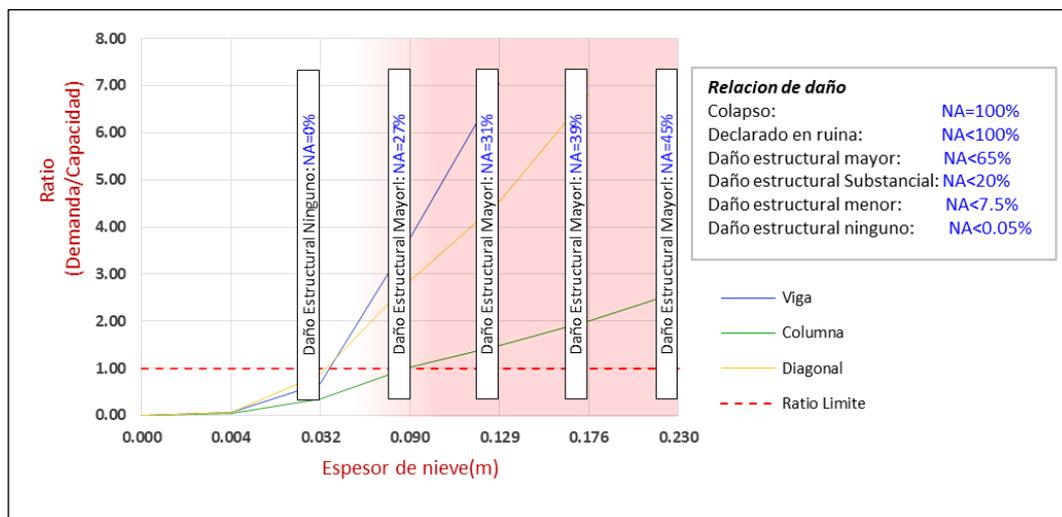
- A velocidades menores a 25.2 km/h la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos estructurales, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la velocidad del viento ( $R \leq 1$ ).
- A velocidad de 28.8 km/h, se observa que el 1% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ) principalmente en las diagonales.

##### 4.2.2.2 Descripción del daño ante el incremento de la carga de nieve.

La vulnerabilidad estructural debido al incremento de carga de nieve se muestra en la siguiente figura.

**Figura 87**

*Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 002-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 3.2 cm, la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la carga de nieve ( $R \leq 1$ ).
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 9.0 cm, se observa que el 27% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R > 1$ ).
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 23 cm, se observa que el 45% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ), lo que indica un daño estructural mayor.

#### 4.2.3 I. E. S. San Antonio de Padua.

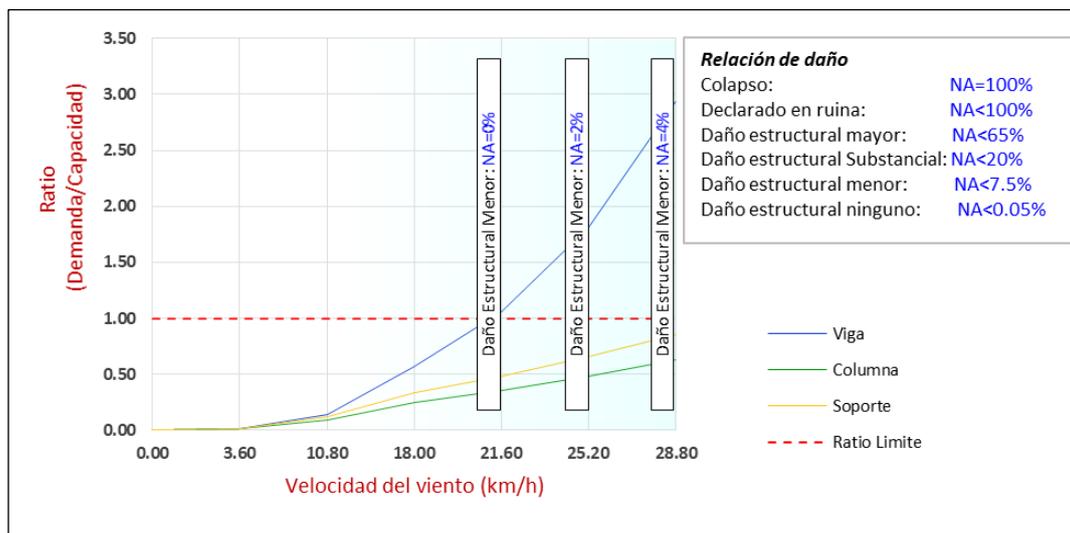
A continuación, se muestran el daño en función al incremento de cargas de la velocidad del viento y la carga de nieve.

##### 4.2.3.1 Descripción del daño ante el incremento de la velocidad del viento.

La vulnerabilidad estructural debido al incremento de la velocidad del viento se muestra en la siguiente figura.

**Figura 88**

*Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 003-2021*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

- A velocidades menores a 21.6 km/h la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos estructurales, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la velocidad del viento ( $R \leq 1$ ).
- A velocidad de 25.2 km/h, se observa que el 2% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ) principalmente los elementos que conforman las vigas metálicas.
- A velocidad de 28.80 km/h, se observa que el 4% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ) principalmente los elementos que conforman las vigas metálicas.

#### 4.2.3.2 Descripción del daño ante el incremento de la carga de nieve.

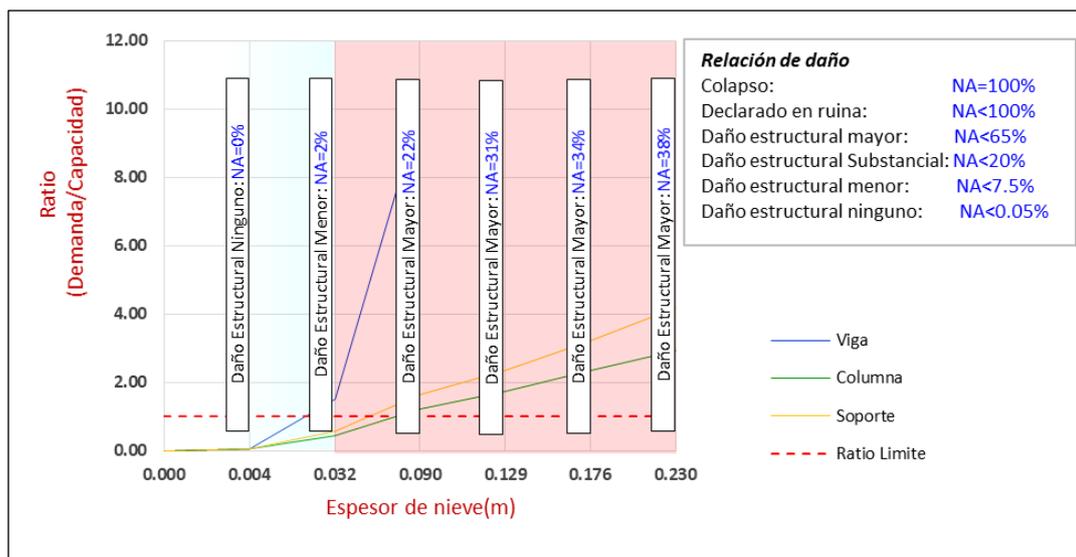
La vulnerabilidad estructural debido al incremento de carga de nieve se muestra en la figura 89.

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 4 mm la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la carga de nieve ( $R \leq 1$ ).

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 3.2 cm, se observa que el 2% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R>1$ ), por tanto el daño estructural es menor.
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 9.0 cm, se observa que el 22% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R>1$ ).
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 23 cm, se observa que el 38% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R>1$ ), lo que indica un daño estructural mayor.

**Figura 89**

*Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 003-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.2.4 I. E. P. Laykakota.

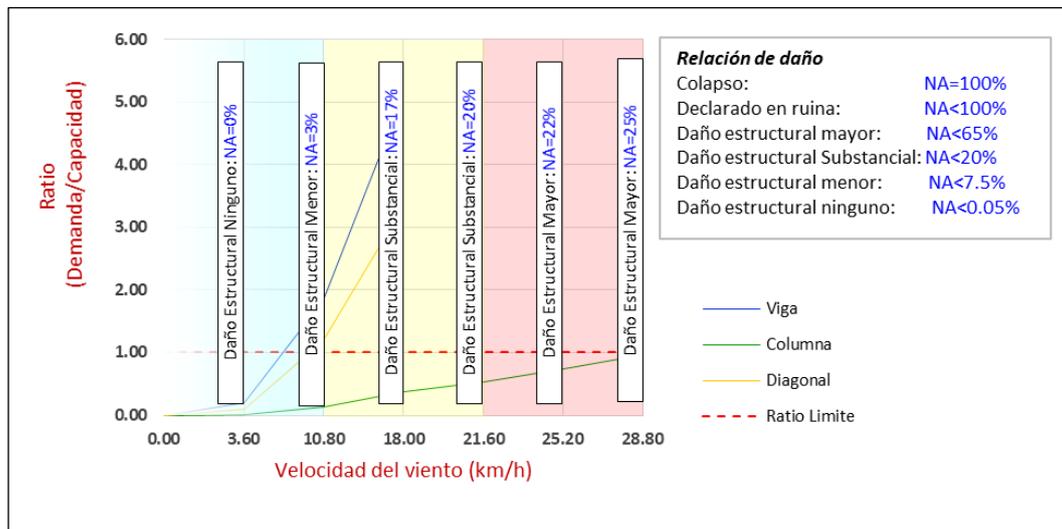
A continuación, se muestran el daño en función al incremento de cargas de la velocidad del viento y la carga de nieve.

##### 4.2.4.1 Descripción del daño ante el incremento de la velocidad del viento.

La vulnerabilidad estructural debido al incremento de la velocidad del viento se muestra en la siguiente figura.

**Figura 90**

*Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 004-2021*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

- A velocidades menores a 3.6 km/h la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos estructurales, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la velocidad del viento ( $R \leq 1$ ).
- A velocidad de 10.8 km/h, se observa que el 3% de elementos estructurales están sobre esforzados principalmente los elementos que conforman las vigas metálicas.
- A velocidad de 28.80 km/h, se observa que el 25% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ) principalmente los elementos que conforman las vigas y diagonales metálicas.

#### 4.2.4.2 Descripción del daño ante el incremento de la carga de nieve.

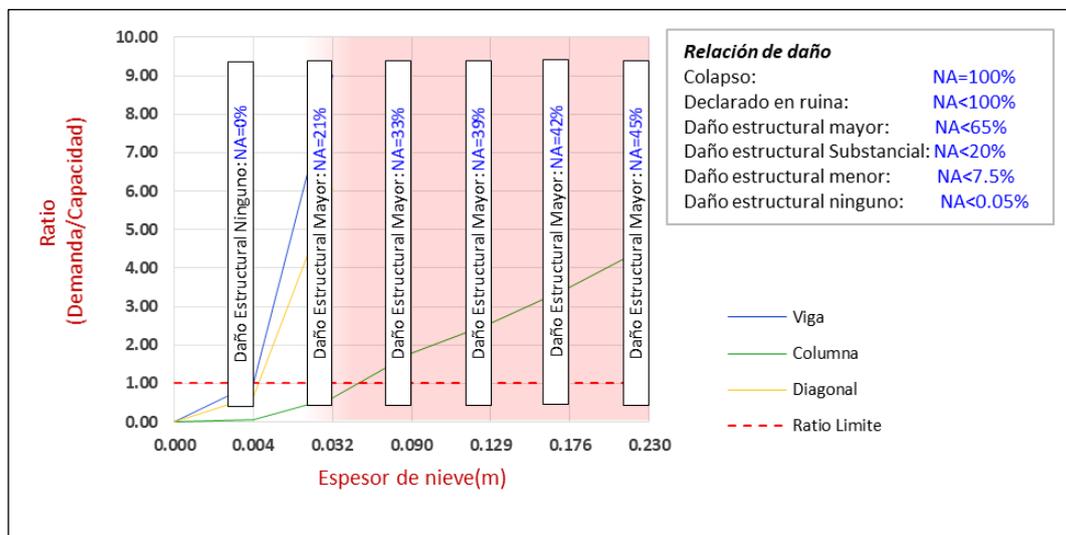
La vulnerabilidad estructural debido al incremento de carga de nieve se muestra en la figura 91.

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 4 mm la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la carga de nieve ( $R \leq 1$ ).

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 3.2 cm, se observa que el 21% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R > 1$ ), por tanto, el daño estructural es mayor.
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 23.0 cm, se observa que el 45% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R > 1$ ).

**Figura 91**

*Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 004-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.2.5 I. E. P. Gran Unidad San Carlos.

A continuación, se muestran el daño en función al incremento de cargas de la velocidad del viento y la carga de nieve.

##### 4.2.5.1 Descripción del daño ante el incremento de la velocidad del viento.

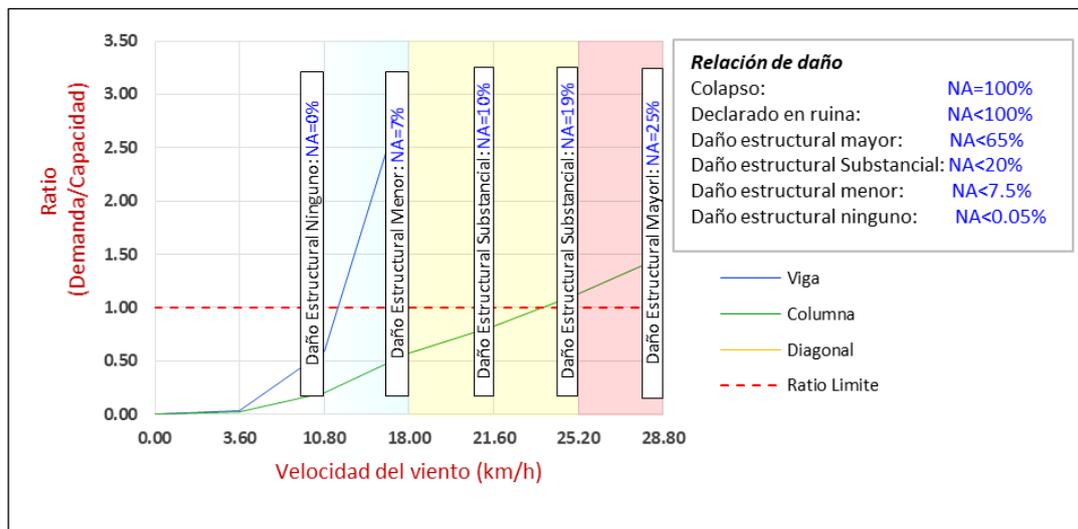
La vulnerabilidad estructural debido al incremento de la velocidad del viento se muestra en la figura 92.

- A velocidades menores a 10.8 km/h la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos estructurales, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la velocidad del viento ( $R \leq 1$ ).

- A velocidad de 18 km/h, se observa que el 7% de elementos estructurales están sobre esforzados, presentando un daño estructural substancial.
- A velocidad de 28.80 km/h, se observa que el 25% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ).

**Figura 92**

*Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 005-2021*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.2.5.2 Descripción del daño ante el incremento de la carga de nieve.

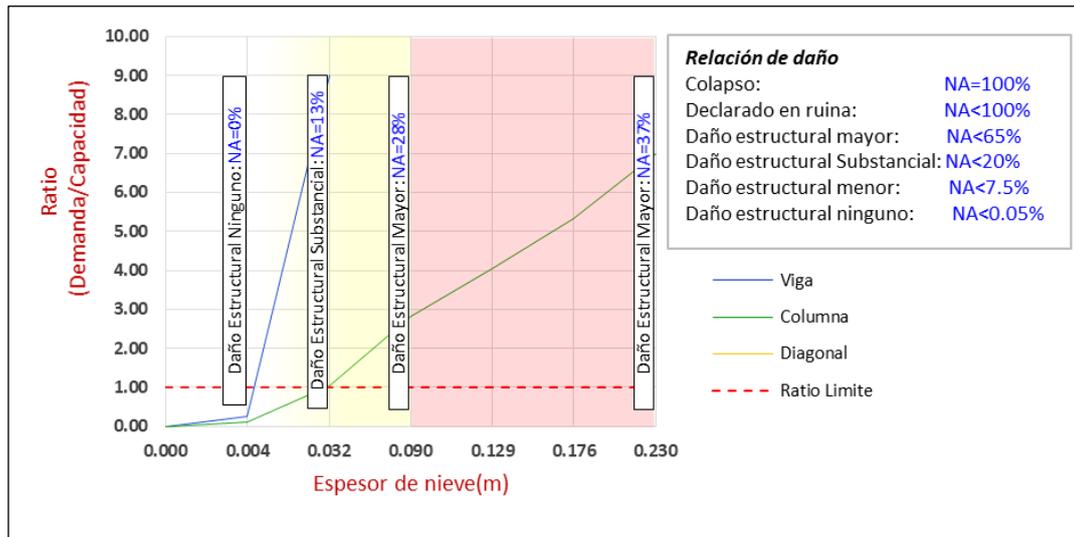
La vulnerabilidad estructural debido al incremento de carga de nieve se muestra en la figura 93.

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 4 mm la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la carga de nieve ( $R \leq 1$ ).
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 3.2 cm, se observa que el 13% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R > 1$ ), por tanto el daño estructural es substancial.

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 23.0 cm, se observa que el 37% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R > 1$ ).

### Figura 93

Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 005-2021.



Nota. Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.2.6 I. E. P. Glorioso San Carlos.

A continuación, se muestran el daño en función al incremento de cargas de la velocidad del viento y la carga de nieve.

##### 4.2.6.1 Descripción del daño ante el incremento de la velocidad del viento.

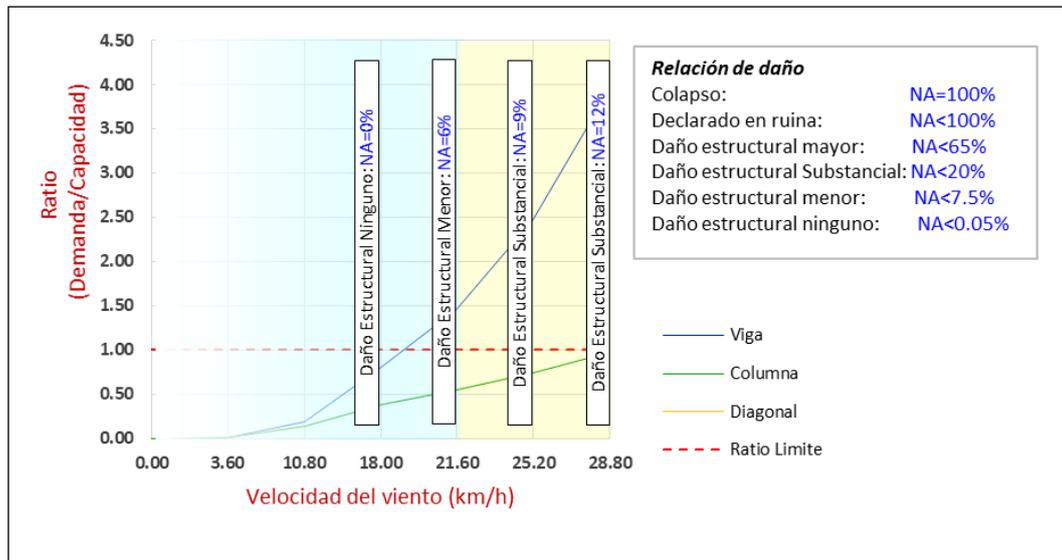
La vulnerabilidad estructural debido al incremento de la velocidad del viento se muestra en la figura 94.

- A velocidades menores a 18.0 km/h la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos estructurales, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la velocidad del viento ( $R \leq 1$ ).
- A velocidad de 25.20 km/h, se observa que el 9% de elementos estructurales están sobre esforzados, presentando un daño estructural substancial.

- A velocidad de 28.80 km/h, se observa que el 12% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ), presentando un daño estructural substancial.

**Figura 94**

*Vulnerabilidad debido a la velocidad del viento - Cód. inv. 006-2021*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

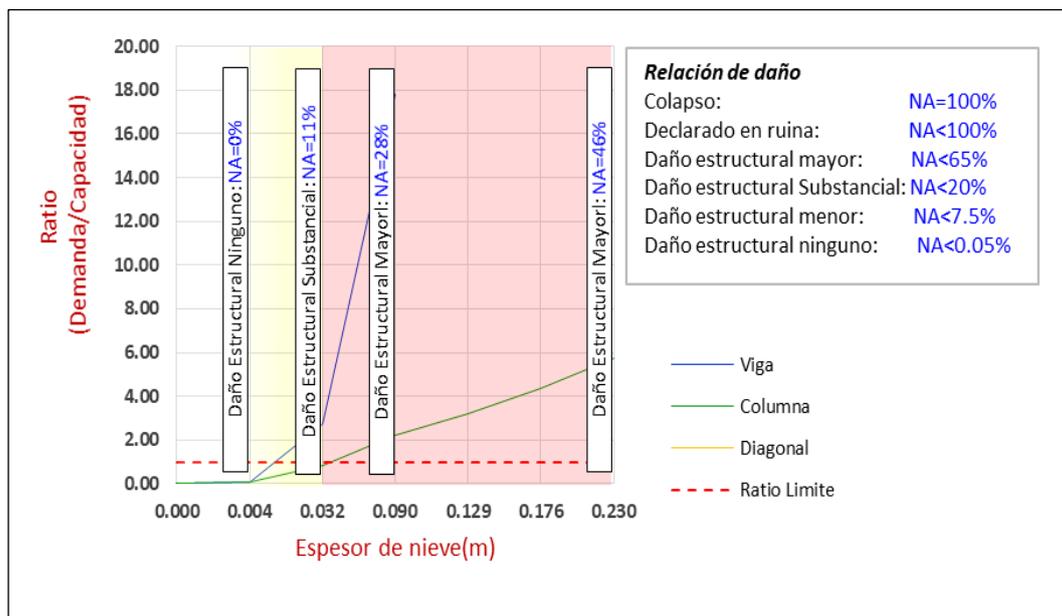
#### 4.2.6.2 Descripción del daño ante el incremento de la carga de nieve.

La vulnerabilidad estructural debido al incremento de carga de nieve se muestra en la figura 95.

- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 4 mm la estructura no sufre ningún tipo de daño en sus elementos, ya que los elementos tienen la capacidad de satisfacer las demandas solicitadas por la carga de nieve ( $R \leq 1$ ).
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 3.2 cm, se observa que el 11% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R > 1$ ), por tanto, el daño estructural es substancial.
- Cuando el espesor de la carga de nieve es de 23.0 cm, se observa que el 46% de los elementos estructurales, están sobre esforzados o sufren algún tipo de daño ( $R > 1$ ).

**Figura 95**

*Vulnerabilidad debido a la carga de nieve - Cód. inv. 006-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

### 4.3 CURVAS DE VULNERABILIDAD.

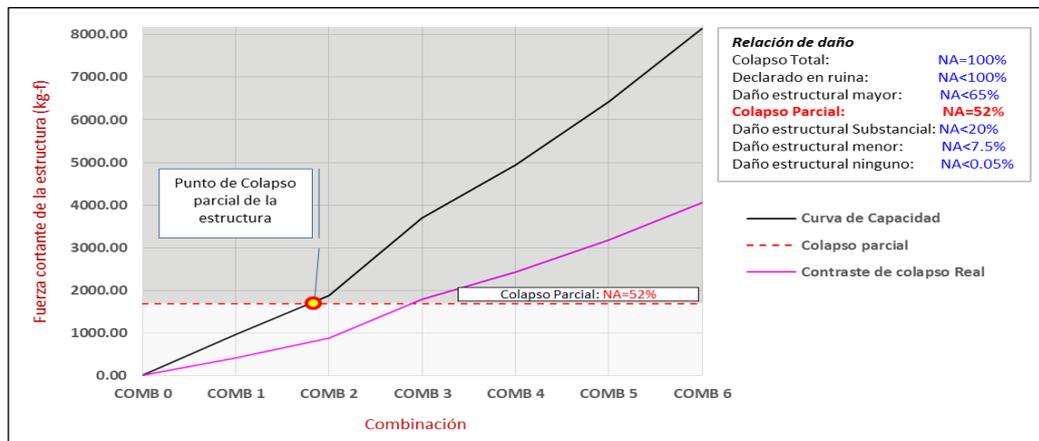
Del análisis realizado al comportamiento teórico de la estructura ante el contraste real de colapso se determinó que la estructura colapsa parcialmente cuando la curva de capacidad se encuentra en la zona de estado de daño estructural mayor y que el 52% de los elementos estructurales se encuentran sobre esforzados o han sufrido algún daño. Por tanto, el punto de colapso de la estructura se da cuando el 52% de elementos estructurales se encuentran sobre esforzados o sufren algún daño ( $R > 1$ ). Así los resultados del método analítico advierten situaciones de fallas o colapsos, en los elementos estructurales.

#### 4.3.1 I. E. S. Industrial 32.

Según se muestra en la figura 96, el punto del colapso parcial de la estructura ocurre antes de la segunda combinación de cargas, esto se da cuando, se aplican las cargas de viento (2.57 m/s) y nieve (2.6 cm) simultáneamente.

**Figura 96**

*Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 001-2021.*



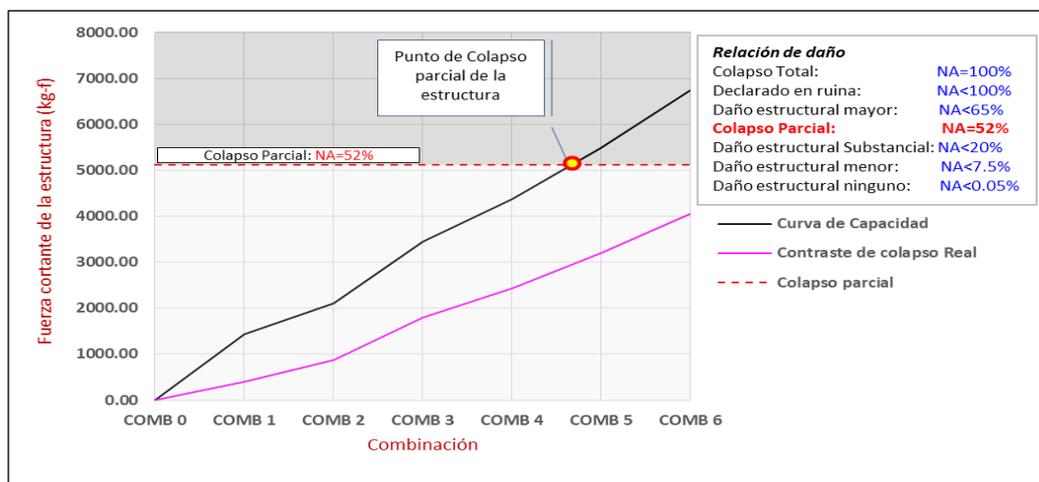
*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.3.2 I. E. S. José Carlos Mariátegui.

Según se muestra en la figura 97, el punto del colapso parcial de la estructura ocurre antes de la quinta combinación de cargas, esto se da cuando se aplican las cargas de viento (6.68 m/s) y nieve (16.1 cm) simultáneamente.

**Figura 97**

*Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 002-2021.*



*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

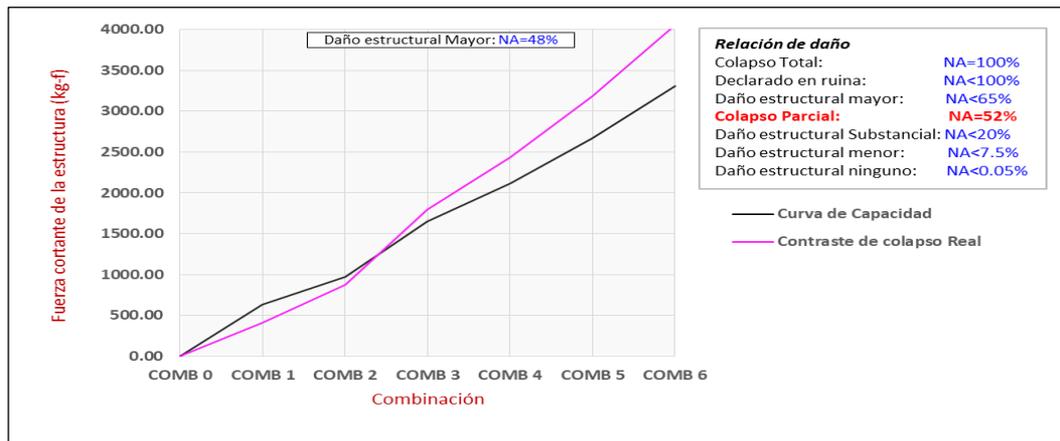
#### 4.3.3 I. E. S. San Antonio de Padua.

Según se muestra en la figura 98, cuando se aplican la combinación de cargas máximas de viento (8.00 m/s) y nieve (23.00 cm) simultáneamente, la estructura presenta

un daño estructural mayor, ya que el 48% de elementos estructurales se encuentran sobre esforzados o han sufrido algún daño no ocurriendo el colapso, sin embargo, del contraste realizado se puede deducir que se encuentra muy cerca al colapso.

### Figura 98

Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 003-2021.



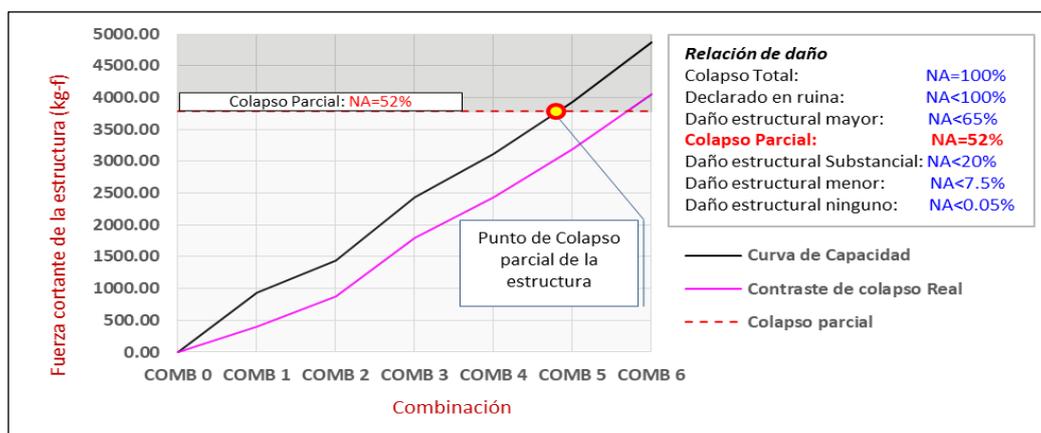
Nota. Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.3.4 I. E. P. Laykakota.

Según se muestra en la figura 99, el punto del colapso parcial de la estructura ocurre antes de la quinta combinación de cargas, esto se da cuando se aplican las cargas de viento (6.82 m/s) y nieve (16.7 cm) simultáneamente.

### Figura 99

Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 004-2021.



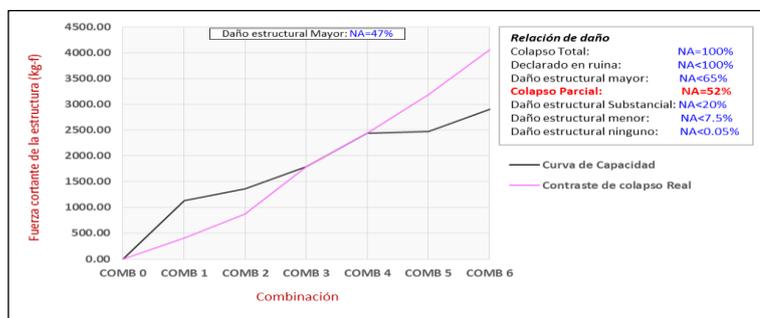
Nota. Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.3.5 I. E. P. Gran Unidad San Carlos.

Según se muestra en la figura 100, cuando se aplican la combinación de cargas máximas de viento (8.00 m/s) y nieve (23.00 cm) simultáneamente, la estructura presenta un daño estructural mayor, ya que el 47% de elementos estructurales se encuentran sobre esforzados o han sufrido algún daño no ocurriendo el colapso, sin embargo, del contraste realizado se puede deducir que se encuentra muy cerca al colapso.

**Figura 100**

*Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 005-2021.*



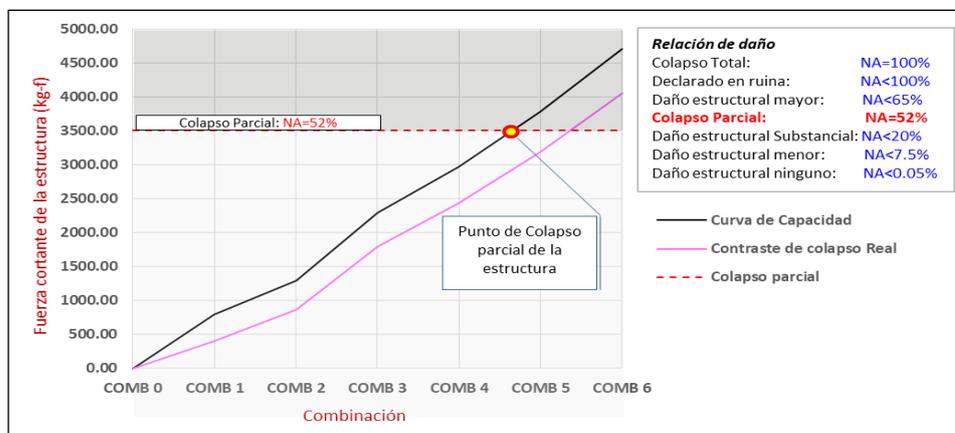
*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.3.6 I. E. P. Glorioso San Carlos.

Según se muestra en la figura 101, el punto del colapso parcial de la estructura ocurre antes de la quinta combinación de cargas, esto se da cuando se aplican las cargas de viento (6.65 m/s) y nieve (16.00 cm) simultáneamente.

**Figura 101**

*Curva de capacidad de la estructura - Cód. inv. 006-2021.*



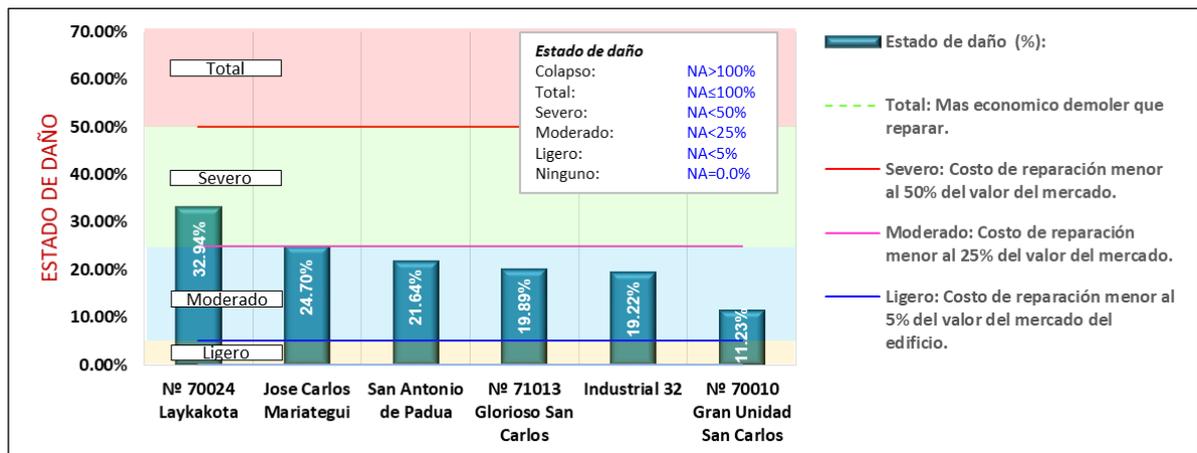
*Nota.* Elaborado y extraído de la memoria de cálculo N°001 (véase anexo 7).

#### 4.4 COSTO DE REPARACIÓN VS COSTO DE RECONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.

De acuerdo a la EERI, es posible relacionar el estado de daño (%) de la estructura con el costo de reparación y el costo de reconstrucción.

**Figura 102**

*Costo de reparación vs costo de reconstrucción.*



*Nota.* Costo de reparación y reconstrucción en función al estado de daño.

De los resultados mostrados en la figura 102, se pueden hacer las siguientes apreciaciones para cada caso de estudio.

- **I. E. P. Laykakota.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa primaria Laykakota, presenta una relación de daño igual a 32.94%, siendo este el máximo valor en comparación con las otras instituciones, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño severo, por tanto, es recomendable la reparación de la estructura, el costo de reparación es menor al 50% del precio del mercado.

- **I. E. S. José Carlos Mariátegui.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa secundaria José Carlos Mariátegui, presenta una relación de daño igual a 24.70%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño moderado, por tanto,



es recomendable la reparación de la estructura, el costo de reparación es menor al 25% del precio del mercado.

- **I. E. S. San Antonio de Padua.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa secundaria San Antonio de Padua, presenta una relación de daño igual a 21.64%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño moderado, por tanto, es recomendable la reparación de la estructura, el costo de reparación es menor al 25% del precio del mercado.

- **I. E. P. Glorioso San Carlos.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa Glorioso San Carlos, presenta una relación de daño igual a 19.89%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño moderado, por tanto, es recomendable la reparación de la estructura, el costo de reparación es menor al 25% del precio del mercado.

- **I. E. S. Industrial 32.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa secundaria Industrial 32, presenta una relación de daño igual a 19.22%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño moderado, por tanto, es recomendable la reparación de la estructura, el costo de reparación es menor al 25% del precio del mercado.

- **I. E. P. Gran Unidad San Carlos.**

La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la institución educativa secundaria Industrial 32, presenta una relación de daño igual a 11.23%, lo que indica que la estructura con cobertura de malla raschel tiene un daño moderado, por tanto, es

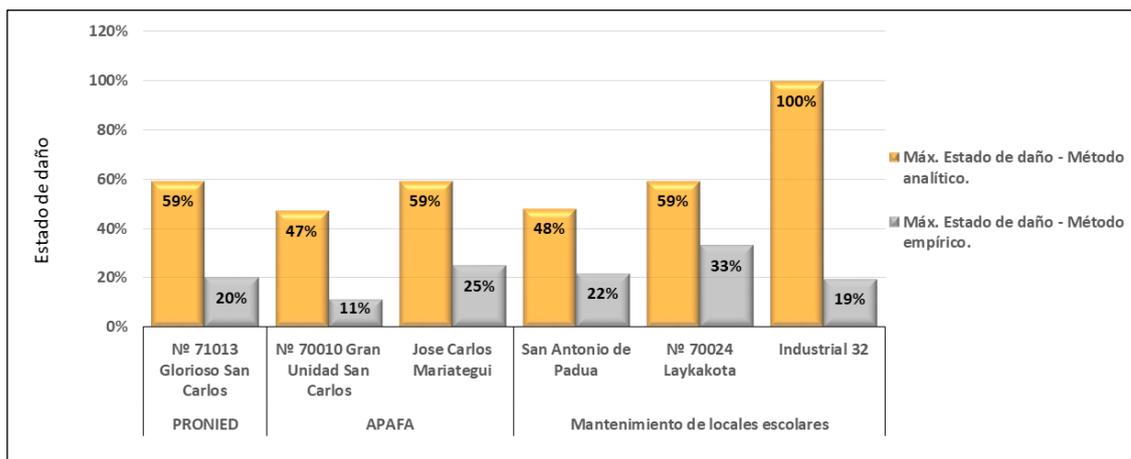
recomendable la reparación de la estructura, el costo de reparación es menor al 25% del precio del mercado.

#### 4.5 RELACIÓN ENTRE LA FUENTE DE FINANCIAMIENTO Y LA VULNERABILIDAD.

Durante las visitas a las instituciones se ha evidenciado de que la fuente de financiamiento es un factor importante, por lo que podría tener algún tipo de relación con la vulnerabilidad de las estructuras, por tanto, se mencionan tres formas de financiamiento con las que se ejecutan.

**Figura 103**

*Relación de la vulnerabilidad con la fuente de financiamiento*



*Nota.* Resumen general de la vulnerabilidad analítica y empírica agrupados en función a la fuente de financiamiento.

##### 4.5.1 Mantenimiento de Locales Escolares.

El financiamiento por mantenimiento de locales escolares, es un recurso limitado que se designa a cada institución, al parecer este tipo de financiamiento es el más perjudicial ya que las estructuras que han sido ejecutados mediante esta fuente de financiamiento tienen un estado de daño mayor

#### 4.5.2 Asociación de padres de familia.

Ante la necesidad de contar con este tipo de cobertura de malla raschel, los padres de familia en coordinación con el director del plantel educativo, realizan cuotas, para poder financiar la ejecución de esta cobertura. En consecuencia, esto genera que las estructuras no cuenten con ningún tipo de diseño y se realizan de manera inadecuada.

#### 4.5.3 Ministerio de Educación del Perú.

El ministerio de educación, mediante el programa nacional de infraestructura educativa (PRONIED), financia la ejecución de este tipo de estructuras. Esto implica que, estas se encuentran dentro de un expediente técnico.

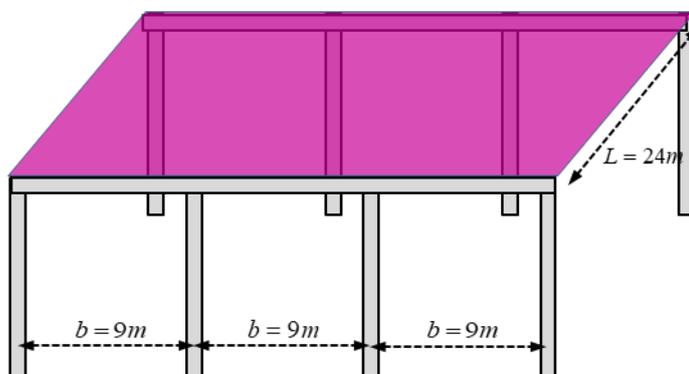
#### 4.6 PROPUESTA DE DISEÑO.

Se plantea una propuesta de diseño de estructura metálica con cobertura de malla raschel capaz de cumplir las solicitaciones estructurales ante eventos climáticos no convencionales, desarrollado para el caso más crítico I.E.P. Laykakota, el detalle de estructuración, pre dimensionamiento, metrado de cargas, análisis y diseño estructural, así como los planos de detalle se encuentran en el anexo 9.

##### - Estructuración.

#### Figura 104

*Propuesta de configuración.*



*Nota.* La configuración es adoptada según la estructura existente.

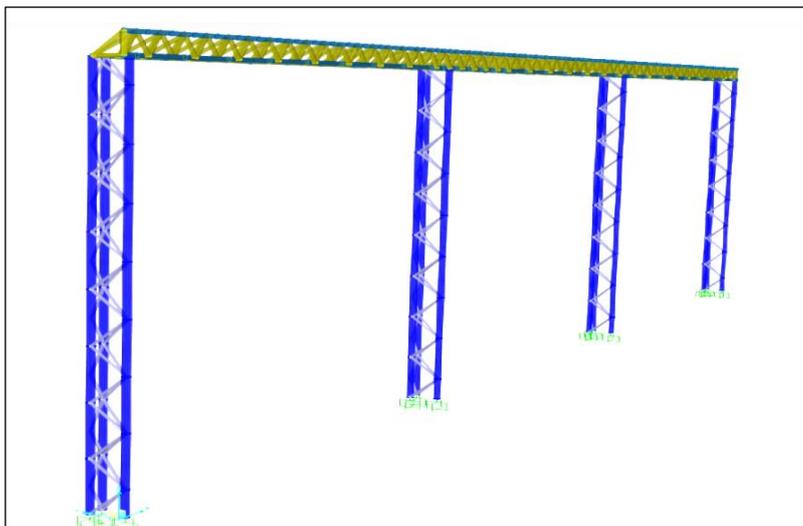
La geometría del terreno corresponde a un área rectangular de 24 m de largo y 27 m de ancho, así mismo se considera la altura de la estructura 8 m. Se proponen dos pórticos metálicos conformados por cuatro columnas y una viga principal.

- **Pre dimensionamiento.**

Para longitudes mayores a 6 m recomiendan usar una estructura espacial, para el presente caso las vigas tienen una luz de 9 m y la altura de la estructura es de 8 m, por otro lado, en la presente investigación se ha evidenciado que las estructuras espaciales son menos vulnerables que las estructuras planas, por tanto, se plantean vigas y columnas metálicas de celosías espaciales, el detalle de pre dimensionamiento se muestra en el anexo 9.

**Figura 105**

*dimensionamiento de vigas y columnas metálicas.*



*Nota.* Columnas y vigas de celosías espaciales.

- **Metrado de cargas.**

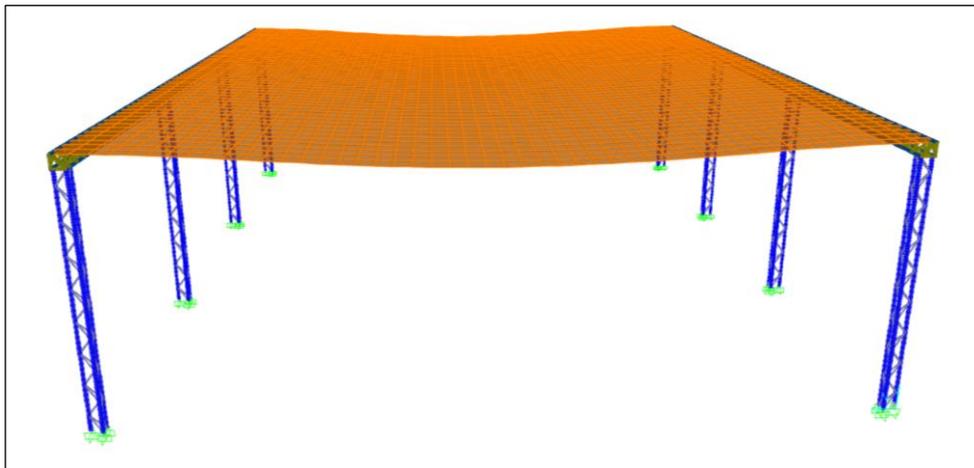
Las cargas actuantes consideradas son el peso de la malla, peso propio de los elementos estructurales, carga viva por mantenimiento, montaje y/o reparación, carga de viento y nieve en condiciones más desfavorables (véase anexo 9).

- **Análisis estructural y Diseño estructural.**

En el análisis y diseño estructural realizada en la viga y columna metálica se verifica la capacidad resistente a compresión, ya que según el contraste de colapso real ocurre en la parte inferior de la columna cargada a compresión, el análisis y diseño estructural se detalla en el anexo 9.

### Figura 106

*Modelo de propuesta en sap 2000.*

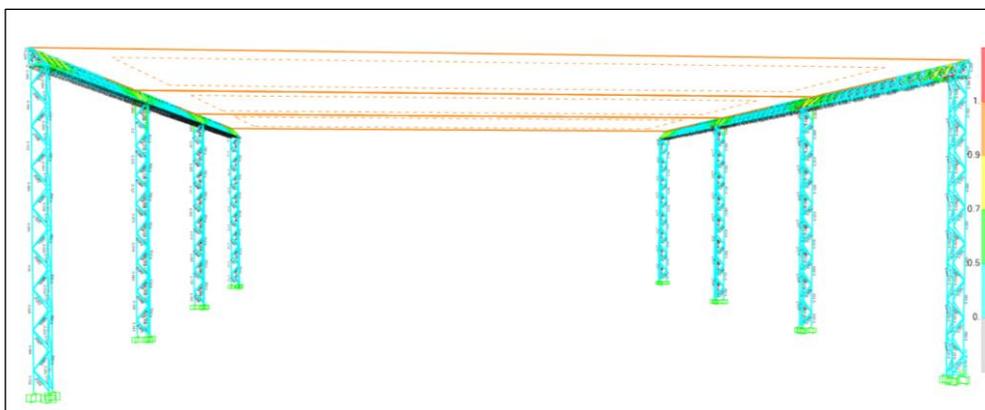


*Nota.* Modelo de propuesta de cobertura de malla raschel.

Finalmente se comprueba el modelo basado en ratios de demanda sobre capacidad de la estructura, en el programa sap 2000 v.21.

### Figura 107

*Verificación de ratios (demanda/capacidad)*



*Nota.* Estructura cargada con nieve (9 cm) y viento (5 m/s) simultáneamente.

- **Discusión.**

El diseño propuesto acoge una estructura metálica con cobertura de malla raschel con capacidad de satisfacer cargas de nieve y viento en condiciones desfavorables, así en la verificación de la capacidad de los elementos, se demuestra que cuando se aplica la combinación de cargas de nieve (9 cm) y viento (5 m/s) simultáneamente ningún elemento se encuentra sobre esforzado, así cuando se aplica la combinación de cargas de nieve (23 cm) y viento (8 m/s), el 19% de elementos se encuentran sobre esforzados, no llegando al colapso en ningún caso.

#### 4.7 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

- Del objetivo: *Analizar la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel desarrollados mediante el método empírico, usando tablas de relación de daño en las instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno – 2021.* La vulnerabilidad determinada mediante el método empírico obtenido durante visitas programadas a cada institución educativa, recolectando datos en función a la relación de daño estructural y no estructural los que fueron obtenidos mediante una inspección visual en la ficha de trabajo N°001 (véase anexo 3), ficha de trabajo N°002 (véase anexo 4) y ficha de trabajo N°003 (véase anexo 5), para finalmente realizar un ponderado de cada inspección procesando los datos en la ficha de trabajo N°004 (véase anexo 6), en este sentido se logró determinar la vulnerabilidad de estructuras metálicas mediante el método empírico, los mismos que se resumen en la figura 83, donde se evidencia el estado actual en el que se encuentran las estructuras, detectando puntos sensibles de falla de la estructura para cada caso.

- La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la I.E.P. Laykakota, presenta una relación de daño igual a 32.94%, siendo este el máximo valor en comparación con las otras instituciones, lo que indica que la estructura presenta



- un daño estructural mayor en columnas metálicas, puntos de anclajes y pedestal de concreto armado.
- La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la I.E.S. José Carlos Mariátegui, presenta una relación de daño igual a 24.70%, lo que indica que la estructura presenta un daño estructural mayor en uniones con soldadura y puntos de anclaje.
  - La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la I.E.S. San Antonio de Padua, presenta una relación de daño igual a 21.64%, lo que indica que la estructura presenta un daño estructural mayor en los puntos de anclaje.
  - La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la I.E.P. Glorioso San Carlos, presenta una relación de daño igual a 19.89%, lo que indica que la estructura presenta un daño estructural substancial.
  - La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la I.E.S. Industrial 32, presenta una relación de daño igual a 19.22%, lo que indica que la estructura presenta un daño estructural substancial.
  - La estructura metálica con cobertura de malla raschel de la I.E.P. Gran unidad San Carlos, presenta una relación de daño igual a 11.23%, lo que indica que la estructura presenta un daño estructural substancial.
- Del objetivo: *Analizar la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel, desarrollados mediante el método analítico, comparando ratios de demanda sobre capacidad de la estructura ante incremento de cargas de nieve y viento, en instituciones educativas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno – 2021.* Se logró determinar la vulnerabilidad de estructuras mediante el método analítico, donde se idealiza el punto de colapso parcial, bajo un contraste de colapso real, ocurriendo esto



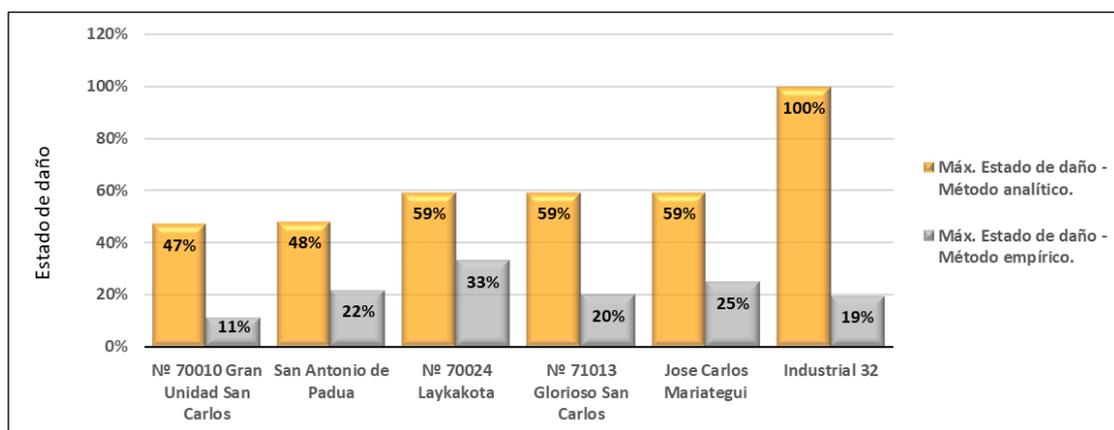
cuando el 52% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ) (véase anexo 8), sometidos a cargas simultáneas de viento y nieve evaluadas para cada caso de estudio.

- En la I.E.S. industrial 32, el punto de colapso parcial de la estructura ocurre cuando se aplican las cargas de viento (2.57 m/s) y nieve (2.6 cm) simultáneamente.
- En la I.E.S. José Carlos Mariátegui, el punto del colapso parcial de la estructura ocurre cuando se aplican las cargas de viento (6.68 m/s) y nieve (16.1 cm) simultáneamente.
- En la I.E.S. San Antonio de Padua, cuando se aplican la combinación de cargas máximas de viento (8.00 m/s) y nieve (23.00 cm) simultáneamente, no ocurre el colapso, sin embargo, del contraste de colapso real realizado se puede deducir que se encuentra muy cerca al punto de colapso.
- En la I.E.P. Laykakota, el punto del colapso parcial de la estructura ocurre cuando se aplican las cargas de viento (6.82 m/s) y nieve (16.7 cm) simultáneamente.
- En la I.E.P. Gran unidad San Carlos, cuando se aplican la combinación de cargas máximas de viento (8.00 m/s) y nieve (23.00 cm) simultáneamente, no ocurre el colapso, sin embargo, del contraste de colapso real realizado se puede deducir que se encuentra muy cerca al punto de colapso.
- En la I.E.P. Glorioso San Carlos, el punto del colapso parcial de la estructura ocurre cuando se aplican las cargas de viento (6.65 m/s) y nieve (16.00 cm) simultáneamente.
- Del objetivo: *Comparar los resultados de vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel desarrollados por el método empírico y el método analítico en instituciones educativas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno – 2021.*

- La diferencia de los resultados de vulnerabilidad entre el método empírico y analítico es básicamente que mediante el método empírico se determina el estado actual en el que se encuentra la estructura donde no se consideran las cargas de viento y nieve, por otro lado, la vulnerabilidad analítica tiene la capacidad de alertar puntos de colapso, ante la aplicación de cargas de viento y nieve.

**Figura 108**

*Comparación de resultados.*



*Nota.* Estado de daño máximo de cada institución.

- Del objetivo: *Plantear una propuesta de diseño estructural para estructuras metálicas con cobertura de malla raschel capaz de cumplir con las solicitaciones estructurales ante eventos climáticos no convencionales para instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno.* Del análisis realizado, se logró plantear una propuesta de diseño estructural capaz satisfacer las necesidades ante eventos climáticos no convencionales conformado por cargas de nieve y viento simultáneamente con detalle de planos los mismo que se encuentran en el anexo 9.
- Del objetivo: *Determinar la relación entre el costo de reparación versus el costo de reconstrucción de la estructura metálica con cobertura de malla raschel en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria en la ciudad de Puno – 2021.* Según el análisis realizado bajo el método empírico, es más económico reparar que



demoler para las estructuras que tienen un estado de daño menor al 50%, así se determina que, en todos los casos, es mejor la reparación y/o reforzamiento de la estructura antes que la demolición y reconstrucción (véase figura 102)

- Del objetivo: *Determinar la relación entre la fuente de financiamiento y la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en instituciones educativas públicas parte de del proyecto:* En relación a la fuente de financiamiento, se ha detectado que las estructuras financiadas por medio de Mantenimiento de locales escolares, son las más vulnerables según la evaluación del método empírico y analítico, tal como se muestran en la figura 103.
- En relación al *objetivo general de la investigación*, se logró determinar la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel sometidas a cargas de viento y nieve que rara vez suceden (anomalías), mediante los métodos empírico y analítico, detectando puntos sensibles de falla y posibles colapsos en instituciones educativas públicas de nivel primaria y secundaria de la ciudad de Puno.



## V. CONCLUSIONES

- La vulnerabilidad de estructuras metálicas determinada mediante el método empírico expone el estado actual en el que se encuentran las estructuras, detectando puntos sensibles de falla de la estructura para cada caso.
- La vulnerabilidad de estructuras metálicas determinada mediante el método analítico tiene la capacidad de localizar el punto de colapso parcial de la estructura, ocurriendo esto cuando el 52% de elementos estructurales están sobre esforzados ( $R > 1$ ).
- La vulnerabilidad empírica determina el estado actual en el que se encuentra la estructura. Por otro lado, la vulnerabilidad analítica tiene la capacidad de alertar puntos de colapso, ante la aplicación de cargas de viento y nieve.
- Teniendo en cuenta los factores identificados por el análisis de vulnerabilidad de los casos analizados, se logra proponer un diseño estructural capaz de soportar cargas simultáneas de nieve y viento en condiciones climáticas extremas.
- En todos los casos, es preferible reparar y/o reforzar la estructura antes que destruirla o reconstruirla, según el análisis realizado con el método empírico. Para estructuras con menos del 50% de daños, la reparación es más rentable que la demolición.
- Según la evaluación del método empírico y analítico, se ha constatado que las estructuras financiadas mediante el mantenimiento de locales escolares son las más vulnerables en relación con la fuente de financiamiento.
- En relación al objetivo general de la investigación, se logró determinar la vulnerabilidad de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel sometidas a cargas de viento y nieve que rara vez suceden (anomalías), mediante los métodos empírico y analítico, detectando puntos sensibles de falla y posibles colapsos.



## VI. RECOMENDACIONES BIBLIOGRÁFICAS

- Establecidas las conclusiones de esta investigación, se recomienda, la intervención y reparación de aquellos elementos que han sufrido algún tipo de daño, detectados en los elementos estructurales principalmente en la institución educativa primaria Laykakota, I. E. S. José Carlos Mariátegui e I. E. S. San Antonio de Padua ya que estas instituciones presentan un daño estructural mayor.
- Se recomienda, el reforzamiento o mejoramiento estructural de los puntos sensibles de falla detectados en los elementos estructurales.
- Para la evaluación de vulnerabilidad en estructuras metálicas de futuras investigaciones, se recomienda la realización de dos métodos como mínimo.
- Para diseños a futuro de estructuras metálicas con cobertura de malla raschel en la ciudad de Puno, se recomienda, tomar en cuenta las consideraciones vertidas en la presente investigación esto es puntos sensibles de falla, posibles colapsos y eventos climáticos no convencionales.
- En todos los casos de estudio, se recomienda la reparación y/o reforzamiento de las estructuras antes que la demolición y reconstrucción.
- A las autoridades de las instituciones educativas públicas de nivel primario y secundario se recomienda gestionar fuentes de financiamiento adecuadas, puesto que se ha podido evidenciar que las estructuras financiadas por medio del mantenimiento de locales escolares, son las más vulnerables.
- El uso de coberturas de malla raschel es recomendable para la protección de la radiación solar, así mismo se verifica que la carga generada por el viento no da origen a un riesgo de colapso, sin embargo, no es recomendable su uso ante cargas de nieve.



## VII. REFERENCIAS

- Aguilar, R., Marcelo, M., & Caiza, P. (2015). Desempeño Sísmico de Nuevo Centro de Investigaciones y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Sin Aisladores. *Ciencia*, 329.
- American Institute Of Steel Construction. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*.
- Barrientosl, & Razeto. (2014). *Analisis de Fallas en Equipos Industriales*. Departamento de Ingenieria Mecanica.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la Investigacion* (3 ed.). Colombia: Worldcolor.
- Brotons, P. U. (2006). *CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS METALICAS* (4 ed.). San Vicente: Club Universitario.
- Calvi, G., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J., Restrepo Velez, L., & Crowley, H. (2006). *Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies Over the Past 30 Years*,. ISET Journal of Earthquake Engineering,.
- Castro Herrera, M. (2019). *INSPECCION SISIMICA VISUAL RAPIDA DE LOS EDIFICIOS DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA POR EL METODO FEMA154*. UNIVERSIDAD DE PIURA, Piura, Perú.
- Castro Taks, A. (2016). *ELABORACION DE FICHAS*. U.D. de Investigación I.
- Cerda Talon, M. (2019). *MEMBRANAS PARA ESTRUCTURAS SUPERFICIALES TENSADAS [Trabajo final de grado, Universidad Politecnica de Valencia]*.
- Comite ACI 224. (1993). *Causas, Evaluacion y reparacion de Fisuras en Estructuras de Hormigón*.
- Comite ACI 355.1R-91. (1991). Informe sobre el Estado del Arte de los Anclajes en Hormigón.



- Comite Especializado E.090. (2009). *E.090 ESTRUCTURAS METALICAS*. EL PERUANO.
- Consortio Microzonificacion. (2006, 2007). *Microzonificación y Evaluación del Riesgo Sísmico del Valle de Aburrá*,. Medellin.
- FEMA 273. (1997). *NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*. California, Washington.
- Galletero Montero, P., & Montero Martinez, J. (2002). Pórticos de nudos rígidos. *VI International Congress of Project Engineering*.
- Garcia Sanz, M. P., & Garcia Meseguer, M. (2012). *Guia practica para la realizacion de trabajos fin de Grado y trabajos fin de Master*. España: Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia.
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climatico. (2014). *CAMBIO CLIMATICO 2014*. Ginebra.
- Hernandez Benitez, A. L., Linares Garcia, D. A., & Soriano Sorto, E. A. (2012). *GUÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA VIGAS DE ALMA ABIERTA Y ARMADURAS METÁLICAS EN ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE TECHOS Y ENTREPISOS*. Universidda de El Salvador, El Salvador.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodologia de la Investigacion* (6 ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). *Manual Básico para la Estimación del Riesgo*. Lima, Lima.
- Lleonart, J. M. (junio de 1995). PORTICOS METÁLICOS: CRITERIOS DE CALCULO. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 47(437).
- lleonart, j. m. (1995). porticos metalicos: criterios de calculo. *consejo superior de investigaciones cientificas*, 1.



- Lobo Quintero, W. (2001). Diseño sismoresistente basado en el desempeño de las estructuras. *tekhne Revista de Ingenieria*, 101.
- Machado Noy, V. M. (2018). *Análisis comparativo de pórticos de acero de medianas y grandes luces con diferentes condiciones de apoyo*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara.
- Manrique, A. (s.f.). *DISEÑO SIMPLIFICADO EN ACERO ESTRUCTUTRAL*.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2012). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO* (5 ed.). Alfaomega Grupo Editor.
- Ministerio de Vivenda Construcción y Saneamiento. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. El Peruano.
- Pena, A. A. (2016). *NAVES INDUSTRIALES CON ACERO*. Montevideo: APTA.
- Picazo Iranzo, A. (2007). MEDIOS DE UNIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS. *Jornada Nacional de Investigacion en Edificacion*.
- PRONIED. (27 de febrero de 2016). *PRONIED instalará mallas raschel para proteger a escolares contra rayos ultravioleta*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/pronied/noticias/209132-pronied-instalara-mallas-raschel-para-proteger-a-escolares-contra-rayos-ultravioleta>
- radio onda azul. (13 de octubre de 2017). *Puno: estructuras metalicas de malla raschel colapsaron por granizadas en primaria de Glorioso San Carlos*. Obtenido de [Archivo.radioondaazul.com/puno-estructuras-metalicas-de-la-malla-raschel-colapsaron-por-granizadas-en-primaria-de-glorioso-san-carlos-71484.html](http://Archivo.radioondaazul.com/puno-estructuras-metalicas-de-la-malla-raschel-colapsaron-por-granizadas-en-primaria-de-glorioso-san-carlos-71484.html): [Archivo.radioondaazul.com/puno-estructuras-metalicas-de-la-malla-raschel-colapsaron-por-granizadas-en-primaria-de-glorioso-san-carlos-71484.html](http://Archivo.radioondaazul.com/puno-estructuras-metalicas-de-la-malla-raschel-colapsaron-por-granizadas-en-primaria-de-glorioso-san-carlos-71484.html)



- Rascio, V., Caprari, J., Giudice, C., Amo, B., Sarli, A., & Perez, R. (1989). *PROPIEDADES Y CONTROL DE CALIDAD DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS*. (O. -O. Americanos, Ed.) Buenos Aires, Argentina.
- Rodriguez, M. P. (2009). *DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y DE LA CIMENTACIÓN DE UNA NAVE INDUSTRIAL*. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, Madrid.
- Rubilar Bertuzzi, K. F. (2017). *INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE SOMBRA DE MALLA RASCHEL EN BIOMANTOS DE PAJA DE TRIGO PARA RECUBRIMIENTOS DE TALUDES*. UNIVERSIDAD DEL BIO BIO, Concepcion, Chile.
- Sanchez. (2015). *MANTENIMIENTO EN ESPESADORES DE LA EMPRESA IMCO SERVICIOS SAC*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Puno.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *ACTUALIZACION DEL ESTUDIO DE FRECUENCIA DE NEVADAS EN EL PERU*. Lima, Lima.
- Sotomayor, C. (Marzo de 2020). ENTENDIENDO A LAS FISURAS Y GRIETAS EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.
- Suares. (2008). *INTRODUCCION A LA MECANICA DE LA FRACTURAY ANALISIS DE FALLAS* (1 ed.). Bogota, Colombia: LOGOFORMAS.
- Supo, H. (25 de setiembre de 2018). *Cobertor cae en patio de colegio que celebraba Día del Estudiante en Puno*. Obtenido de diario correo: <https://diariocorreo.pe/edicion/puno/cobertor-cae-en-patio-de-colegio-que-celebraba-dia-del-estudiante-en-puno-843802/>
- TOIRAC CORRAL, J. (Marzo de 2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigon; origen y prevencion. *REDALYC*, 29.



- Uribe Escamilla, J. (2000). *ANALISIS DE ESTRUCTURAS* (2 ed.). Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Valencia, G. C. (2004). *ESTRUCTURAS DE ACERO. Diseño con factores de carga y de resistencia* (2 ed.). Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Vielma, J., & Cando, M. (2015). *EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE ESTRUCTURAS DE ACERO RESIDENCIALES DEL ECUADOR*. Barcelona, España: Monografias de Ingenieria Sismica.
- Whitman, R., Reed, J., & Hong, S. (1973). *Earthquake damage probability matrices, Proceedings of the fifth World Conference on Earthquake Engineering*,. Rome, Italy.
- Zapata, L. B. (1997). *DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO*. Lima, Peru.
- Zora Mejia, F. (2013). *IDENTIFICACION DEL INDICE DE VULNERABILIDAD SISMICA DE ESCUELAS DE MEDELLIN*. Departamento de Ingenieria Civil, Medellin.



## ANEXOS

**ANEXO 1:** SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN Y FACILIDADES PARA DESARROLLO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN A LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS PARTE DEL PROYECTO.

**ANEXO 2:** CUESTIONARIO N°001: INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA ESTRUCTURA METÁLICA CON COBERTURA DE MALLA RASHEL

**ANEXO 3:** FICHA N°001: INSPECCIÓN VISUAL DE LA ESTRUCTURA METÁLICA CON COBERTURA DE MALLA RASHEL Y COMPONENTES

**ANEXO 4:** FICHA N°002: INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA.

**ANEXO 5:** FICHA N°003: TOLERANCIAS DIMENSIONALES.

**ANEXO 6:** FICHA N°004: DETERMINACIÓN DE RELACIÓN DE DAÑO.

**ANEXO 7:** MEMORIA DE CÁLCULO N°001: EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL.

**ANEXO 8:** MEMORIA DE CÁLCULO N°002: COLAPSO REAL DE ESTRUCTURA.

**ANEXO 9:** MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL N°003: ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL INCLUYE PLANOS.

**ANEXO 10:** REGISTROS DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS – SENAMHI.

**ANEXO 11:** PLANOS POST CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS CON COBERTURA DE MALLA RASCHEL EXISTENTES.



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo YERSON OLIVER PONCE CHIRUG  
identificado con DNI 72326667 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y FALGAS ESTRUCTURALES POR SUELTOS CLIMÁTICOS NO CONVENCIONALES EN ESTRUCTURAS RETICULADAS CON COBERTURA

DE MÓDULO RESCATE EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICAS DE NIVEL PRIMARIO Y SECUNDARIA, PUNO - 2021

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 01 de JUNIO del 2023

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo YERSON OCUER PONCE CHIQUE  
, identificado con DNI 72326667 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y FALLAS ESTRUCTURALES POR EVENTOS CLIMÁTICOS NO CONVENCIONALES EN ESTRUCTURAS METÁLICAS CON COBERTURA DE PÁNCIA RASCHEC (N. INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICAS) DE NIVEL PRIMARIA Y SECUNDARIA, PUNO - 2021"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 01 de JUNIO del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella