



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**PROPUESTA ALTERNATIVA DE PUENTE PARA REDUCIR ÍNDICE DE
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL EN EL PUENTE “LA VILLA”
DEL DISTRITO MOQUEGUA, PROVINCIA MARISCAL NIETO,
DEPARTAMENTO MOQUEGUA, AÑO 2017**

PRESENTADO POR

BACHILLER RUTH MINELLI VARGAS SOSA

ASESOR

MGR. FREDY JAIME CALSÍN ADCO

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

**MOQUEGUA – PERÚ
2020**

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xx
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xxii
NOMENCLATURA	xxiv
RESUMEN.....	xxviii
ABSTRACT.....	xxix
INTRODUCCIÓN	xxx

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema	1
1.1.1. Faja marginal.....	1
1.1.2. Tráfico vehicular 2017.	2
1.1.3. Procesos generadores de peligros.....	2
1.2. Definición del problema.....	8
1.2.4. Problema general.....	8
1.2.5. Problemas específicos.	8
1.3. Objetivos de la investigación	8

1.3.4. Objetivo general.....	8
1.3.5. Objetivos específicos.....	8
1.4. Justificación.....	9
1.5. Alcances y limitaciones.....	10
1.6. Variables.....	11
1.6.1. Definición de variables.....	11
1.6.2. Operacionalización de variables.....	12
1.7. Hipótesis de la investigación.....	16
1.7.1. Hipótesis general.....	16
1.7.2. Hipótesis específicas.....	16

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	17
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.1. Índice de vulnerabilidad estructural en puente.....	18
2.2.2. Propuesta alternativa de puente.....	26
2.3. Definición de términos.....	44

CAPÍTULO III
MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación.....	47
3.2. Diseño de investigación.....	47
3.3. Población y muestra.....	47
3.3.1. Población.....	47
3.3.2. Muestra.....	48

3.4.	Descripción de recolección de los datos.....	48
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos.	49
3.4.2.	Instrumentos para la recolección de datos.....	49

CAPÍTULO IV

PROPUESTA ALTERNATIVA

4.1.	Generalidades.	50
4.1.1.	Ubicación y descripción del área de estudio.	51
4.1.2.	Accesibilidad.	51
4.1.3.	Clima.	52
4.2.	Estudios básicos de ingeniería.....	52
4.2.1.	Estudio topográfico.	52
4.2.2.	Estudio de Hidrología e hidráulica.	53
4.2.3.	Estudio de geología.	64
4.2.4.	Estudio de geotecnia.....	72
4.2.5.	Estudio geofísico.	78
4.2.6.	Estudio de tráfico.	86
4.3.	Inspección del puente existente.....	104
4.3.1.	Características de defectos y problemas en elementos del puente.	106
4.3.2.	Registros de condición actual del puente.	107
4.3.3.	Registro fotográfico de la condición de componentes del puente.....	107
4.3.4.	Evaluación estructural del puente existente.	108
4.4.	Análisis de la estructura.	113
4.4.1.	Análisis de la armadura por el método de los nodos.....	133
4.4.2.	Análisis y diseño por el método plástico.....	115

4.4.3.	Análisis y diseño de elementos a tensión.	117
4.4.4.	Análisis y diseño de elementos a compresión.	117
4.5.	Capacidad de respuesta de la estructura	117
4.6.	Evaluación del índice de vulnerabilidad estructural en puentes, IVEP....	117
4.7.	Diseño de propuesta alternativa	118

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1.	Presentación de resultados	119
5.1.1.	Procesamiento de la información.	119
5.1.2.	Análisis e interpretación de los datos.	119
5.1.3.	Validación del instrumento en cuestionario.	128
5.2.	Contrastación de hipótesis.....	129
5.2.1.	Hipótesis general.	130
5.2.2.	Hipótesis específicas.	131
5.3.	Discusión de resultados	138

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	Conclusiones	140
6.2.	Recomendaciones	142
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
	APÉNDICES	150
	MATRIZ DE CONSISTENCIA	407
	INSTRUMENTOS DERECCOLECCION DE DATOS	408

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido de tablas	Pág.
Tabla 1. Ancho promedio del cauce de principales ríos en Moquegua y ancho de la faja marginal.....	1
Tabla 2. Operacionalización de variable independiente, propuesta alternativa de puente (x).....	13
Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente, índice de vulnerabilidad estructural en el puente “La Villa” (y)	14
Tabla 4. Representación de conjuntos difusos de grados de vulnerabilidad.....	22
Tabla 5. Respuestas favorables entre número total de encuestados del indicador 1.1.3 Deformaciones: criterio por deflexión.	24
Tabla 6. Valores normalizados a “1” del indicador 1.1.3 Deformaciones: criterio por deflexión.....	24
Tabla 7. Emergencias por departamento: acumulado 2006-2008.....	28
Tabla 8. Principales tipos de peligros en la zona de estudio de acuerdo a su origen.....	29
Tabla 9. Sismicidad histórica resaltante en la ciudad de Moquegua.....	30
Tabla 10. Efectos del fenómeno "El Niño" en Moquegua.	31
Tabla 11. Diagnóstico y efectos de ingreso de avenida 15 de febrero del 2015.	31
Tabla 12. Rango de luces según el tipo y material de estructura.	35
Tabla 13. Pesos específicos de materiales.....	37

Tabla 14. Características de camión de diseño HL-93.....	38
Tabla 15. Incremento de la carga viva por efectos dinámicos.	38
Tabla 16. Presiones base del viento PB correspondiente a VB=160km/h.....	39
Tabla 17. Combinaciones de carga y factores de carga.	40
Tabla 18. Factores de carga para cargas permanentes, γ_p	41
Tabla 19. Factores de carga para cargas permanentes, debido a deformaciones superimpuestas γ_P	41
Tabla 20. Técnicas e Instrumentos para la Investigación.	49
Tabla 21. Accesibilidad hacia la zona de estudio.	51
Tabla 22. Caudales máximos diarios en el río Tumilaca.	55
Tabla 23. Métodos de distribución de probabilidades	56
Tabla 24. Caudales máximos diarios (Qd) por período de retorno río Tumilaca.....	56
Tabla 25. Caudales máximos instantáneos según períodos de retorno	57
Tabla 26. Cálculo de parámetros hidráulicos.....	57
Tabla 27. Cálculo de parámetros hidráulicos.....	58
Tabla 28. Primera iteración caudal supuesto $Q = 95 \text{ m}^3/\text{seg}$	58
Tabla 29. Segunda iteración caudal supuesto $Q = 95.034 \text{ m}^3/\text{seg}$	58
Tabla 30. Coeficiente B para socavación.....	60
Tabla 31. Tabla de valores $1/(x+1)$	60

Tabla 32. Unidades geomorfológicas regionales en el área de estudio.....	65
Tabla 33. Unidades litoestratigráficas en el área de estudio.	65
Tabla 34. Unidades geomorfológicas locales.....	66
Tabla 35. Columna estratigráfica de la defensa ribereña.	67
Tabla 36. Referencia de ubicación de calicatas respecto del puente “La Villa”.....	73
Tabla 37. Ubicación geográfica en coordenadas UTM de calicatas.	73
Tabla 38. Ensayos normalizados realizados.....	74
Tabla 39. Clasificación de suelos SUCS y AASHTO.....	74
Tabla 40. Características físicas y mecánicas de diseño calicatas C - 9 y C - 11.....	75
Tabla 41. Características físicas y mecánicas de diseño calicatas C – 14 y C -20.....	75
Tabla 42. Contenido de sales solubles.	77
Tabla 43. Valores promedio de Vp según ASTM- D5777.	79
Tabla 44. Características de estratos en diferentes rangos de resistividades.	80
Tabla 45. Cuadro de las coordenadas y longitudes de las líneas sísmicas.....	80
Tabla 46. Cuadro de las coordenadas y longitudes de las líneas tomográficas.....	81
Tabla 47. Cuadro de las coordenadas del SEV ubicado en el puente “La Villa”.....	81

Tabla 48. Características de los diferentes estratos geosísmicos.	83
Tabla 49. Velocidades y espesores de los estratos geosísmicas del tramo 05, línea sísmica N°27.....	84
Tabla 50. Velocidades y espesores de los estratos geosísmicas del tramo 05, línea sísmica N°28.....	84
Tabla 51. Velocidades y espesores de los estratos geosísmicas del tramo 05, línea sísmica N°29.....	85
Tabla 52. Descripción secciones tomográficas tramo -05.	85
Tabla 53. Ubicación estaciones para estudio de tráfico.	86
Tabla 54. Proyección del tráfico respecto del proyecto.	89
Tabla 55. Conceptualización de premisas de tráfico normal, tráfico generado y tráfico desviado.	90
Tabla 56. Estaciones de conteo vehicular.	91
Tabla 57. Moquegua, tasa de crecimiento promedio anual de población por provincia en %.....	92
Tabla 58. Ubicación de puntos de aforo.....	93
Tabla 59. Clasificación vehicular diaria en ambos sentidos Moq - Ang y Ang-Moq, estación E-01.	94
Tabla 60. Factor de corrección del peaje Pampa Cuellar R-36A código P047, estación E-01.	95
Tabla 61. Resumen IMDa: volumen y clasificación vehicular, estación E-01...	95

Tabla 62. Tráfico normal en el horizonte del proyecto IMDa por tipo de vehículo, estación E-01.	96
Tabla 63. IMDa por tipo de vehículo, estación E-01.	97
Tabla 64. Tráfico generado en horizonte del proyecto, IMDa por tipo de vehículo, estación E-01.	98
Tabla 65. Tráfico total en el horizonte del proyecto IMDa por tipo de vehículo, estación E-01.	98
Tabla 66. Clasificación vehicular diaria en sentidos sube-baja y baja-sube, estación E-02.	99
Tabla 67. Factor de corrección , peaje Pampa Cuellar R - 36A, estación E - 02.	100
Tabla 68. IMDa: Volumen y clasificación vehicular de la estación 02.	100
Tabla 69. Tráfico normal en el horizonte del proyecto, estación E-02.	101
Tabla 70. IMDa por tipo de vehículo, estación E-02.	102
Tabla 71. Tráfico generado, horizonte del proyecto: IMDa por tipo de vehículo, estación E-02.	103
Tabla 72. Tráfico total, horizonte del proyecto IMDa por tipo de vehículo, estación E-02.	103
Tabla 73. Descripción de calificación de condición de elementos del puente..	107
Tabla 74. Condiciones geométricas del puente.	112

Tabla 75. Solicitud del material considerado en el puente existente "La Villa".	112
Tabla 76. Valoración del grado de vulnerabilidad obtenida del IVEP.	120
Tabla 77. Resumen de resultados de pesos asignados por indicadores por grupo de datos.	122
Tabla 78. Resumen de resultados de pesos asignados en parámetros por grupo de datos.	123
Tabla 79. Resumen de resultados de pesos por dimensiones por grupo de datos.	123
Tabla 80. Resumen de resultados de pesos asignados por indicadores en media de grupo de datos.	124
Tabla 81. Grado de vulnerabilidad de características estructurales en relación al peso máximo por dimensión W_1 .	125
Tabla 82. Grado de vulnerabilidad de importancia del puente en relación al peso máximo por dimensión W_2 .	126
Tabla 83. Grado de vulnerabilidad de características estructurales en relación al peso máximo por dimensión W_3 .	126
Tabla 84. Grado de vulnerabilidad del IVEP en relación al peso máximo.	127
Tabla 85. Matriz del instrumento de validez de la herramienta empleada.	128
Tabla 86. Matriz de valoración para validez de herramienta empleada.	128
Tabla 87. Estadística descriptiva de hipótesis general.	129

Tabla 88. ANOVA de hipótesis general.	129
Tabla 89. Pruebas post hoc, HSD Tukey de hipótesis general.....	130
Tabla 90. Estadísticos descriptivos de hipótesis 01.	131
Tabla 91. ANOVA de hipótesis 01.	132
Tabla 92. Pruebas post hoc, HSD Tukey de hipótesis 01.	132
Tabla 93. Estadísticos descriptivos de hipótesis 02.	134
Tabla 94. ANOVA de hipótesis 02.	134
Tabla 95. Pruebas post hoc, HSD Tukey de la hipótesis 02.	134
Tabla 96. Estadísticos descriptivos de hipótesis 03.	136
Tabla 97. ANOVA de hipótesis 03.	136
Tabla 98. Pruebas post hoc, HSD Tukey de la hipótesis 03.	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido de figuras	Pág.
Figura 1. Perú: Índice del flujo de vehículos pesados, 2007 – 2016.....	2
Figura 2. Fotografías de daños ocasionados en terremoto del 23/07/2001.....	3
Figura 3. Inundación en río Moquegua que afectó estructuras hidráulicas.....	4
Figura 4. Fotografías de "Malecón Ribereño", luego del incremento de caudal.	4
Figura 5. Fotos de la socavación y erosión en el río Moquegua, febrero 2015.....	5
Figura 6. Río Tumilaca- cuenca Moquegua. Caudal máximo mensual.	6
Figura 7. Fotografías con vista a márgenes del río aguas arriba y aguas abajo...	6
Figura 8. Fotografía de condición deteriorada de elementos en puente "La Villa".	7
Figura 9. Representación de funciones de pertenencia de los grados de vulnerabilidad.....	23
Figura 10. Función de pertenencia, clasificaciones 1; 2; 3; y 4; del indicador “1.1.3 Deformaciones: criterio por deflexión”.....	25
Figura 11. Camino a la Villa Vieja (derecha). El puente Balta de fierro 1992 (izquierda).	27
Figura 12. Fotografías de daños ocasionados en terremoto del 23/07/2001.....	32

Figura 13. A. Efectos sobre puentes por fenómeno del niño (martes 04 de marzo del 1997), B. Condiciones expuesta vulnerable puente “La Villa”, miércoles 05 de marzo del 1997.....	32
Figura 14. Acción erosiva en base del muro sostenimiento aguas arriba puente Villa (derecha), Condiciones expuesta vulnerable muro encauzamiento aguas abajo puente “La Villa”, domingo 15 de febrero del 2015 (izquierda).....	32
Figura 15. Esquema de estudios de ingeniería básica.....	33
Figura 16. Clasificación de puentes según MTC, 2016.....	36
Figura 17. Esquema del procedimiento para el desarrollo de diseño de puente.....	50
Figura 18. Ubicación del área de estudio.....	51
Figura 19. Clasificación del río Tumilaca.....	54
Figura 20. Formas de socavación en puente.....	59
Figura 21. Mapas de inundación río Tumilaca, 50 (A), 100 (B), 250 (C) y 500 (D) años de tiempo de retorno.....	63
Figura 22. Destrucción, socavamiento, colapso de defensa ribereña y áreas de cultivo.....	68
Figura 23. Drenaje pluvial seco.....	69
Figura 24. Filtraciones provenientes de las áreas de cultivo y drenan en el río...	69
Figura 25. Evidencias del aluvión que ocurrió en el año 2015, río Tumilaca.....	70

Figura 26. Derrumbe en afloramiento rocoso, margen derecho río Tumilaca.	70
Figura 27. Erosión fluvial muy crítica en margen izquierda del río Tumilaca. ...	71
Figura 28. Evidencias de socavamiento ocasionado por los agentes hidrológicos.....	71
Figura 29. Asentamiento del talud de sostenimiento de la vía.....	72
Figura 30. Diseño de campo de un sismógrafo de doce canales.....	78
Figura 31. Rango de resistividades por colores.	79
Figura 32. Registro de arribo de los tiempos de arribo de las ondas sísmicas a los sensores.	82
Figura 33. Dromocronas de la línea sísmica.	82
Figura 34. Representación de las velocidades sísmicas en una línea sísmica.....	82
Figura 35. Toma de data de SEV-03, debajo del puente La Villa.	86
Figura 36. Mapa vial de la provincia de Mariscal Nieto - departamento Moquegua.....	87
Figura 37. Diagrama vial de ruta MO-590 y MO-591 indicando a estaciones E-01 y E-02.....	87
Figura 38. Metodología de trabajo de actividades para el estudio de tráfico.....	88
Figura 39. Perú, tasa promedio anual del PBI 2001-2009.	91
Figura 40. Etapas para el cálculo de IMDA.....	93
Figura 41. Volumen de tráfico por día, estación E-01.....	95

Figura 42. Cuento de tráfico: volumen de tráfico por día, estación E-02.	100
Figura 43. Factores influyentes en inspección de puente.....	104
Figura 44. Limitaciones de inspección en campo del puente.....	104
Figura 45. Esquema de procedimiento de inspección.....	105
Figura 46. Procedimiento de inspección propiamente dicha.	106
Figura 47. Condiciones hipotéticas de modelo de evaluación estructural.	108
Figura 48. Sección transversal del puente “La Villa”.	109
Figura 49. Componentes de superestructura puente “La Villa”.....	110
Figura 50. Fotografía del puente existente “La Villa”.	113
Figura 51. Principales ventajas del diseño plástico.....	115
Figura 52. Principales desventajas del diseño plástico.	115
Figura 53. Diagrama esfuerzo-deformación.	116
Figura 54. Instrumentos de procesamientos de información.	119
Figura 55. Peso por dimensión del índice de vulnerabilidad estructural en puentes.....	120
Figura 56. Pesos por parámetros de la dimensión características estructurales W1.....	120
Figura 57. Pesos por parámetros de la dimensión importancia del puente W2.	121
Figura 58. Pesos por parámetro de dimensión característica de la zona W3.....	121

Figura 59. Media de pesos por grupos de valores, características estructurales	
W1.....	125
Figura 60. Media de pesos por grupos de valores de la importancia del puente	
W2.....	125
Figura 61. Media de pesos por grupos de valores de características de	
zona W3.....	126
Figura 62. Media de pesos por grupos de valores del índice de vulnerabilidad	
estructural en puentes IVEP.....	127
Figura 63. Gráfico de medias estimadas de pesos del índice de vulnerabilidad	
estructural en puentes de la hipótesis general.....	130
Figura 64. Gráfico de medias estimadas de pesos del parámetro características	
estructurales de puentes de hipótesis 01.....	132
Figura 65. Gráfico de medias estimadas de pesos, parámetro importancia del	
puente de hipótesis 02.....	135
Figura 66. Gráfico de medias estimadas de pesos del parámetro	
características de la zona de hipótesis 03.....	137

ÍNDICE DE ECUACIONES

Contenido de ecuaciones	Pág.
Ecuación 1. Índice de vulnerabilidad estructural de puente – “IVEP”	21
Ecuación 2. Peso por indicador i, j, k “ $W_{i,j,k}$ ”	21
Ecuación 3. El peso por parámetro i, j “ $W_{i,j}$ ”	21
Ecuación 4. El peso por dimensión i “ W_i ”	21
Ecuación 5. Grado de vulnerabilidad por condición de calidad por indicador según parámetro y dimensión “ $K_{i,j,k}$ ”	21
Ecuación 6. La presión de diseño “ P_D ”	39
Ecuación 7. Caudal máximo instantáneo “ Q_i ”	56
Ecuación 8. Coeficiente de fuller “c”	56
Ecuación 9. Caudal por la fórmula de Manning – Strickler “Q”	57
Ecuación 10. Velocidad media “ V_m ”	57
Ecuación 11. Constante adimensional “k”	57
Ecuación 12. Velocidad erosiva “ V_e ”	59
Ecuación 13. Caudal de diseño “Q” por el método de Listvan – Lebediev	61
Ecuación 14. Constante “a”	61
Ecuación 15. Tirante inicial “t”	61
Ecuación 16. Velocidad real “ V_r ”	61
Ecuación 17. tirante incrementada hasta condición de equilibrio “ts”	61
Ecuación 18. profundidad de socavación “hs”	62
Ecuación 19. Capacidad admisible por Terzaghi y Peck “ q_u ”	75
Ecuación 20. Capacidad última de carga según Meyerhof “ q_u ”	76

Ecuación 21. Capacidad última de carga según Vesic 1973 “ q_u ”.....	76
Ecuación 22. Capacidad última de carga según Brinch-Hansen “ q_u ”.....	76
Ecuación 23. Variación de la capacidad última según Vesic 1972 “ q_u ”.....	76
Ecuación 24. Capacidad de soporte admisible “ q_{adm} ”	76
Ecuación 25. Índice medio diario semanal “ IMD_s ”.....	93
Ecuación 26. Índice medio anual “ IMD_a ”	93
Ecuación 27. Ecuaciones de equilibrio “ $\sum F_{V,H}=0$ ”	114
Ecuación 28. Resistencia de diseño en barra a tensión “ R_T ”.....	117
Ecuación 29. Resistencia de diseño en barra a compresión “ R_c ”	117
Ecuación 30. Relación de esbeltez “ $(kL/r)_c$ ”	117

ÍNDICE DE APÉNDICES

Contenido de apéndice	Pág.
Apéndice A. Índice de vulnerabilidad estructural en puente – IVEP	150
Apéndice A. 1 Dimensiones, parámetros e indicadores del modelo de IVE en puentes.	151
Apéndice A. 2 Primer cuestionario para determinar la importancia de dimensiones, parámetros e indicadores en IVE en puentes.	152
Apéndice A. 3 Segundo cuestionario para determinar el grado de vulnerabilidad de cada condición de calidad a partir de la opinión de expertos.	153
Apéndice A. 4 Cuestionario de índice de vulnerabilidad estructural.	154
Apéndice A. 5 Encuestas de validación de IVEP y matriz de valoración de IVEP, por ingenieros expertos.	160
Apéndice A. 6 Descripción de parámetros e indicadores de IVEP.	170
Apéndice A. 7 Funciones de pertenencia del IVEP	198
Apéndice B. Registro de inspección del puente “La Villa”.	203
Apéndice B. 1 Toma de datos de la inspección.	204
Apéndice B. 2 Condición global del puente.	209
Apéndice B. 3 Panel fotográfico - condición del puente.	211
Apéndice B. 4 Observaciones y recomendaciones.	219
Apéndice C. Memoria de cálculo superestructura.	221
Apéndice C. 1 Análisis Estructural de puente existente "La Villa".	222
Apéndice C. 2 Diseño y análisis de puente tipo viga cajón.	238
Apéndice C. 3 Diseño y análisis de puente tipo losa y vigas preesforzadas.	262

Apéndice D.	Memoria de cálculos varios.	286
Apéndice D. 1	Cálculo de subestructura.	287
Apéndice D. 2	Cálculo de pantalla atirantada.	309
Apéndice E.	Planos.	324
Apéndice E. 1	Estructuras de propuesta de puente.	325
Apéndice E. 2	Planos de ingeniería básica.	341
Apéndice F.	Registros de estudios en la zona.	358
Apéndice F. 1	Cuadro de resumen en exploraciones de tajo abierto - calicatas.	359
Apéndice F. 2.	Panel fotográfico en exploraciones de tajo abierto - calicatas.	364
Apéndice F. 3.	Perfil estratigráfico en exploraciones de tajo abierto - calicatas.	369
Apéndice F. 4.	Registro de ensayos en exploraciones de tajo abierto- calicatas.	374

NOMENCLATURA

Abreviaciones

<i>AASTHO</i>	<i>American association of state highway and transportation officials.</i>
<i>ACI</i>	<i>American concrete institute.</i>
<i>ANA</i>	<i>Autoridad nacional del agua.</i>
<i>GRM</i>	<i>Gobierno regional de Moquegua.</i>
<i>IGP</i>	<i>Instituto geofísico del Perú.</i>
<i>IMDa</i>	<i>Índice medio anual.</i>
<i>IMDs</i>	<i>Índice medio diario semanal.</i>
<i>INEI</i>	<i>Instituto nacional de estadística e informática.</i>
<i>IVEP</i>	<i>Índice de vulnerabilidad estructural en puentes.</i>
<i>IVP-MPMN</i>	<i>Instituto vial provincial Mariscal Nieto-Municipalidad provincial Mariscal Nieto.</i>
<i>LRFD</i>	<i>Load resistance factors design.</i>
<i>MTC</i>	<i>Ministerio de transportes y comunicaciones.</i>
<i>PBI</i>	<i>Producto bruto interno.</i>
<i>PROVIAS</i>	<i>Proyecto nacional especial de infraestructura de transporte nacional.</i>
<i>UNI</i>	<i>Universidad nacional de ingeniería.</i>
<i>UNSA</i>	<i>Universidad nacional de San Agustín de Arequipa.</i>
<i>WSDOT</i>	<i>Washington state department of transportation.</i>

Capítulo II

$IVEP_n$	<i>Índice de vulnerabilidad estructural del puente “n”.</i>
$K_{1,j,k}$, $K_{2,j,k}$, $K_{3,j,k}$	<i>Medida del grado de vulnerabilidad de las dimensiones “i”, de los parámetros “i,j” en cada indicador “i,j,k” para las dimensiones, $W_{i,j,k}$ corresponde a los pesos asignados para cada dimensión.</i>
$C_{i,j,k}$	<i>Sumatoria de calificación de importancia de cada indicador asignado por encuestados.</i>

$\sum C_{i,j,k_p}$	<i>Sumatoria parcial de calificación de importancia de cada indicador por parámetro asignado por encuestados.</i>
C_i	<i>Sumatoria de calificación de importancia de cada parámetro asignado por encuestados.</i>
$\sum C_{i_p}$	<i>Sumatoria parcial de calificación de importancia de cada parámetro por cada dimensión asignado por encuestados.</i>
$\sum C_{i_p}$	<i>Sumatoria parcial de calificación de importancia por cada dimensión asignado por encuestados.</i>
$\sum C_i$	<i>Sumatoria total de calificación de importancia de las dimensiones asignado por encuestados.</i>
$V_{p-i,j,k}$	<i>Valor equivalente de la condición de calidad de indicador “k” en el parámetro “j” de la dimensión “i”.</i>
$\sum V_{p-i,j,k}$	<i>Sumatoria total de valores equivalentes en la condición de calidad de indicador “k” en el parámetro “j” de la dimensión “i”.</i>
P_D	<i>Presión de diseño del viento (Mpas),</i>
P_B	<i>Presión base del viento a velocidad base de 160 km/h (Mpas),</i>
V_{DZ}	<i>Velocidad de diseño del viento (km/h).</i>

Capítulo IV

Q_i	<i>Caudal máximo instantáneo (m^3/s).</i>
Q_d	<i>Caudal máximo diario (m^3/s).</i>
c	<i>Coefficiente de Fuller.</i>
A	<i>Área de la cuenca (km^2).</i>
a y b	<i>Coefficientes empíricos se considera 2.70 y 0.30 respectivamente.</i>
Q_{max}	<i>Caudal por la fórmula de Manning – Strickler (m^3/s).</i>
A	<i>Área de la sección del río en avenida (m^2).</i>
R	<i>Radio hidráulico (m).</i>
PM	<i>Perímetro mojado de la avenida (m).</i>

<i>S</i>	<i>Pendiente del río</i>
<i>n</i>	<i>Constante de rugosidad del cauce del río Tabla 26.</i>
<i>V_m</i>	<i>Velocidad media (m/seg).</i>
<i>R</i>	<i>Radio Hidráulico (m).</i>
<i>J</i>	<i>Pendiente del río.</i>
<i>K_s</i>	<i>Coefficiente rugosidad, depende del lecho natural del río tabla 26.</i>
<i>a</i>	<i>Constante.</i>
<i>V_e</i>	<i>Velocidad erosiva (m/s).</i>
<i>D_m</i>	<i>Diámetro medio característico del lecho del río (mm).</i>
<i>B</i>	<i>Coefficiente depende de frecuencia de avenida según en la tabla 30.</i>
<i>h_s</i>	<i>Profundidad de socavación (m).</i>
<i>V_r</i>	<i>Velocidad real (m/s).</i>
<i>t_s</i>	<i>Tirante respecto a la profundidad, equilibrio $V_e=V_r$ (m).</i>
<i>x</i>	<i>Exponente característico para material no cohesivo según tabla 31.</i>
<i>b_o</i>	<i>Ancho contraído (m).</i>
<i>t</i>	<i>Tirante inicial (m).</i>
<i>Q</i>	<i>Caudal de diseño (m³/s).</i>
$1/(x+1)$	<i>Constante de tabla 31.</i>
<i>c</i>	<i>Cohesión del suelo (kN/m²).</i>
<i>N_c, N_q, N_γ</i>	<i>Factores capacidad de carga del ángulo de fricción del suelo “ϕ”.</i>
<i>γ</i>	<i>Peso específico del suelo (kN/m³).</i>
<i>q</i>	<i>Sobrecarga suelo γD_f/Esf. efectivo a fondo de cimentación (kN/m²).</i>
<i>q_u</i>	<i>Capacidad de carga total última (kg/cm²).</i>

q_{adm}	Capacidad de soporte admisible (kg/cm^2)
FS	Factor de seguridad adimensional.
D_f	Desplante de la cimentación (m).
B	Ancho de la cimentación (m).
$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$	Factores de forma, adimensional.
$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$	Factores de profundidad, adimensional.
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$	Factores de inclinación de la carga, adimensional.
S_c, S_q, S_γ	Factores de forma.
d_c, d_q, d_γ	Factor de profundidad, adimensional.
i_c, i_q, i_γ	Factor de inclinación de la carga, adimensional.
V_i	Volumen vehicular diario de cada uno de los días de conteo.
FC	Factor de corrección estacional.
$\sum F_V$	Sumatoria de fuerzas en dirección vertical.
$\sum F_H$	Sumatoria de fuerzas en dirección horizontal.
FR_t	Factor de resistencia a tensión es 0.90.
A_n	Es el área del elemento empleado (cm^2).
f_y	Límite de fluencia del acero A36 con $2530 \text{ kg}/\text{cm}^2$.
A	Es el área de la sección transversal de la columna. (cm^2).
kL/r	Es la relación de esbeltez efectiva máxima de la columna.
FR_c	Factor de resistencia a compresión es 0.85 para $kL/r=0$, decrece linealmente hasta 0.75 cuando $(kL/r)_c$ y se conserva para relaciones de esbeltez mayores.

RESUMEN

El principal objetivo de esta investigación fue desarrollar una propuesta de puente alternativo para reducir el índice de vulnerabilidad estructural del puente existente “La Villa”. El índice referido fue desarrollado en tres dimensiones: características estructurales, importancia del puente y características de zona, donde los valores de importancia, así como su calificativo de “nada vulnerable” a “muy vulnerable”, fueron validados a partir de la apreciación de ingenieros; se aplicó técnicas de observación, encuesta y como instrumento, el cuestionario aplicado a ingenieros con experiencia en el diseño de puentes, estudios de ingeniería básica. La evaluación por medio del índice de vulnerabilidad propuesto, resulta de un valor escalar de 0 a 1, donde valores próximos a 0 representa “poco vulnerable”, y 1 “absolutamente vulnerable”. Se diseñó la propuesta alternativa de puente considerando las condiciones vulnerables del puente existente “La Villa”, el valor escalar que especifica el grado de vulnerabilidad estructural de la propuesta, así como del puente existente fue determinado con el índice de vulnerabilidad estructural en puentes – IVEP; la propuesta de puente alternativo es un aporte al puente existente que evaluado, reduce el índice de vulnerabilidad estructural con un valor menor a 0,5 lo que garantiza un funcionamiento integral, seguro y de confianza. El cuestionario IVEP fue validado por expertos con un nivel de media a alta, por lo que constituye una alternativa viable para la evaluación de otros puentes con alcances especificados en esta investigación.

Palabras clave: IVEP, diseño, propuesta alternativa, características estructurales, características de zona, importancia de puente.

ABSTRACT

The main objective of this research was to develop an alternative bridge proposal to reduce the structural vulnerability index of the existing “La Villa” bridge. The referred index was developed in three dimensions: structural characteristics, importance of the bridge and characteristics of the area, where the importance values, as well as its qualification from "not vulnerable" to "very vulnerable", were validated from the appreciation of engineers; Observation and survey techniques were applied, and as an instrument, the questionnaire applied to engineers with experience in bridge design, basic engineering studies. The evaluation by means of the proposed vulnerability index, results from a scalar value from 0 to 1, where values close to 0 represent “little vulnerable”, and 1 “absolutely vulnerable”. The alternative bridge proposal was designed considering the vulnerable conditions of the existing bridge “La Villa”, the scalar value that specifies the degree of structural vulnerability of the proposal, as well as the existing bridge was determined with the structural vulnerability index in bridges - IVEP ; The alternative bridge proposal is a contribution to the existing bridge that, when evaluated, reduces the structural vulnerability index with a value lower than 0.5, which guarantees a comprehensive, safe and reliable operation. The IVEP questionnaire was validated by experts with a medium to high level, therefore it constitutes a viable alternative for the evaluation of other bridges with specified scopes in this investigation.

Keywords: IVEP, design, alternative proposal, structural characteristics, zone characteristics, importance of bridge.

INTRODUCCIÓN

Moquegua tiene el incremento de caudal producto de grandes avenidas en períodos cortos del año, entre los meses de enero y marzo, los que generan grandes problemas con arrastre de material sólido, socavación y activación de quebradas secas, es por ello que se debe tener especial atención en el mantenimiento y resguardo de las estructuras; entre ellas, el puente “La Villa”, responde a una gran necesidad de comunicación entre la ciudad de Moquegua y el centro poblado de Los Ángeles, además de ello se debe resaltar su desempeño como aporte para el desarrollo económico en actividades de los pobladores de la zona, entre ellas el turismo, agricultura, comercio y construcción.

El puente “La Villa” fue construido en el año 1877, posterior a ello la superestructura fue modificada en 1968, en este período las solicitudes de carga por tráfico vehicular eran menores a las que circulan al año 2017; previo a la elaboración de estudios básicos de ingeniería en la zona de estudio e identificadas las deficiencias que afectan al puente, se realizó una evaluación estructural con el objeto de establecer las solicitudes internas y compararlas con los requisitos de los códigos de diseño vigentes.

El propósito de la presente investigación es plantear una propuesta de puente alternativo que reduzca el índice de vulnerabilidad estructural del puente - IVEP “La Villa”, considerando las características propias de la zona, la condición estructural y vial del puente “La Villa” ubicado en la región de Moquegua, provincia Mariscal Nieto y la importancia que representa.

En esta investigación se determinó el índice de vulnerabilidad estructural en puentes como un valor escalar de “0 a 1”, permite la evaluación relativa de la vulnerabilidad estructural y el daño físico del puente en estudio; la calificación nada vulnerable está próximo a “0” y absolutamente vulnerable a “1”. Desarrollado a partir de otros modelos y de estudios de factores que vulneran el puente. La presente investigación presenta los siguientes capítulos:

El Capítulo I contiene la descripción del problema, la definición del problema, objetivos de la investigación, la justificación de la investigación, los alcances y limitaciones, la definición de variables y las hipótesis de la investigación.

En el Capítulo II se aborda el fundamento teórico que sustenta las bases teóricas sobre el índice de vulnerabilidad estructural en puentes y las bases teóricas sobre el diseño de la propuesta de puente alternativo.

El Capítulo III corresponde al método de la investigación, en el que se indica el tipo de la investigación, el nivel de la investigación, el diseño de la investigación la población y la muestra, así como los procedimientos y técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el Capítulo IV se desarrolla la propuesta alternativa de puente, así como los estudios básicos de ingeniería, que reduce el índice de vulnerabilidad del puente existente “La Villa”, herramienta tipo cuestionario aplicada a ingenieros civiles con experiencia en desarrollo de estudios de ingeniería básica y diseño de puentes.

El Capítulo V presenta el análisis e interpretación de resultados y la contratación de hipótesis.

El Capítulo VI comprende las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

El puente “La Villa”, estructura existente con período de servicio de 52 años desde 1968; expone su integridad y calidad en sus niveles de servicio. Entre los principales problemas que sitúan a esta estructura en estado vulnerable se tiene:

1.1.1. Faja marginal.

El puente se ubica en una zona de estrechamiento; el obstáculo natural es el Río Tumilaca ubicada en la zona urbana, entre el tramo Km 3+300 al 4+350 donde predomina el flujo crítico; la simulación hidráulica efectuada por el ANA indica que el ancho promedio de cauce (m) para un período de retorno de 100 y 250 años es de 39,787 m y 46,145 m respectivamente (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016); a continuación anchos promedios del cauce para ríos de Moquegua.

Tabla 1

Ancho promedio del cauce de principales ríos en Moquegua y ancho de la faja marginal.

Río	Ancho promedio el cauce 100 años de retorno (m)	Ancho promedio del cauce 250 años de retorno (m)	Ancho de la faja marginal (m)
Moquegua Tramo I	50,069	65,786	10
Moquegua Tramo II	89,363	106,406	15
Tumilaca	39,787	46,145	10
Osmore	91,819	112,735	15

Fuente: ANA, 2016.

1.1.2. Tráfico vehicular 2017.

El diseño original de puente no contempla el paso de vehículos que transitan al año 2017. Con proyección a 20 años, es notoria la congestión vehicular y el tránsito de vehículos pesados por el incremento de actividades productivas.

De acuerdo al informe técnico N°02 de “Flujo vehicular por unidades de peaje”, en el año 2016, el índice nacional del flujo vehicular registró un crecimiento de 9,0%. Este dato se registra en figura 1; por otro lado, el índice del flujo de vehículos pesados acumuló un crecimiento de 5,3% (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] y Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional [PROVIAS Nacional], 2017).

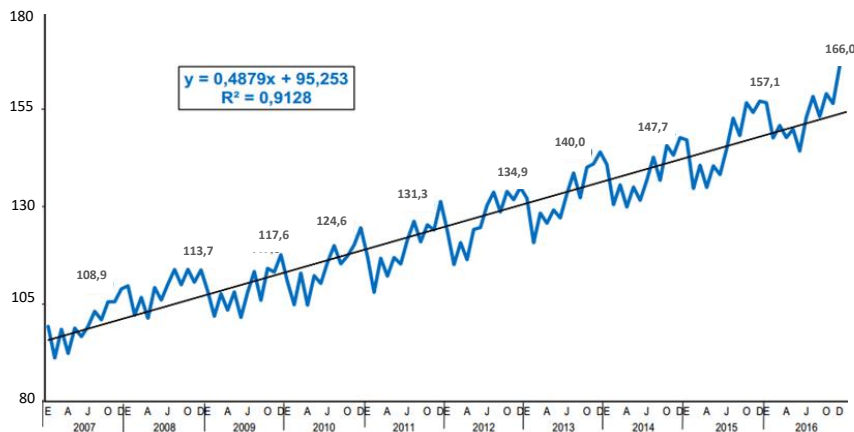


Figura 1. Perú: Índice del flujo de vehículos pesados, 2007 – 2016.

Fuente: INEI, 2016

1.1.3. Procesos generadores de peligros.

Inducidos por fenómenos naturales que amenazan la zona en un período determinado; son de 2 tipos: geodinámica interna y externa; estas comprometen la integridad, serviciabilidad del puente y la transitabilidad de la población beneficiada. Los principales fenómenos de geodinámica interna y externar son los sismos y las inundaciones respectivamente:

1.1.3.1. Sismos.

Moquegua ha experimentado sismos por intervalos no periódicos; registrándose intensidades altas como IX en la escala de Mercalli modificada (Centro de Estudios y Prevención de Desastres, 2003). El 13 de agosto de 1868 en Moquegua hubo un sismo de grado 8,60, desde allí se vive un silencio sísmico (Gobierno Regional de Moquegua [GRM], 2001). El 23 de junio del 2001, un terremoto de magnitud 8,20 provocó consecuencias funestas ver figura 2; el Instituto Nacional de Defensa Civil-INDECI informó la muerte de 74 personas, 64 desaparecidos, 35 601 y 17 584 viviendas afectadas y destruidas respectivamente, en los departamentos de Arequipa, Moquegua, Tacna (Tavera e Instituto Geofísico del Perú [IGP], 2002).



Figura 2. Fotografías de daños ocasionados en terremoto del 23/07/2001.

Fuente: GRM, 2011

1.1.3.2. Inundaciones.

Moquegua registra un índice de precipitación pluvial bajo; en épocas excepcionales como en 1993 se alcanzó 100 mm en tres días que ocasionó aniego y acumulación de aguas en sectores de la ciudad (GRM, 2011).

En enero de 2017, el incremento del caudal en el río Moquegua perjudicó bocatomas, interrumpiendo el consumo de agua de la población a continuación, la Figura 3 muestra una fotografía del evento.



Figura 3. Inundación en río Moquegua que afectó estructuras hidráulicas.

Fuente: Diario La República, 2017.

a. Derrumbes o desprendimientos.

En febrero del 2015, el Malecón Ribereño en el margen izquierdo del río Tumilaca presentó tramos críticos destruyendo la vía, muros de contención o defensa ribereña (Instituto Vial Provincial Mariscal Nieto-Municipalidad Provincial Mariscal Nieto [IVP-MPMN], 2015), la figura 4 muestra efectos del ingreso de avenida.



Figura 4. Fotografías de "Malecón Ribereño", luego del incremento de caudal.

Fuente: IVP-MPMN, 2015.

b. Erosión y socavación de riberas.

Los márgenes del río Tumilaca, presentan riesgo de erosión en cárcavas, fluvial en las estructuras presentes en el curso del río, transversal y lateral al mismo. La ficha técnica (IVP-MPMN, 2015) muestra fotografías del evento en figura 5.



Figura 5. Fotos de la socavación y erosión en el río Moquegua, febrero 2015.

Fuente: IVP-MPMN, 2015.

c. Fenómeno “El Niño”.

El fenómeno del niño en Moquegua entre 1997 y 1998, causó cuantiosos daños a la infraestructura de captación de agua potable, colapsó el puente el Rayo y dañó el puente Montalvo (Centro de Estudios y Prevención de Desastres, 2003).

Según fuentes orales de maestros, Ester Salazar y Francisco Luis Alcázar Juárez, entre 1967 y 1970 el puente “La Villa” conocido como “puente Balta” o “puente el Majuelo” metálico de un carril, fue afectado en la cimentación y el tablero por el ingreso de avenidas, reemplazándose la superestructura a otra de similares características, pero de dos carriles en 1968.

La figura 6 registra caudales máximos mensuales entre 1945-1997. A inicio de marzo de 1997, dos avenidas ocurridas en la cuenca del río Moquegua, provocaron serios daños a la agricultura y estructuras viales (Ministerio de Agricultura Instituto Nacional de Recursos Naturales y Universidad Agraria La Molina, 1998).

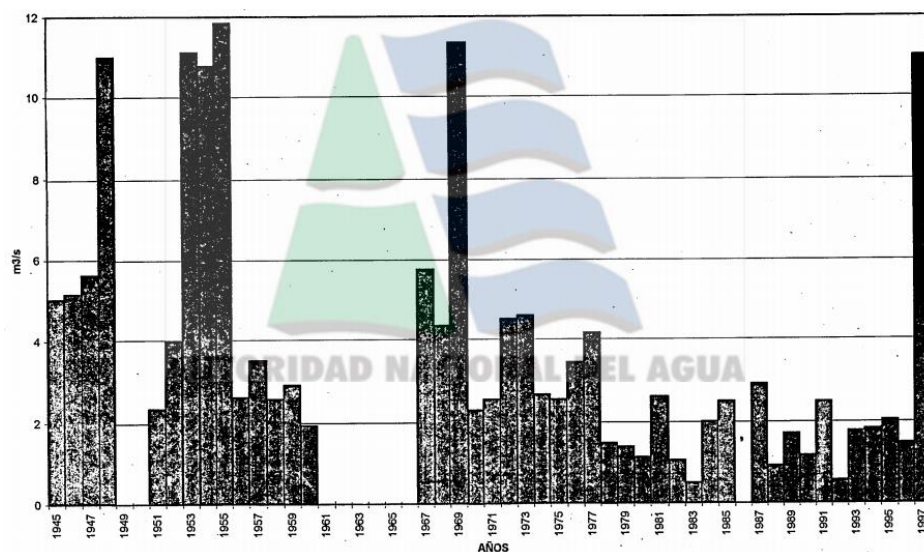


Figura 6. Río Tumilaca- cuenca Moquegua. Caudal máximo mensual.

Fuente: Registro de caudales, Período 1945 – 1997 (Ministerio de Agricultura Instituto Nacional de Recursos Naturales, Universidad Agraria La Molina, 1998)

1.1.4. Los márgenes laterales del río aguas arriba y abajo.

Es deficiente en el lado derecho e inexistente al lado izquierdo, esto compromete la integridad del puente; los accesos en ambas direcciones del puente están desprotegidos, son usados como botaderos por pobladores desechándose materiales orgánicos e inorgánicos. La figura 7 muestra el estado de los márgenes del río.



Figura 7. Fotografías con vista a márgenes del río aguas arriba y aguas abajo.

1.1.5. Componentes estructurales y no estructurales del puente.

Las condiciones de elementos como el sistema de drenaje, señales de tránsito vehicular, aparatos de protección, elementos propios del puente en armadura metálica, veredas, etc. son deficientes, no garantizan la seguridad; la figura 8 muestra fotografías que evidencian estas deficiencias.



Figura 8. Fotografía de condición deteriorada de elementos en puente "La Villa".

1.1.6. Omisión de planes de contingencia.

Esto limita la prevención de daños incrementando el riesgo; no se presenta programas de mantenimiento de estructuras a nivel técnico, lo que acrecienta la vulnerabilidad de la estructura, desgaste en el tiempo, necesidad de refuerzo de elementos estructurales; estas deficiencias hacen propensa a la estructura en presentar deterioro, desgaste, inutilización con el transcurrir del tiempo.

1.2. Definición del problema

1.2.4. Problema general.

¿La propuesta de puente alternativo reduce el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” en el año 2017?

1.2.5. Problemas específicos.

¿Qué características estructurales expuestas a condiciones vulnerables deben considerarse para el diseño de una propuesta de puente alternativo para el puente “La Villa”?

¿Cuál es la importancia del puente “La Villa” como línea vital de transporte?

¿Qué características de zona presenta el puente “La Villa”?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.4. Objetivo general.

Diseñar una propuesta de puente alternativo que reduzca el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” ubicado en el distrito Moquegua, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua.

1.3.5. Objetivos específicos.

Identificar las características estructurales expuestas a condiciones vulnerables para diseñar una propuesta alternativa para el puente “La Villa”.

Determinar la importancia del puente “La Villa” como línea vital de transporte.

Considerar las características de la zona presentes en el puente “La Villa” en la idealización de modelos matemáticos de análisis.

1.4. Justificación

Esta investigación se desarrolla como propuesta alternativa para la reducción del índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

Esta investigación se justifica en población beneficiada; tiene relevancia en el ámbito social, económico, transportes y comunicaciones, metodológico, cultural-turístico gastronómico, ambientales, etc.

La estructura propuesta garantizaría la seguridad, durabilidad, resistencia, confort y buen desempeño ante la vulnerabilidad a la que esté sometido en su vida útil. Los principales beneficiarios son el C.P. Los Ángeles y Moquegua.

Desde el punto de vista social, la población garantizará su extensión y desarrollo, expresado en el incremento y optimización de actividades como: agricultura, turismo, gastronomía, construcción, comercio, manufactura, etc.

En el ámbito económico; mayor oportunidad laboral con el crecimiento de actividades económicas. Los empresarios y transportistas vehiculares públicos, particulares dedicados a la comercialización, transporte de personal y vehículos pesados serán beneficiados con un acceso seguro y directo hacia los Ángeles.

Respecto del transporte vial y comunicación, la propuesta es un acceso vial eficiente de calidad y garantía a solicitudes de carga proyectadas con el incremento de flujo vehicular y peatonal por nuevos supermercados en Moquegua.

De la utilidad Metodológica; la investigación es un antecedente de la escala “índice de vulnerabilidad estructural en puentes”- IVEP; la propuesta alternativa al puente “La Villa”, comprende la evaluación estructural del puente existente, diseño estructural de sus componentes y desempeño ante solicitudes de carga de factores vulnerables, que al ser evaluada reduzca el IVEP del puente existente.

Desde el punto de vista cultural-turístico-gastronómico, la propuesta alternativa asegura la transitabilidad hacia áreas recreativas y culturales, restaurantes tradicionales, la llamada “Ruta del Pisco”, etc.

Desde el punto de vista ambiental, la propuesta alternativa considera el diseño de defensas ribereñas con sistemas de protección que respaldará el cuidado del Medio Ambiente, modificando la desprotección de accesos en ambas direcciones al puente al ser usados como botaderos desechándose materiales.

1.5. Alcances y limitaciones

La propuesta al puente “La Villa”, reduce el IVEP de la estructura existente enmarcado en el eje de la vía definida y características de la zona; se genera un antecedente del IVEP aplicable a mantenimiento, propuestas y puentes.

El IVEP o “índice de vulnerabilidad estructural en puente” es la recopilación de información de modelos existentes, normativas nacional e internacional como vulnerabilidad de puentes de autopista (Gómez, Barbat, Oller, 2000), AASTHO LRFD (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASTHO], 2014), drainage manual (Minnesota Department of Transportation, 2000), evaluating scour at bridges -fifth edition (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, L.A. Arneson, L.W. Zevenbergen, P.F. Lagasse, P.E. Clopper, 2012), geotechnical design manual (Washington State Department of Transportation [WSDOT], 2015), manual para la revisión de diseño de puentes y cajas (Ministerio de Transportes e infraestructura, 2008), manual de puentes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016), manual de dispositivos de control de tránsito (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2017), manual de diseño geométrico (Ministerio

de Transporte y Comunicaciones, 2018), ingeniería de ríos (Vide, 2003), análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos de carreteras (Palma, 2012), puentes con AASHTO-LRFD 2014 (Rodríguez, 2016).

La definición de parámetros, dimensiones e indicadores, en relación de la importancia y grado de vulnerabilidad, se efectuó con dos cuestionarios a ingenieros profesionales vía electrónica; los valores finales de cada indicador en su condición de calidad, dependieron de su juicio y apreciación. La validación del instrumento empleó un formulario y matriz de valoración a tres profesionales. La propuesta de puente se define entre la evaluación del IVEP de 2 alternativas: puente de tipo vigas de concreto pretensado y puente viga cajón, la estructura con menor IVEP será la elegida.

1.6. Variables

1.6.1. Definición de variables.

1.6.1.1. Variables de la hipótesis principal.

a. Variable dependiente.

- Índice de vulnerabilidad estructural en el puente “La Villa” (Y).

El IVEP es un instrumento de evaluación para la gestión de reducción de riesgos a nivel cualitativo estructural.

b. Variable Independiente.

- Propuesta alternativa de Puente (X).

Referido al Diseño y análisis de la propuesta alternativa, considerando los componentes, las condiciones que hacen vulnerable al puente en su situación actual.

1.6.1.2. Variables de las hipótesis secundarias.

a. Hipótesis secundaria 1.

- *Variable dependiente.*

Características estructurales (Y_1).

- *Variable independiente.*

Condiciones vulnerables presentes en el puente “La Villa” (X_1).

b. Hipótesis Secundaria 2.

- *Variable dependiente.*

La importancia del puente “La Villa” (Y_2).

- *Variable independiente.*

Línea de transporte (X_2).

c. Hipótesis Secundaria 3.

- *Variable dependiente.*

Características de la zona (Y_3).

- *Variable independiente.*

Modelos de análisis (X_3).

1.6.2. Operacionalización de variables.

1.6.2.1. De la variable independiente.

A continuación, en la Tabla 2 se detallan las variables de estudios con sus respectivos indicadores y referencias de medición correspondiente.

Tabla 2*Operacionalización de variable independiente, propuesta alternativa de puente (x)*

Variable	Dimensiones	Definición	Indicadores	Escala de medición
CONDICIONES VULNERABLES PRESENTES EN EL PUENTE "LA VILLA". (X ₁)	ESCENARIO DE RIESGO E INSPECCIÓN DE LA ESTRUCTURA	Identificación de amenazas y peligros en la zona. Respuesta estructural del puente en diferentes escenarios.	- Tipo y material de elementos - Asentamiento - Nivel de cimentación - Registros de condición actual del puente. - Características (geométricas, estructurales)	- Cualitativa nominal. - mm - pulg - m - Cualitativa ordinal: Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo y pésimo
LÍNEA VITAL DE TRANSPORTE. (X ₂)	FACTORES QUE CONDICIONAN SU USO.	Funcionalidad del puente como medio de transporte.	- Índice Medio Diario Anual - Clasificación funcional	- Vehic/año - Cualitativa nominal.
MODELOS DE ANÁLISIS (X ₃)	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO	Determinación de los efectos de las cargas sobre la estructura y sus componentes.	- Geometría de la estructura - Cargas y sobrecargas - Dimensionamiento de dispositivos de drenaje, seguridad y tránsito; dispositivos auxiliares: barandas, veredas.	- m - Kgf, tonnef - m
	ESTUDIOS DE GEOTECNIA Y SISMO	Determinación de características geotécnicas y sísmicas en la zona.	- Clase de sitio y perfil de suelo - Tipo de suelo (clasificación SUCS) - Ángulo de fricción interna - Peso específico del suelo - Coeficiente aceleración	- Cualitativa ordinal - Cualitativa ordinal - ° - Kgf/m3 - g
	ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO.	Se establece características hidrológicas y factores hidráulicos del comportamiento hidráulico del río.	- Período de retorno - Caudal máximo - Estabilidad relativa del cauce - Geometría (secciones transversales, planta) - Área Inundable - Profundidad de Socavación y/o erosión.	- años - m3/s - Cualitativa nominal - m - m2 - m

1.6.2.2. De la variable dependiente.

A continuación, en la tabla 3, se detallan las variables de estudios con sus respectivos indicadores y referencias de medición correspondiente.

Tabla 3

Operacionalización de la variable dependiente, índice de vulnerabilidad estructural en el puente “La Villa” (y)

Variable	Dimensiones	Definición	Indicadores	Escala de medición
CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES (Y ₁)	SUPERESTRUCTURA	Elementos Portantes encargados de transmitir las cargas a la subestructura.	- Tipo - Material - Deformación: Criterío por Deflexión	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.
	SUBESTRUCTURA	Elemento encargado de transmitir cargas de la superestructura hacia el suelo o nivel superficial.	- Tipo de cimentación - Tipo de estribo - Material de la subestructura - Asentamiento - Tipo de Apoyos	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.
	OBRAS DE PROTECCIÓN, MUROS DE ENCAUSAMIENTO	Estructura de soporte lateral ubicada en márgenes del río próximos al puente.	- Tipo de material. - Nivel de cimentación. - Cimentación y protección frente a erosión.	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.
LA IMPORTANCIA DEL PUENTE (Y ₂)	INSTALACIONES DE SEGURIDAD Y TRÁNSITO.	Parámetros a considerar para determinar la importancia del puente.	- Señales de tránsito en ambos accesos hacia el puente. - Barandas. - Sardineles / Veredas. - Drenaje de calzada	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.
	CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO EN LA VÍA	Verificar las características de la vía.	- IMDA. - Volumen tráfico. - Relación capacidad demanda.	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.
	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	Condiciones que califican la funcionalidad del puente “La Villa”	- Según la naturaleza de la vía soportada, la demanda de tránsito y clase de carretera.	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.

Tabla 3

Operacionalización de la variable dependiente, índice de vulnerabilidad estructural en el puente “La Villa” (y) (Continuación)

VARIABLE	DIMENSIONES	DEFINICIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA (Y ₃)	CARACTERÍSTICAS DE GEOTÉCNIA	Evalúa los diferentes efectos de la geometría y características de la cimentación y la influencia del área	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clase de sitio y Perfil del suelo ▪ Período del suelo ▪ Propiedades para materiales de ingeniería: Ángulo de fricción del suelo, P.U. suelo, Cohesión. 	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.
	CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS	Condiciones sísmicas del entorno.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clasificación Según los fines del Diseño ▪ Criterio de regularidad. ▪ Período natural de la estructura. 	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.
	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS E HIDROLÓGICAS	Ref. a características. Hidrológicas de los regímenes de av. máximas y extraordinarias y comportamiento hidráulico del río.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Período de retorno. ▪ Estabilidad relativa del cauce. ▪ Área inundable. ▪ Erosión y socavación. 	Cualitativa ordinal: Poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable.

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

La propuesta alternativa de puente, reduce el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” ubicado en el distrito Moquegua, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua, 2017.

1.7.2. Hipótesis específicas.

Las características estructurales de la propuesta alternativa de puente reducen las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

La mejora de la transitabilidad de la propuesta de puente como línea de transporte, conforme a la importancia que representa, reduce las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

Las características de la zona presentes en el puente “La Villa” influyen en la idealización de modelos de análisis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Altamirano (2013) en su investigación “Evaluación del puente “El Quilo” ubicado en el km 17+200 de la vía Puyo-baños por el método AASHTO – LRFD y su incidencia en la seguridad estructural y vial”. Univ. Técnica de Ambato-Facultad de Ing. Civil y Mec. Ambato, Ecuador. El puente con trazado vial en curva horizontal concebido como puente recto se acopló el tablero e inclinó los estribos al peralte de la curva. Se concluye en apoyos inadecuados y esfuerzos elevados.

Rivera (2007) en la investigación “Evaluación simplificada de puentes de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos”, Centro de prevención de desastres-Subdirección de estructuras y geotecnia, México D.F., otorga la metodología simplificada que evalúa la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos; la obtención de funciones de vulnerabilidad relaciona el peligro sísmico y el daño físico.

Gómez, Barbat y Oller (2000), en su investigación: “Vulnerabilidad de puentes de autopista, un estado de arte”, Centro Internacional de Método numéricos en Ingeniería, Gran Capitán s/n, Barcelona España, define vulnerabilidad de estructuras como una escala para la prevención, costos y refuerzo de la estructura para la definición de riesgo sísmico y mitigación de daños por desastres naturales.

Maldonado, Casas y Canas (2000), en su investigación: “Modelo de Vulnerabilidad sísmica de puentes basado en “Conjuntos difusos””, Centro internacional de Método numéricos en Ingeniería, Gran Capitán s/n, Barcelona España, la vulnerabilidad en puentes con datos a partir de inventarios de estructuras y daños registrados ante efectos sísmicos son aplicables a la zona de estudio.

Corona, Meza y Ovando (1996), en su investigación de tesis: “Evaluación y propuesta de la estructura metálica del puente Cazones Poza Rica, Ver”, Universidad Veracruzana – Facultad de Ingeniería, Poza Rica-Ver, 1996, refiere al puente Cazones con deterioro de elementos estructurales e insuficiente capacidad de carga vehicular. Debido a la importancia que tiene se demanda su reparación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Índice de vulnerabilidad estructural en puente.

Se define “índice de vulnerabilidad estructural en puente-IVEP” como valor escalar del daño físico, relaciona el grado de vulnerabilidad por indicador y su importancia.

El IVEP Incluye factores principales que determinan la vulnerabilidad estructural de un puente; tiene referencia parámetros e indicadores de otros modelos existentes, adicionándose otros validados por juicio de expertos. El IVEP dependerá de tres dimensiones: características propias de la estructura, importancia que representa y las condiciones de la zona.

Es una herramienta útil en la evaluación del riesgo estructural; emplea un cuestionario tipo escala donde se califica cada indicador, el valor obtenido permite la identificación y prevención de riesgos, descartando estructuras vulnerables en riesgo con inexistente peligrosidad. La vulnerabilidad del puente será reducida con el diseño de nuevas estructuras o su refuerzo (Maldonado, Casas y Canas, 2000).

2.2.1.1. Caracterización del índice de vulnerabilidad estructural en puente.

Son características del Índice de Vulnerabilidad estructural en puentes:

- Es un instrumento tipo cuestionario.
- Exige reconocimiento del área de estudio.
- Medio preventivo de riesgo.
- Exige conocimiento de estructuras en puentes.
- Exige un control.
- Requiere para mayor precisión, evaluación de más de un especialista.

2.2.1.2. Metodología en la selección de parámetros.

Con referencia a la metodología desarrollada por Maldonado, Casas y Canas (2000), la identificación de parámetros más influyentes en la evaluación de la vulnerabilidad estructural de un puente se efectuó en base de tres pasos:

- El primer paso, determinar las dimensiones más influyentes en el daño estructural del puente a partir de diferentes componentes básicos de riesgo en metodologías como AASHTO, CALTRANS, etc.
- El segundo paso, identificación de los parámetros partir de las dimensiones, considerando el desempeño de elementos estructurales y no estructurales ante las acciones de riesgo que generen daños estructurales en el puente.
- El tercer paso, analizar metodologías existentes que involucran la evaluación de vulnerabilidad de puentes en sus parámetros más relevantes.
- El cuarto paso, de una primera selección de parámetro continuar con la opinión de expertos en el tema e identificación de parámetros a evaluar en el cuestionario tipo escala IVEP.

2.2.1.3. Dimensiones, parámetros e indicadores del modelo.

El modelo desarrollado tiene tres dimensiones: características estructurales, características de zona e importancia del puente.

Características estructurales, comportamiento de elementos estructurales por acciones externas que arriesgan la integridad y funcionamiento del puente.

Importancia del puente, relaciona las características del tránsito como la demanda vehicular, clasificación funcional con proyección al tiempo de servicio.

Las características de zona, considera condiciones definidas por los estudios básicos de ingeniería, que describen el entorno del puente.

A partir de parámetros e indicadores electos con el estudio modelos antecedentes y recopilación de la investigación realizada, se definieron por aportes y experiencia de ingenieros especialistas en el área de estructuras.

2.2.1.4. Descripción del modelo.

El modelo desarrollado en esta investigación tiene como referencia la investigación de Maldonado, Casas y Canas (2000); se describe la información influyente en la expresión cuantitativa del “Índice de Vulnerabilidad Estructural en puente - IVEP”. Se identifican dimensiones y sus parámetros son desglosados en indicadores que influyen en el daño estructural del puente bajo condiciones de servicio; existe relación de estos parámetros, indicadores con sus valores de importancia.

A partir de estudios realizados como experiencias de fallas comunes en puentes, estudios de modelos existentes, parámetros de las principales normas empleadas en el Perú y la opinión de expertos, se realizó la selección de parámetros e indicadores por cada dimensión. El indicador seccionado se calificó mediante escala de condiciones de calidad de “A” a “E”.

La calificación de condiciones de calidad de indicadores seleccionados y valores de importancia de cada uno según parámetros en la determinación de vulnerabilidad estructural total del puente se realizó mediante opiniones de expertos y valores de importancia considerados en AASHTO CALTRANS.

- El “Índice de vulnerabilidad estructural de puente”- IVEP, es determinado con la [Ecuación 1:

$$IVEP_n = \sum W_{1,j,k}K_{1,j,k} + \sum W_{2,j,k}K_{2,j,k} + \sum W_{3,j,k}K_{3,j,k} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

- El peso por indicador “i, j, k” será calculado por la ecuación 2:

$$W_{i,j,k} = \frac{C_{i,j,k} \times W_{i,j}}{\sum C_{i,j,k,p}} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

- El peso por parámetro “i, j” será determinado por la ecuación 3:

$$W_{i,j} = \frac{C_i \times W_i}{\sum C_i} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

- El peso por dimensión “i” será calculada por la ecuación 4:

$$W_i = \frac{\sum C_{i,p}}{\sum C_i} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

- La medida del grado de vulnerabilidad de cada condición de calidad presentada por indicador según el parámetro y su dimensión se expresa por la ecuación 5:

$$K_{i,j,k} = \frac{V_{p-i,j,k}}{\sum V_{p-i,j,k}} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

2.2.1.5. Procedimiento del cálculo de índice de vulnerabilidad estructural-IVEP.

El cálculo del peso promedio para la evaluación del IVEP consistió, en traslación de variables de calificación por condición de calidad de parámetros con la definición de funciones de pertenencia, expuesta más adelante. Conversión de variables de importancia de cada parámetro a valores escalares constantes, a partir de opinión y valoración de expertos. Combinación de variables de calificación y valores escalares constantes de importancia, obteniendo el denominado IVEP.

El IVEP, involucró la definición de funciones de pertenencia de los parámetros por indicador según su dimensión; la condición de calidad según su vulnerabilidad se verifica gráficamente y se asigna un valor escalar.

Los pesos asignados a cada parámetro e indicador, determinan un valor escalar normalizado distribuido en las tres dimensiones, indicador y parámetro, corresponderá un valor total de uno representando el 100 %.

La definición de valores y evaluación, se ejecuta con excel, involucrando funciones de pertenencia a partir de opiniones de expertos y modelos antecedentes.

2.2.1.6. Variables utilizadas.

El cálculo del índice de vulnerabilidad estructural de puente - IVEP define variables lingüísticas que describen grados de vulnerabilidad mediante la opinión de expertos, calificando cada condición de calidad impuesta a cada parámetro; asociándosele a cada función de pertenencia un grado de vulnerabilidad.

Estas variables son “nada”, “poco”, “medianamente”, “muy” y “absolutamente” vulnerable, asignándose un valor numérico por variable, en una escala entre 0 y 9 para identificar el grado de vulnerabilidad. Los valores relativos al grado de vulnerabilidad representada por conjuntos difusos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4
Representación de conjuntos difusos de grados de vulnerabilidad.

Grado de vulnerabilidad	Clasificación	Escala de valores	Representación conjunto difuso
Nada vulnerable	A	0	$\{(1 0), (0 0)\}$
Poco vulnerable	B	3	$\{(0 0), (1 3), (0 5)\}$
Medianamente vulnerable	C	5	$\{(0 3), (1 5), (0 7)\}$
Muy vulnerable	D	7	$\{(0 5), (1 7), (0 9)\}$
Absolutamente vulnerable	E	9	$\{(0 7), (0 9)\}$

Fuente: Adaptado de monografía CIMNE IS-40 2000 (Maldonado, Casas y Canas, 2000)

La representación, $y = \{m(x), x\}$; $m(x)$ denota el grado de pertenencia x , universo de vulnerabilidad del puente en conjuntos difusos. Las funciones de pertenencia de variables que definen el grado de vulnerabilidad del puente se toma del universo formado por valores 0,3,5,7,9 para representar la cantidad de interés. Las funciones de pertenencia con sus variables lingüísticas se observan en figura.



Figura 9. Representación de funciones de pertenencia de los grados de vulnerabilidad

Fuente: En referencia de monografía CIMNE IS-40 2000 (Maldonado, Casas y Canas, 2000)

2.2.1.7. Cuestionarios realizados a expertos.

Identificadas las dimensiones, parámetros, indicadores y condiciones de calidad, se calificó cada parámetro por medio de cuestionarios, considerando la opinión de expertos del tema y valores estimados en otros modelos. Se elaboró dos cuestionarios, breves, concisos y claros, presentados como tablas que faciliten y organicen la respuesta e información sin perder el sentido de la pregunta.

El primero determina la importancia de dimensiones (K_i) entre parámetros ($K_{i,j}$) e indicadores ($K_{i,j,k}$) en la vulnerabilidad total del puente con “nada”, “regular”, “moderada” y “máxima” importancia. El segundo compara el grado de vulnerabilidad de cada clasificación A; B; C; D; E en sus condiciones de calidad.

2.2.1.8. Construcción de funciones de pertenencia.

Las funciones de pertenencia se construyeron a partir de datos de cuestionarios realizados a expertos, la forma gráfica de las funciones es triangular o trapezoidal. A continuación, se presenta la forma de obtención de la función de pertenencia del indicador “1.1.3 Deformaciones: Criterio por deflexión” y posteriores ajustes necesarios.

2.2.1.9. Ejemplo de cálculo de una función de pertenencia.

Del indicador “1.1.3 Deformaciones: Criterio por Deflexión”, determinamos las funciones de pertenencia en sus condiciones de calidad “1;”, “2;”, “3;” y “4;”. El grado de vulnerabilidad varía en una escala entre 0 y 9, donde 0 “nada vulnerable”, 3 “poco vulnerable”, 5 “medianamente vulnerable”, 7 “muy vulnerable”, 9 “absolutamente vulnerable”. Los encuestados eligieron entre valores 0, 3, 5, 7 y 9.

Las respuestas en valores entre 0 y 9, se ajusta a escala de 0 a 1 al dividir el número de respuestas favorables entre el total de encuestados, ver tabla 5.

Tabla 5

Respuestas favorables entre número total de encuestados del indicador 1.1.3 Deformaciones: criterio por deflexión.

Clas/val	0	3	5	7	9
1;	0,40	0,60	0,00	0	0
2;	0,00	0,40	0,60	0	0
3;	0,00	0,00	0,40	0,60	0,00
4;	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80

Los valores de clasificación 1; 2; 3; y 4 se normalizan a 1, véase la tabla 6.

Tabla 6

Valores normalizados a “1” del indicador 1.1.3 Deformaciones: criterio por deflexión.

Clas/val	0	3	5	7	9
1;	0,667	1	0	0	0
2;	0	0,667	1	0	0
3;	0	0	0,667	1	0
4;	0	0	0	0,25	1

Finalmente, las funciones de pertenencia del indicador “1.1.3 Deformaciones: Criterio por deflexión”, se construyen de valores para las clasificaciones 1; 2; 3; y 4; el gráfico dispersión de líneas en figura 10, herramienta del software excel, es la representación gráfica de las funciones de pertenencia.

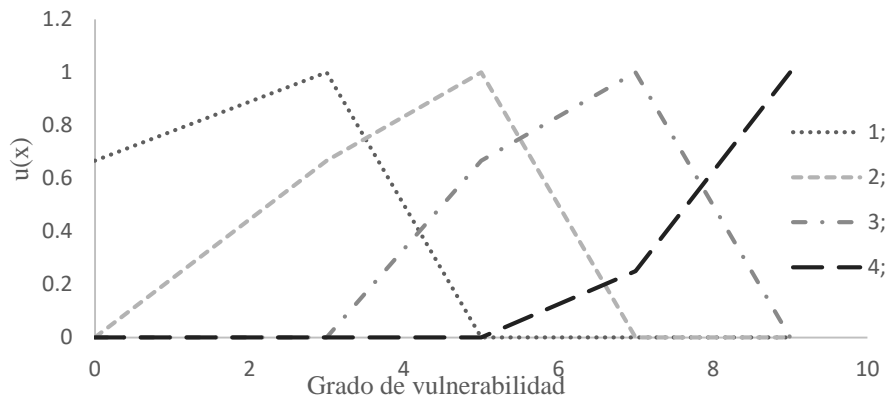


Figura 10. Función de pertenencia, clasificaciones 1; 2; 3; y 4; del indicador “1.1.3 Deformaciones: criterio por deflexión”.

La definición de las funciones de pertenencia para el indicador “1.1.3 Deformaciones: Criterio por deflexión” en los pasos antes descritos, es el procedimiento estándar para construir todas las funciones de pertenencia de las clasificaciones de otros parámetros en sus valores de importancia.

2.2.1.10. Corrección de funciones de pertenencia.

La subjetividad y ambigüedad de respuestas en la opinión de expertos en grados de “poco” a “medianamente” vulnerable de la construcción de funciones de pertenencia, requirió de replanteo y corrección con la comparación de las opiniones con respuestas esperadas respecto al grado de vulnerabilidad.

2.2.1.11. Calibración del modelo.

Para la calibración del modelo IVEP se evaluó tres puentes, el puente “La Villa” actual, puente tipo losa con vigas pretensadas y el puente viga cajón; estos puentes son convencionales, se recomienda pulirse aplicándose a otras estructuras.

2.2.2. Propuesta alternativa de puente.

2.2.2.1. Condiciones vulnerables presentes en el puente “La Villa”.

a. Escenario de riesgo.

a.1. Reseña histórica del puente “La Villa”.

Antes de 1540 se edificó por españoles la primera iglesia en Escapagua y la zona obtuvo el nombre del patrono de la iglesia "San Sebastián de Escapagua", que obedecía a la Audiencia de Lima, por su parte los del valle de Moquegua estaban bajo jurisdicción de la Audiencia de Charcas (Kuon Cabello, 1981).

Por la descensión entre jurisdicciones, por sugerencia del Almirante Juan de Olea y Medina, el 27 de marzo de 1618 el XII Virrey funda “La Villa San Francisco de Esquilaque” y la orden "donde se han de recoger todos los españoles que viven en el valle de Moquegua, así como una parte como de la otra del río”, que acrecentó disensiones en vecinos y expuesto por Juan de la Raya y Juan de Arriola, el Virrey condescendió en mantener las poblaciones (Kuon Cabello, 1981)

Siete años hubo pleitos por ser capital; en Abril de 1625, el Virrey Don Diego Fernández de Córdova falló a favor de Valle de Moquegua de título "Villa Santa Catalina de Guadalcazar, valle Moquegua, provincia Colesuyos". Tras la destrucción de la Iglesia “San Sebastián” (1630 y 1655) el sector despoblándose fue llamado “Villa Vieja”, y después "Alto de la Villa" (Kuon Cabello, 1981).

El 13 de Agosto de 1868 hubo un terremoto de intensidad Grado XI y un tsunami. Según el historiador Toribio Polo (1904), uno de los mayores en el Perú desde su conquista (INDECI, 2006). Moquegua registró daños cuantiosos y pérdidas Humanas; respecto a estructuras se dice “La mitad de las viviendas no quedaron en Pie” (Cisneros Luciano Benjamin , 1868).

En respuesta, el presidente José Balta propuso la construcción del Ferrocarril de Ilo a Moquegua, con estación terminal en "Alto de la Villa", iniciándose la construcción en 14 febrero de 1871 y concluyendo en Diciembre de 1872 (Kuon Cabello, 1981).

La ubicación de la estación de ferrocarril impulsó la construcción de un puente que conectara a la población de Moquegua dividida en 2 poblaciones, “Villa de San Francisco de Esquilache” y la “Villa de Santa Catalina de Guadalcazar”, en el sector el Rosal que después fue paralizado y sustituido con un puente de madera con “Machones” ya construidos, la ubicación del puente original se trasladó a un sector denominado “el Majuelo”. En 1877 Petot y Cía construyen el “puente Balta” con características de acero-ferro, ver figura 11, sustituido en 1968 por otro de doble anchura y de características similares (Kuon Cabello, 1981).

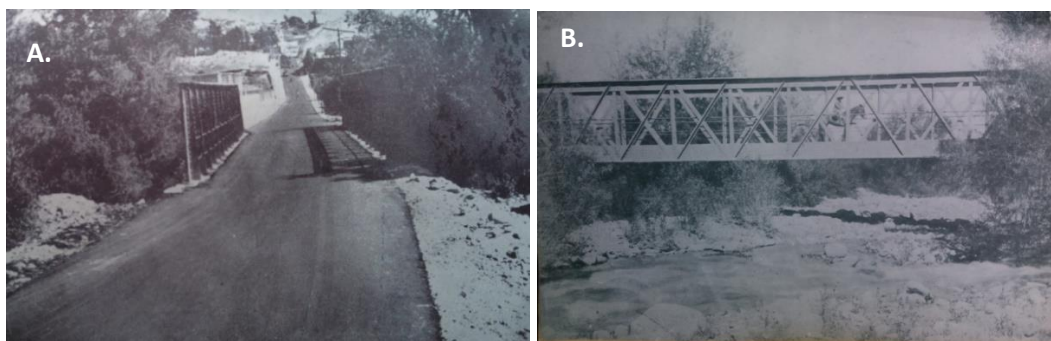


Figura 11. Camino a la Villa Vieja (derecha). El puente Balta de fierro 1992 (izquierda).

Fuente: A. Retazos de la Historia de Moquegua (Kuon Cabello, 1981), B. “Pequeña Antología de Moquegua” (Pinto, 1987).

b. Identificación de amenazas o peligros.

El Perú con su corriente peruana, cordillera de los andes, topografía accidentada y geomorfología variada se expone a peligros como sismos, deslizamientos, derrumbes, erosión, precipitaciones, vientos, granizadas y heladas, etc (INDECI, 2006). Entre 2006-2008 SINADECI e INDECI (INDECI, 2009) cuantificaron emergencias ocurridas por departamento. Ver tabla 7.

Tabla 7*Emergencias por departamento: acumulado 2006-2008.*

DEPART.	TOTAL DPTO.	ORÍGEN O CARACTERÍSTICA DE LA EMERGENCIA				
		GEODIN.		METEOROLÓG.	ORIGEN	TECNOLÓGICO
		EXT.	INT.	OCEANOGRÁFIC.	BIOLÓG.	
Amazonas	579	99	2	301	10	167
Ancash	263	22	2	156	0	83
Apurímac	1.714	129	28	1.202	5	350
Arequipa	441	5	15	367	0	54
Ayacucho	731	109	16	430	0	176
Cajamarca	1.027	176	0	670	0	181
Callao	111	5	2	6	0	98
Cusco	927	112	7	457	3	348
Huancavelica	472	49	51	253	0	119
Huánuco	1.046	310	5	397	0	334
Ica	113	6	54	24	3	26
Junín	306	42	5	151	0	108
La Libertad	162	38	1	78	5	40
Lambayeque	146	11	0	89	3	43
Lima	889	151	73	49	0	616
Loreto	922	58	0	245	1	618
Madre de Dios	66	11	0	27	0	28
Moquegua	345	16	16	254	0	59
Pasco	375	109	5	194	0	67
Piura	648	73	0	324	3	248
Puno	815	45	1	525	0	244
San Martín	440	9	0	232	0	199
Tacna	128	5	4	93	0	26
Tumbes	175	6	0	124	0	45
Ucayali	731	50	1	250	0	430
TOTALES	13.572	1.646	288	6.898	33	4.707

Fuente: Carlos Oliva Neyra, informe final presupuesto evaluado (INDECI, 2009)

En Moquegua, 73,623 % de emergencias son fenómenos meteorológicos (ingreso de avenidas), 17,101 %, emergencias tecnológicas (incendios), en el mismo porcentaje procesos de geodinámica externa (deslizamientos, derrumbes, inundaciones) e interna (sismos) con 4,638 %. Los principales tipos de peligros en la zona de estudio se muestran en la tabla 8.

Tabla 8

Principales tipos de peligros en la zona de estudio de acuerdo a su origen.

Origen del peligro	Peligro	Descripción
Geodinámica interna	Sismos	Moquegua próxima a convergencia de placas de Nazca y América del Sur es afectada por movimientos sísmicos desde la antigüedad. Desde 1582, el sur del país registró sismos con magnitudes superiores a 8 grados en escala de Richter con consecuencias graves hasta el centro del Perú. El 13 de agosto de 1868 hubo un sismo de grado 8.6 desde entonces hay un silencio sísmico (IGP, 2002).
	Precipitaciones pluviales.	Fenómeno presenta en períodos de lluvias que generan caudales extraordinarios de agua y escurrimiento superficial, que desgastan la ribera o cauce natural del río y propicia la inundación de áreas agrícolas/urbanas etc. Los factores que coadyuvan este fenómeno la pendiente de cauce, material de arrastre vegetales, rocas arena y falta de vegetación ribereña (GRM, 2011).
Geodinámica externa	Derrumbes o desprendimientos	Son movimientos o traslado de masas condicionados al fracturamiento de rocas, suelo y la pendiente de taludes escarpados, laderas socavadas en su base, taludes de carreteras, acantilados precipitados en dirección de la pendiente en caída libre o rebotando por muchos lugares que causan pocas muertes o daños, colectivamente son altamente peligrosos (GRM, 2011).
	Inundaciones	En quebradas y ríos de moderada a fuerte pendiente; se presentan con lluvia estacional eventual o periódica, relacionados con las variaciones climáticas como el fenómeno El Niño. Se producen por desbordes de los cauces naturales de las aguas de ríos, cubren temporalmente las áreas adyacentes de cultivos, ciudades etc. (GRM, 2011).
	Erosión de riberas	El Centro de Estudios y Prevención de Desastres-PREDES, identifica el riesgo de erosión en riberas en ambos márgenes de ríos Tumilaca, Moquegua, Torata y Huaracane. Entre los puentes “Tumilaca” y “La Villa” se afecta campos de cultivo, instalaciones de agua potable, canales de regadío, infraestructura vial, la universidad privada UJCM (PREDES, 2003).

Fuente: Adaptado de peligros de la ciudad de Moquegua (Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa [UNSA], 2001).

c. *Historial de las amenazas o peligros.*

Los eventos identificados de geodinámica interna y externa se muestran la tabla 9, tabla 10 y tabla 11, resumen la sismicidad, el fenómeno del niño y avenidas 2015.

Tabla 9
Sismicidad histórica resaltante en la ciudad de Moquegua.

Fecha del evento	Descripción
18 de setiembre de 1833 a las 05:45 horas	Ocasionó la destrucción de Tacna y grandes daños en Moquegua, Arequipa, Sama, Arica, Torata, Locumba e Ilabaya; murieron 18 personas; sentido en La Paz y Cochabamba, en Bolivia.
13 de agosto de 1868 a las 16:45 horas	De grado XI de intensidad y tsunami, fue según Toribio Polo (1904) el mayor en Perú desde su conquista. Ocasionó destrucción en Arica, Tacna, Moquegua, Ilo, Torata, Iquique y Arequipa.
09 de mayo de 1877 a las 20:28 horas	Perjudica poblaciones de Ilo, Arica, Mollendo y otras. Además un tsunami que inundó el puerto de Ilo y destruyó parte del ferrocarril.
11 de mayo de 1948 a las 13:56 horas	Afectó parte de Arequipa, Moquegua y Tacna, con efectos destructores máximos en un área aprox. de 3,500 km ² y saldo de un muerto y 66 heridos. Moquegua la intensidad fue de VII. Daños en construcciones antiguas no reparadas de los temblores previos. Torata, Quinistaquillas, Quellaveco sufrieron daños leves.
19 de julio de 1959 a las 10:07 horas	Alcance en Arequipa, Moquegua, Cusco, Puno, Tacna y en el Norte de la república de Chile hasta Antofagasta. Ocasionó algunos daños en las torres de templos de Moquegua,
23 de junio de 2001 a las 20:33:14.13 horas ver Figura 12.	Las ciudades afectadas fueron Moquegua, Tacna, Arequipa, valle del Tambo, Caravelí, Chuquibamba; Ilo y Camaná por un tsunami. En la zona epicentral este movimiento alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.
01 de octubre de 2005 a las 12:19 horas	En el distrito de Omate con una profundidad de 14 Km y magnitud 5.4 de la Escala de Richter, registrándose daños personales en el distrito de San Cristóbal: 469 familias damnificadas y 311 afectadas; en Cuchumbaya, 02 familias damnificadas y 68 afectadas. También se registraron 471 viviendas destruidas y 379 afectadas.

Fuente: Adaptado de sismos ocurridos en el Perú a través del tiempo (INDECI, 2006)

El fenómeno del “El Niño” en Moquegua acontece, sin registros detallados de efectos o daños causados. Su incidencia fue por el aumento de precipitación pluvial o sequías generadoras de cuantiosas pérdidas, ver tabla 10.

Tabla 10
Efectos del fenómeno "El Niño" en Moquegua.

Fecha del evento	Descripción
Entre 1982-83	La sequía, ocasionó pérdidas en el sector agropecuario en el 40% de la producción de la Región Moquegua.
En 1997 se genera altas precipitaciones con daños por la crecida de ríos e inundación de áreas agrícolas. Ver figura 13	- 2,164 has de terrenos agrícolas afectados, 524 has de tierras arables destruidas, 585 viviendas afectadas, 707 familias damnificadas, 4 personas fallecidas - Destrucción de 162 Km. de carretera y tres puentes dañados. - 1160 animales muertos: 315 vacunos, 165 ovinos, 215 caprinos y 465 porcinos. Daños cuantificados 22,066,782 nuevos soles
El año 1998-1999, evidenciada en la región en enero, precipitaciones altas, incremento de caudal.	- 360 familias damnificadas, 57 viviendas afectadas: 23 dañadas y 34 destruidas, 02 personas fallecidas. - 14.4 Has de terrenos agrícolas destruidos, 301.6 Km. de carreteras dañadas y 3.5 Km. de carretera destruidas en la región. - 1120 Km. de canal de riego y 20 bocatomas destruidas. Daños cuantificados 3'219,300 nuevos soles.

Fuente: Adaptado de informes de la Autoridad local del Agua (ANA, 2016).

El 15 de febrero del 2015, intensas lluvias torrenciales en el distrito de Torata provocaron el incremento del caudal del río Tumulaca en el malecón ribereño, detalles gráficos en la Figura 14, llevando gran cantidad de lodo y piedras, dejando la infraestructura del sector muy dañada como se describe en tabla 11.

Tabla 11
Diagnóstico y efectos de ingreso de avenida 15 de febrero del 2015.

Elemento	Descripción de condición
Muros de contención y defensas ribereñas	Colapso y destrucción de aprox. 1,70 km de muros de sostenimiento vial que representa el 48% de la longitud del tramo puente "El Tucumán" km 0+000 al puente "El Rosal" km. 3+550; expuestos y debilitados, altamente vulnerables a nuevos ingresos del río.
Pavimento base y sub base	Colapso y destrucción de base y sub base del pavimento, incluyendo el material de relleno utilizado para su conformación y la plataforma asfáltica incluyendo los sardineles de la berma central y veredas laterales.
Redes de agua, desagüe y alcantarillado.	Destrucción de alcantarillas, redes de agua y desagüe, buzones instalados, obras de arte menores y redes de energía eléctrica como la caída de algunos postes en tramos dañados en tramos afectados.
Accesos y señalización.	Pérdida de los elementos de Señalización de protección como los guardavías.

Fuente: Adaptado de la ficha técnica del IVP.



Figura 12. Fotografías de daños ocasionados en terremoto del 23/07/2001.

Fuente: Plan regional de educación comunitaria en gestión del riesgo desastres, Moquegua GRM 2011.



Figura 13. A. Efectos sobre puentes por fenómeno del niño (martes 04 de marzo del 1997), B. Condiciones expuesta vulnerable puente “La Villa”, miércoles 05 de marzo del 1997.

Fuente: Diario Correo, Tacna 1997.



Figura 14. Acción erosiva en base del muro sostenimiento aguas arriba puente Villa (derecha), Condiciones expuesta vulnerable muro encauzamiento aguas abajo puente “La Villa”, domingo 15 de febrero del 2015 (izquierda).

Fuente: Ficha técnica IVP-MPMN, 2015.

d. Influencia de condiciones locales de la zona.

Los estudios básicos de ingeniería definen características geotécnicas, geológicas, topográficas, hidrológicas, hidráulicas, tráfico, impacto ambiental del área del puente la Villa”, considerando el manual de diseño de puentes del año 2016.

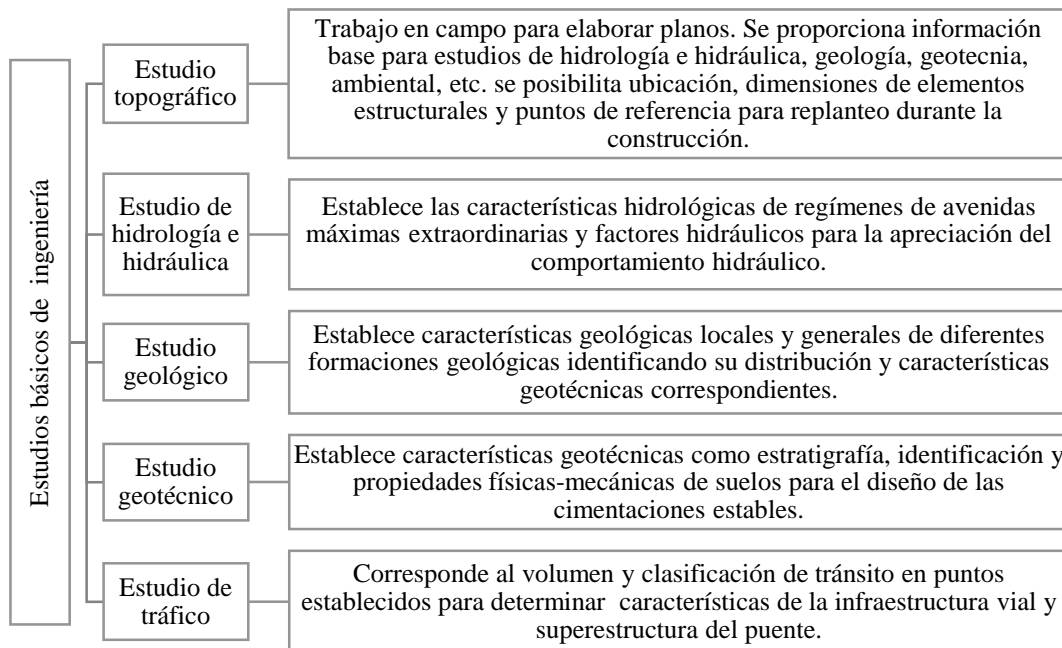


Figura 15. Esquema de estudios de ingeniería básica.

Fuente: Adaptado de Manual de Puentes (MTC, 2016)

La zona de estudio por influencia desestabilizante de agentes hidrológicos como aguas fluviales y pluviales, filtraciones, y agentes movimientos en masa sean aluviones, derrumbes y asentamientos, generan problemas de erosión y socavación.

El estudio de geología a nivel regional y local se resume en tablas de Unidades Geomorfológicas, describiendo y caracterizando componentes del área.

El estudio de tráfico refiere ubicación, descripción de demanda vehicular, características de tráfico, volumen e índice medio diario Anual IMDa.

El estudio de impacto ambiental identifica de condiciones desfavorables durante la construcción de la propuesta de puente, resumiendo factores sociales, económicos, físicos y bióticos.

e. Inspección del puente existente.

e.1. Características del puente.

La inspección del puente, estudios previos y topográfico definen el perfil, planta elevación del puente, ancho de carriles, longitud de berma, ancho de vereda y total

e.2. Tipo y materiales de los elementos.

Las características como el material y tipo de cada componente se determinan como valores estandarizados en el diseño de puentes, debido a falta de información.

e.3. Asentamiento y deformación.

Se identifica cargas sobre estribos y superestructura del puente sean muertas, sobrecargas transitorias, vehiculares; generadoras de asentamiento y deformación.

e.4. Nivel de cimentación

Constituye la profundidad de la cimentación del estribo del puente, verificándose si supera el nivel de socavación determinado al 2017.

2.2.2.2. Línea de transporte

a. Estudio de tráfico.

Define volumen futuro de vehículos en el puente y vías adyacentes, cuantificando y clasificando tipos de vehículos. La metodología de trabajo en campo evalúa el tránsito existente y determinar el IMDa, IMDs de la muestra vehicular tomada.

b. Seguridad Vial.

Incluye mejorar la seguridad vial con actividades requeridas de prevención y corrección en la seguridad vial (MTC, 2014)

c. Historial de planes de mantenimiento, conservación

No se registra planes de mantenimiento facilitados por la Municipalidad Mariscal Nieto quien está a cargo del área de estudios y mantenimiento, previa solicitud.

2.2.2.3. Modelos de análisis

Se complementó estudios básicos realizados con el modelamiento del puente existente y alternativas planteadas que consiste el diseño estructural con un análisis estático considerando la geometría, cargas, desplazamiento de elementos estructurales con el uso del software SAP2000 20 y CSI BRIDGE.

a. Análisis Estructural y diseño.

El análisis estructural emplea el método de desplazamientos y fuerzas considerando la compatibilidad y relaciones esfuerzo-deformación de materiales; las cargas, geometría y comportamiento estructural elástico.

a.1. Generalidades.

Los puentes son diseñados considerando el obstáculo a salvar ante el curso de agua y para su desempeño en su vida útil. La tabla 12 muestra tipos de superestructuras.

Tabla 12
Rango de luces según el tipo y material de estructura.

Tipo de estructura	Material	Rango de luces (m)
Losa	C. Armado	0 - 12
	C. Preesforzado	10 - 40
Vigas	C. Armado	12 - 25
	C. Preesforzado	25 - 325
	Acero	30 - 300
Arco	Concreto	80 - 390
	Acero	130 - 400
	Acero Reticulado	240 - 520
Reticulado	Acero	100 - 600
Atirantado	Concreto	50 - 450
	Acero	100 - 1000
Colgante	Acero	300 - 2000

Fuente: Puentes, análisis diseño y construcción, American Concrete Institute [ACI] del capítulo de estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería [UNI], Lima 1993.

El Manual de diseño de puentes los clasifica de diferentes maneras (MTC, 2016), como se muestra en la figura 16:

CLASIFICACIÓN DE PUENTES

A Según la naturaleza de la vía.	Puentes para carretera, para ferrocarril, para trenes eléctricos de pasajeros, para acueductos, puentes para peatones.
B Según el Material.	Puentes de piedra, madera, sogas, hierro, acero, concreto armado, concreto preesforzado, y últimamente de materiales compuestos (fibras de vidrio, fibras de carbón, etc.).
C Según el sistema estructural principal.	<p>C.1 Los Puentes Tipo Viga: De tramos simplemente apoyados, tramos isostáticos tipo gerber o cantiléver, tramos hiperestáticos o continuos.</p> <p>C.2 Los Puentes en Arco: De muy diversas formas, de tablero superior, intermedio o inferior, de tímpano ligero,relleno o tipo bóveda.</p> <p>C.3 Los Puentes Suspendidos: Como son colgantes, atirantados o una combinación de ambos sistemas.</p>
D Según forma de la geometría en planta.	<p>Son rectos</p> <p>Esviados</p> <p>Curvos</p>
E Según posición respecto a la vía.	Se clasifican como pasos superiores y pasos inferiores.
F Según el Tiempo de Vida Previsto.	<p>F.1 Puentes Definitivos: diseñados para una vida en servicio de 75 años, se debe dar preferencia a esquemas estructurales con redundancia, ductilidad, mayor durabilidad y facilidad de mantenimiento.</p> <p>F.2 Puentes Temporales: aquellos cuya utilización debe ser por un tiempo limitado no mayor de 5 años.</p>
G Según la demanda de tránsito y clase de la carretera.	El Diseño Geométrico DG - vigente, según la función de la demanda de tránsito como: Autopistas de Primera Clase, Autopistas de Segunda Clase, carreteras de 1ra. Clase, de 2da. Clase, de 3ra. Clase y Trochas Carrosables.
H Según importancia operativa.	<p>Puentes Importantes.</p> <p>Puentes Típicos.</p> <p>Puentes relativamente menos importantes.</p>
I Clasificación para fines del diseño sísmico.	<p>I.1 Puentes Esenciales. deberían, como mínimo, estar abiertos para vehículos de emergencia o para fines de seguridad y/o defensa inmediatamente después del sismo de diseño, <i>con un periodo de retorno de 1000 años.</i></p> <p>I.2 Puentes Críticos. abiertos para el tránsito de todo tipo de vehículos despues del sismo de así como vehículos de emergencia para seguridad y/o defensa después de un gran sismo, por ejemplo, <i>un evento de periodo de retorno de 2500 años.</i></p> <p>I.3 Otros puentes.</p>

Figura 16. Clasificación de puentes según MTC, 2016.

a.2. *Condiciones de carga y sobrecarga*

- *Carga permanente.*

Incluye el peso de componentes de la estructura como armadura, tablero, vigas transversales, accesorios, uniones, superficie de desgaste, etc.

Por ausencia de información del proyecto, las densidades de materiales son especificados en la tabla 13, extraída del manual de puentes del MTC.

Tabla 13
Pesos específicos de materiales.

Material		Unidad de Peso γ (kcf)
Aleaciones de aluminio		0,175
Superficies de desgaste bituminosos		0,140
Hierro fundido		0,450
Relleno de ceniza		0,060
Arena, limo o arcilla compactado		0,120
Concreto	Ligero	0,110
	Liviano	0,120
	Con peso normal $f'c \leq 5,0$ ksi	0,145
	Con peso normal $5,0 < f'c \leq 15,0$ ksi	$0,140 + 0,001f'c$
Arena, limo o grava suelto		0,100
Arcilla blanda		0,100
Laminados grava, macadam, o de lastre		0,140
Acero		0,490
Mampostería de piedra		0,170
Madera	Dura	0,060
	Blanda	0,050
Agua	Dulce	0,0624
	Salada	0,0640
Rieles de tránsito, unión y fijación por pista		0,200
Artículo	Peso por unidad de longitud (klf)	

Fuente: Adaptado de manual de puentes (MTC, 2016).

- *Carga viva.*

La carga vehicular asignada por la AASHTO-LRFD fue el camión HL-93, la tabla 14 muestra las características presentes.

Tabla 14*Características de camión de diseño HL-93.*

Descripción	Unid	Valor
Peso en cada rueda eje delantero	ton	3,57
Peso en cada rueda eje intermedio	ton	14,78
Peso en cada rueda eje posterior	ton	14,78
Peso total del camión de diseño	ton	66,26
Separación longitudinal entre eje delantero e intermedio	m	4,30
Separación longitudinal entre eje intermedio y posterior	m	4,30 a 9,00
Separación transversal de ruedas	m	1,80

Fuente: Manual de puentes (MTC, 2016)

La sobrecarga del carril de diseño es distribuida en dirección longitudinal con un valor de 0,954 tn/m; transversal se supone distribuida en ancho de 3,00 m. La sollicitación del carril de diseño no considera incremento por carga dinámica.

La presencia de vehículos se idealizado con camiones de carga pesados de dos y tres ejes; el congestionamiento vehicular sobre el puente es simulado con carga distribuida equivalente con eje de cargas concentradas.

- *Carga de impacto o efecto dinámico de la carga viva.*

Los efectos estáticos del camión o tándem de diseño a excepción de las fuerzas centrífugas y frenado deberán amplificarse según porcentajes de la tabla 15.

Tabla 15*Incremento de la carga viva por efectos dinámicos.*

Componente	IM (%)
Elementos de unión en el tablero, para todos los estados límite.	75%
Para otros elementos	Estados límite de fatiga y fractura
	Otros estados límite
	33%

Fuente: Manual de puentes (MTC, 2016)

El incremento por factor de carga dinámica es 33 %; para verificar sollicitaciones extremas variar entre 4,30 y 9,00 m. El factor a aplicar a la carga

estática se tomará como $1+IM/100$. El incremento por carga dinámica no se aplicará a cargas peatonales o carga de carril de diseño uniformemente repartida.

- *Fuerza longitudinal de frenado (BR).*

La fuerza de frenado en vehículos es elegido como el mayor valor entre 25 % de los pesos por eje del camión de diseño o tándem de diseño, o 5 % del peso del camión o tándem de diseño de diseño más la carga del carril.

La fuerza de frenado ubicado en todo carril de diseño de ser cargado con tráfico en la misma dirección. Las fuerzas horizontales ubicadas a 1,80 m de la superficie de calzada en cualquier dirección longitudinal. Los carriles de diseño serán cargados a la vez si se prevé futuro tráfico en una dirección (MTC, 2016).

- *Cargas de viento (W).*

La AASHTO LRFD considera la velocidad básica del viento $V_B = 100 \text{ mph}$ (160 km/h), permitiendo una presión base P_B cuyo valor se especifica en la tabla 16, así la presión de diseño P_D en MPas es calculada por la ecuación 6.

$$P_D = P_B * \frac{V_{DZ}^2}{25600} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Tabla 16

Presiones base del viento P_B correspondiente a $V_B=160\text{km/h}$.

Componente Estructural	Presión por Barlovento (Mpas)	Presión por Sotavento (Mpas)
Reticulados, Columnas y Arcos	0,024	0,012
Vigas	0,024	NA
Superficies de pisos largos	0,019	NA

Fuente: Manual de Puentes (MTC, 2016)

- *Carga peatonal*

La normativa distribuye esta carga en la sección longitudinal del puente como carga lineal obtenida de la carga superficial de $0,9 \text{ KN/m}^2$ (400 kgf/m^2) por ancho de acero empleado por peatones, con un valor de 0.58m

a.3. Factores de carga y combinaciones de carga

Los factores de carga incrementan el valor real considerando así incertidumbres al estimar magnitudes de cargas vivas y muertas. Ver tabla 17, 18 y 19.

Tabla 17
Combinaciones de carga y factores de carga.

Combinación de Cargas Estado Límite	DC	DD	DW	LL	EH	IM	EV	CE	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	EQ	BL	IC	CT	CV
<i>Resistencia I</i> A menos que se especifique lo contrario	γ_P	1.75	1,00	-	-	1,00	0,50 /1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Resistencia II</i>	γ_P	1.35	1,00	-	-	1,00	0,50 /1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Resistencia III</i>	γ_P	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50 /1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Resistencia IV</i>	γ_P	-	1,00	-	-	1,00	0,50 /1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Resistencia V</i>	γ_P	1,35	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50 /1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Evento extremo I</i>	1,00	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-
<i>Evento extremo II</i>	γ_P	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>Servicio I</i>	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00 /1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Servicio II</i>	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00 /1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Servicio III</i>	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00 /1,20	-	γ_{SE}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Servicio IV</i>	1,00	1,00	0,70	-	1,00	1,00	1,00 /1,20	γ_{TG}	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fatiga I</i> Solamente LL,IM &CE	-	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fatiga II</i> Solamente LL, IM & CE	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de puentes *Tabla 2.4.5.3.1-1* (MTC, 2016)

Tabla 18*Factores de carga para cargas permanentes, γ_p*

Tipo de Carga, Tipo de Fundaciones, y Métodos Usados para Fuerza de Arrastre Hacia Abajo (Downdrag)	Factor de Carga		
	Máximo	Mínimo	
DC: Componentes y Auxiliares.	1,25	0,90	
DC: Resistencia IV Solamente.	1,50	0,90	
DD: Downdrag Pilotes, α Método de Tomlinson.	1,40	0,25	
Pilotes, λ Método.	1,05	0,30	
Pilotes Perforados, (Drilled Shaft) Método de O'Neill and Reese (1999).	1,25	0,35	
DW: Superficie de rodadura y accesorios.	1,50	0,65	
EH: Presión Horizontal de la tierra.	- Activa.	1,50	0,90
	- En reposo.	1,35	0,90
	- AEP Para paredes ancladas.	1,35	N/A
EL: Esfuerzos residuales acumulados resultantes del proceso constructivo.	1,00	1,00	
- Estabilidad global.	1,00	N/A	
- Muros y estribos de retención.	1,35	1,00	
EV: - Estructura rígida enterrada.	1,30	0,90	
Presión - Pórticos rígidos.	1,35	0,90	
vertical de la tierra	* Alcantarillas cajón metálicas, planchas	1,50	0,90
- Estructuras flexibles enterradas	estructurales con corrugaciones y fibra de vidrio.		
	* Alcantarillas termoplásticas.	1,30	0,90
	* Entre otros.	1,95	0,90
ES: Carga superficial (Sobrecarga) en el terreno	1,50	0,75	

Fuente: Manual de puentes *Tabla 2.4.5.3.1-1* (MTC, 2016)**Tabla 19***Factores de carga para cargas permanentes, debido a deformaciones superimpuestas γ_p .*

Componente del puente	PS	CR, SH
Superestructuras—Segmentadas		Ver γ para DC,
Subestructuras de concreto que soportan superestructuras segmentadas.	1,00	Tabla 2.4.5.3.1-2 (3.4.1-2 AASHTO)
Superestructuras de concreto—no-segmentadas	1,00	1,00
Subestructuras de concreto que soportan superestructuras no Segmentadas		
Usando i_g	0,50	0,50
Usando $I_{efectiva}$	1,00	1,00
Subestructuras de acero	1,00	1,00

Fuente: Manual de puentes *Tabla 2.4.5.3.1-2* (MTC, 2016)

Nota: De las tablas N°17, N°18 y N°19, la definición de la nomenclatura es la siguiente:

Cargas Permanentes

CR = solicitaciones de fuerza debido a la fluencia lenta del concreto (Creep).

DD = de arrastre hacia abajo.

DC = carga muerta de Componentes estructurales y no estructurales.

DW = carga muerta de la superficie de rodadura y dispositivos auxiliares.

EH = empuje horizontal del terreno.

ES = sobrecarga del terreno.

EV = presión vertical del peso propio del suelo de relleno.

Cargas Transitorias

BR = fuerza de frenado vehicular.

CE = fuerza centrífuga vehicular.

CT = fuerza de choque vehicular.

CV = fuerza de choque de barcos.

EQ = sismo.

FR = fricción.

IC = carga de hielo.

IM = incremento de la carga viva por efectos dinámicos.

LL = carga viva vehicular.

LS = carga viva superficial.

PL = carga viva de peatones.

SE = solicitaciones por asentamiento.

TG = solicitaciones por gradiente de temperatura.

TU = solicitaciones por temperatura uniforme.

WA = carga de agua y presión del flujo.

WL = efecto de viento sobre la carga viva.

WS = efecto de viento sobre la estructura.

- *Combinaciones de carga de Servicio.*

Relaciona cargas permanentes y transitorias de alta probabilidad de ocurrencia.

Servicio I, control de deflexión en estructuras metálicas y ancho de fisuras en estructuras de concreto reforzado.

Servicio II, control de la fluencia en estructuras de acero y deslizamiento de conexiones de deslizamiento crítico debido a carga viva vehicular.

Servicio III, relacionada solamente con la tensión en estructuras de concreto presforzado con el objeto de control de fisuras.

- *Combinaciones de carga de Resistencia última.*

Contiene cargas permanentes y transitorias de alta probabilidad de ocurrencia, con factores de mayoración utilizadas en el diseño bajo paradigma de cargas últimas resistentes como concreto armado.

Resistencia I, considera uso de vehículos normales en el puente, sin viento.

Resistencia II, uso de vehículos de características específicas y/o evaluación de vehículos permitidos sin viento.

Resistencia III, para puentes expuestos a vientos de más de 88kph.

Resistencia IV, cargas muertas muy elevadas en relación con la carga viva.

Resistencia V, relacionada con el uso de vehículos normales en el puente, expuestos a vientos de más de 88kph.

- *Combinaciones de carga de Eventos extremos.*

Contiene cargas permanentes de alta probabilidad de ocurrencia afectadas por factores de amplificación y cargas ocasionales factores sin amplificación de muy baja probabilidad de ocurrencia.

Evento Extremo I, combinación que incluye sismo.

Evento Extremo II, relacionada con carga de hielo, colisión de vehículos o buques y eventos hidráulicos con reducción de carga viva, otras como la carga de colisión de vehículos (CT)

- *Combinaciones de Fatiga y Fractura.*

Considera carga viva repetitiva vehicular y respuesta dinámica debido a un camión de diseño simple; utilizado en elementos de acero. Factores de carga permanente γ_P especificados en la tabla 18; el gradiente de temperatura γ_{TG} y asentamientos de suelos γ_{SE} en función del proyecto o considerar los siguientes valores.

$\gamma_{TG} = 0.00$ para combinaciones de resistencia última y eventos extremos.

$\gamma_{TG} = 0.50$ en combinaciones de carga de servicio, si no incluye carga viva.

$\gamma_{TG} = 0.50$ en combinaciones de carga de servicio que incluyen carga viva.

$\gamma_{SE} = 1.00$ factor que afecta en asentamientos de suelos.

El factor para carga viva por sismo γ_{EQ} está en función de carga viva más probable durante la ocurrencia del sismo de diseño. Se considera como una mínima fracción de carga viva $0.15 \leq \gamma_{EQ} \leq 0.25$, en zonas urbanas de alta densidad se incrementa la fracción $0.25 \leq \gamma_{EQ} \leq 0.50$.

2.3. Definición de términos.

Amenaza: Probabilidad de un evento de escala y categoría determinada cause algún daño en particular.

Características de geotecnia: Establecen propiedades físicas y mecánicas de suelos para el diseño de cimentaciones.

Características de la zona: Condiciones físicas, mecánicas, geométricas definidos del estudio de ingeniería básica del puente.

Características del tránsito en la vía: relacionado al índice de flujo vehicular, el volumen y la demanda circundante en la vía de tránsito.

Características estructurales: distingue aspectos estructurales que marcan sistemas más o menos vulnerables.

Características hidráulicas e hidrológicas: definidos permiten una real apreciación del comportamiento hidráulico del río.

Características sísmicas: factores de la zona, período natural de la estructura, coeficiente de aceleración sísmica, criterios de regularidad de la estructura.

Clasificación funcional: características del puente según el servicio que presta, la importancia operativa, demanda de tránsito.

Condiciones de calidad: delimitan y caracterizan dentro de cada indicador los grados de vulnerabilidad de “más” a “menos” vulnerable.

Dimensiones: grupos principales de influencia que engloban la definición del índice de vulnerabilidad estructural en puente.

Grado de vulnerabilidad: asignada por opinión de expertos, escala cualitativa ordinal, asignándose a partir de condiciones de calidad poco, medianamente, muy, y absolutamente vulnerable, equivalente a valor numérico para la construcción de funciones de pertenencia.

Importancia del puente: definición de la estructura como línea vital de transporte, operación y funcionamiento ante cualquier siniestro.

Indicadores: características más relevantes e influyentes del daño que sufre un puente a partir de parámetros definidos.

Instalaciones secundarias de seguridad y tránsito: son elementos auxiliares que conforman el puente estos son, señales de tránsito, barandas, sardineles y veredas.

IVEP: Referencia simplificada a Índice de Vulnerabilidad estructural en puente.

Muros de encauzamiento: estructuras que direccionan el flujo del río hacia el vano y permiten cruce del agua del puente en dirección perpendicular al vano, mejorando el desagüe, funcionan como protección de terraplenes.

Parámetros: división de las dimensiones en categorías específicas según corresponda.

Prevención: Acciones previas que disminuyen el efecto del impacto de desastres.

Puente: estructura que atraviesa accidente geográfico u obstáculo artificial; formado por dos unidades de obra diferentes: la estructura conformado por subestructura y superestructura y la obra de aproximación en la entrada y salida de la estructura.

Riesgo: probabilidad de ocurrencia de evento natural por determinada magnitud, duración, localización y frecuencia. Exposición de construcciones hecha por el hombre, con grado de vulnerabilidad inherente frente a peligro sometido.

Subestructura: parte del puente constituida por estribos, pilares y muros de ala encargada de transmitir cargas al suelo de cimentación.

Superestructura: componente del puente donde actúa la carga móvil, constituida por tablero, vigas, veredas, pasamanos, carpeta de rodadura y otras instalaciones.

Valor de importancia: valor numérico asignado por la opinión de ingenieros expertos considerando la influencia de cada parámetro según la dimensión en IVEP. Vulnerabilidad estructural de puente - IVEP: grado de daño susceptible de las estructuras depende de características de diseño, calidad de materiales, condiciones de zona y técnicas de construcción.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

La investigación es de tipo cuantitativa pues utiliza la recolección de datos y el análisis estadístico (Hernández, Fernández y Baptista, 2014); estableciendo el comportamiento teorías de factores que hacen vulnerable al puente “La Villa”.

Por la metodología para demostrar la hipótesis es descriptivo, especificando propiedades y características representativas de la investigación (Borja, 2012).

3.2. Diseño de investigación

Se aplicó un diseño de tipo descriptivo por indagar la incidencia de las modalidades, categorías, niveles de una o más variables incidentes del puente “La Villa”; no experimental porque se realiza sin la manipulación de variables; transversal por recopilar datos en un momento único (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

Se denomina población o universo al conjunto de casos que concuerdan con ciertas especificaciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Investigación orientada a puentes urbanos geometría convencional rectos, ligeramente esviados y sin variaciones bruscas de masa y rigidez, tramos simples.

3.3.2. Muestra.

La presente investigación se realizó al puente “La Villa” así como su propuesta alternativa proyectada en la misma zona.

3.4. Descripción de recolección de los datos

La investigación tuvo el siguiente procedimiento de recolección de Información:

- Revisión y recopilación de información.

ANA-ALA, estudios hidrológicos, hidrométrica, metereológica e hidráulicos en zona de estudio; INEI, estadísticas de índice de flujo vehicular, Municipalidad Provincial Mariscal Nieto, Fichas de Mantenimiento existentes del Puente “La Villa”; Gobierno Regional de Moquegua, estudios elaborados en la zona de estudio; archivo regional de Moquegua, registro histórico del puente “La Villa”; Instituto Vial Provincial Mariscal Nieto, registro de programas de intervención para la protección de los márgenes del río Moquegua; proyecto especial Pasto Grande.

- Elaboración de formatos para recopilación y procesamiento de datos.

La información de campo con mediciones con la ayuda de personal y equipos dependiendo de la actividad.

- Procesamiento con herramientas y softwares.

La información recolectada en actividades anteriores, se clasificaron, tabularon y con el uso de softwares.

- Interpretación de información

Permitió formular la propuesta alternativa para el Puente “La Villa” que redujo la vulnerabilidad de la estructura existente, finalmente emitir conclusiones y recomendaciones.

3.4.1. Técnicas de recolección de datos.

Para el procesamiento y análisis de datos empleó las técnicas siguientes:

- Observación en campo y en laboratorio de propiedades en la zona de estudio.
- Experimentos de evaluación de daños experimental.
- Información con en modelamientos con software.
- Experimentos de evaluación de virtual-numérico.

3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos.

Los instrumentos empleados se detallan en la tabla 20.

Tabla 20
Técnicas e Instrumentos para la Investigación.

Técnicas	Instrumentos	Descripción
	Fichas de observación.	Emplea instrumentos de fichas técnicas preelaboradas para datos técnicos de la situación y realidad del puente.
Observación en campo	Levantamiento topográfico.	Obtuvo datos requeridos para el diseño alternativo y evaluación del puente en estudio (MTC, 2016).
	Estudio de tráfico.	Conteo vehicular, verificó la capacidad y demanda de la vía adyacente y la que atraviesa el puente.
Observación en laboratorio	Ensayos en laboratorio.	Obtener propiedades físicas y mecánicas del material y suelo donde se ubica el puente en estudio (MTC, 2016).
Experimentos de evaluación de daños.	Pruebas en puente	Ejecución de ensayos en campo necesarios para inspección de elementos del puente.
	Prueba de carga	Indicador que registra la situación de actual del Puente.
Recolección de datos.	Informes y estudios previos.	Recolección de datos en el diseño y evaluación del puente, que complemente la información predefinida.
Experimentos virtual-numérico.	SAP 2000 AutoCAD Excel Mathcad Prime	Definen el evento, la estructura, el daño; empleados por su bajo costo. Se consideran: -Modelamiento estructural (Análisis y evaluación de la Propuesta planteada), simulación del desempeño de la estructura en estudio, mediante el uso de software. -Perfiles hidráulicos, flujos uniforme y variado, transporte de sedimentos y erosión. Trazo de eje de río. - Estabilidad de taludes. -Modelamiento de cimentaciones y muros de encausamiento y protección.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA ALTERNATIVA

4.1. Generalidades.

La propuesta de diseño del puente alternativo consideró el esquema de la figura 17.

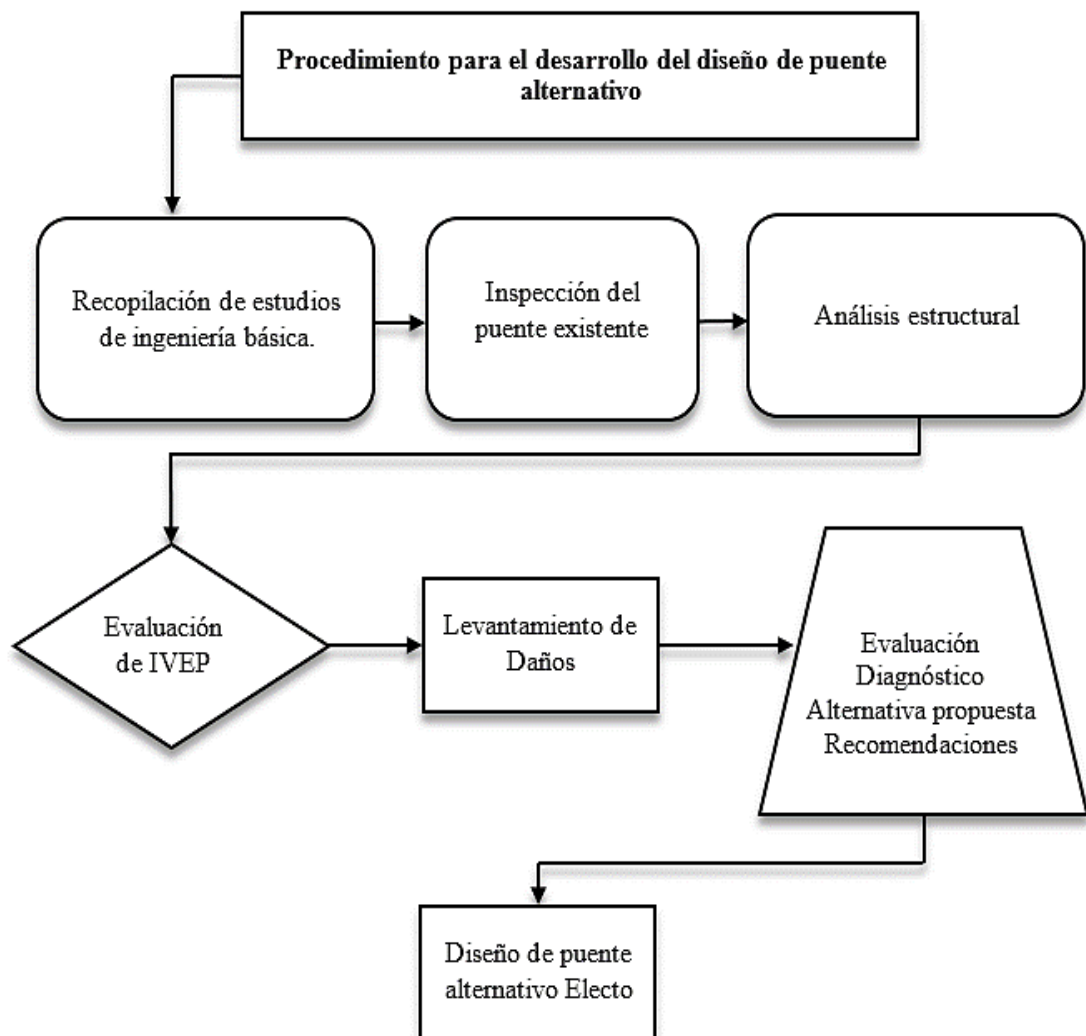


Figura 17. Esquema del procedimiento para el desarrollo de diseño de puente.

4.1.1. Ubicación y descripción del área de estudio.

El puente “La Villa” se ubica en el departamento Moquegua, provincia Mariscal Nieto, distrito Moquegua a 1410 msnm.

El área de estudio se encuentra en la Av. Mariscal Nieto-Malecón Rivereño paralela al margen izquierdo del río Tumilaca en dirección nor-este, al sur-oeste conecta Moquegua y Samegua con La Villa, Los Ángeles y Estuquiña, figura 18.



Figura 18. Ubicación del área de estudio.

Fuente: Adaptado de Google Earth.

4.1.2. Accesibilidad.

Por vía terrestre Moquegua cuenta con una red vial de 1895,8 km, 458 km el 24,2 % pertenecen a la red nacional, 309,4 km al 16,3 % a la red departamental y 1129,4 km al 59.5% a la red vecinal. Ver tabla 21.

Tabla 21

Accesibilidad hacia la zona de estudio.

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (Hrs)	Tipo de vía	Estado
Lima - Moquegua	1,146.00	14:00	Asfalto	B
Arequipa - Moquegua	227.00	4:00	Asfalto	B
Tacna - Moquegua	159.00	1:30	Asfalto	B
Puno - Moquegua	250.00	4:20	Asfalto	B

Nota: (B) Bueno (R) Regular (M) Malo

Fuente: Plan director Moquegua – Samegua.

4.1.3. Clima.

Templado cálido y desértico, temperatura anual promedio de 18 °C, máxima de 30 °C registrada entre enero a marzo y mínima en 13°C durante mayo- junio.

Es una zona árida, el promedio de precipitación es de 15 mm/año según estación meteorológica de Moquegua. En 1993 se registró intensa precipitación que alcanzó 100 mm en tres días de lluvia, ocasionando severos daños en viviendas de adobe y material rústico, inundando calles y avenidas con altura de hasta 25 cm.

4.2. Estudios básicos de ingeniería.

4.2.1. Estudio topográfico.

El estudio proporciona data topográfica tomada en campo y procesada en gabinete que determina en planimetría y altimetría puntos del terreno para la representación del sector en estudio. Las principales actividades a realizadas:

- Levantamiento topográfico en el área de la estructura proyectada.
- Elaborar planos topográficos a escalas adecuadas.
- Proporcionar información base para otros estudios.

4.2.1.1. Organización y metodología.

Identificada el área del levantamiento topográfico, se procedió a actividades como:

- Instrucción del manejo de equipos para lectura de puntos, tiempo, traslado, refrigerio e hidratación; asignando tareas antes, durante y después del trabajo.
- Formación del equipo de trabajo, un ingeniero civil para el reconocimiento y planteamiento de actividades, un profesional para manejo GPS en puntos de control y personal de apoyo para las diferentes actividades.

4.2.1.2. Equipos utilizados.

Solicitados en préstamo y uso en campo al Dr. Guido Elar Ordoñez Carpio, jefe del laboratorio de mecánica de suelos de la UJCM; equipos configurados en el sistema WGS84, intervalo de data 0.5 s.

- 01 estación total TOPCON GPT-3005LW con 04 prismas y 01 Trípode.
- 04 jalones, 02 winchas métricas de 50 m.
- 01 GPS, 01 brújula y 01 eclímetro.
- 01 computadora portátil o lap-top.
- 01 cámara fotográfica digital o celular smartphone.

4.2.1.3. Metodología de trabajo en campo.

Reconocimiento del área de levantamiento, establecer poligonal básica para ubicación de puntos de control. Desplazamiento de equipo de trabajos, materializar puntos en dirección longitudinal y transversal en accesos al puente “La Villa” entre 150 m y 200 m aguas arriba y abajo sobre el eje del río Tumulaca.

4.2.1.4. Procesamiento.

Elaboración de planos topográficos con curvas de nivel en AutoCAD 2017 y AutoCAD Civil 3D 2016 para el procesamiento de los datos topográficos.

4.2.2. Estudio de Hidrología e hidráulica.

Se estableció caudales de diseño y factores hidráulicos que simulan el comportamiento hidráulico del río para definir características particulares del puente. Se establecen las siguientes características en la ubicación del puente:

- Análisis de máxima descarga.
- Profundidad de socavación.
- Áreas de inundación, niveles de agua máxima extraordinaria (NAME).

4.2.2.1. Antecedentes.

El río Tumilaca afluente de río Moquegua es el obstáculo a salvar del puente “La Villa”, ambas márgenes con daños en varios tramos por el incremento del caudal en intensas lluvias torrenciales. El 15 de febrero del 2015, lluvias torrenciales en el distrito Torata generó arrastre de agua, piedras y lodo provocando socavación en infraestructura del malecón ribereño; de la información del estudio de hidráulica fluvial (IVEP, 2016), los daños más representativos fueron:

- Colapso de bocatomas, reservorios, canales de concreto; destrucción de muros de sostenimiento-encauzamiento enrocado y gaviones.
- Destrucción y daño de la vía en su carpeta asfáltica, capas base, sub base y relleno; sardineles de berma central, veredas laterales; pérdida señalización.
- Destrucción de alcantarillas, redes de agua y desagüe, buzones, caída de postes, interrupción de redes de energía eléctrica en tramos dañados.

4.2.2.2. Clasificación del río.

El río Tumilaca se clasifica como se observa en figura 19.

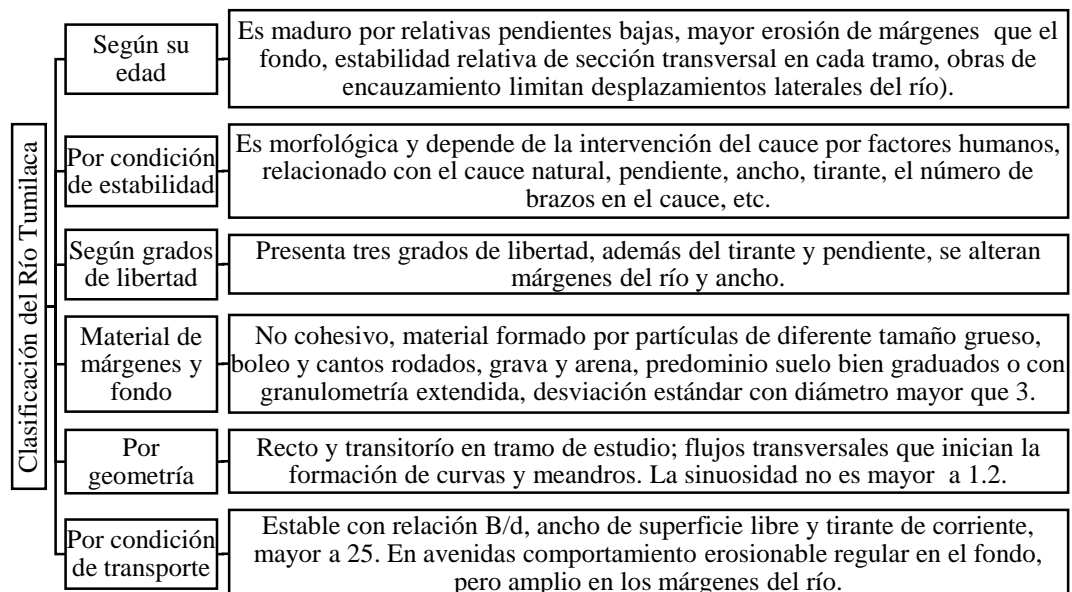


Figura 19. Clasificación del río Tumilaca.

Fuente: Adaptado de estudio de hidráulica (IVP, 2016)

4.2.2.3. Análisis de Máxima Descarga.

La cuenca del río Tumilaca registra caudales máximos diarios en la estación Chivaya y Tumilaca. El cálculo de caudal máximo de diseño utilizó el método estadístico a partir de registros de SENAMHI y ATDR-Moquegua, se muestran en la tabla 22; además del método directo o hidráulico y método de sección pendiente.

a. Método estadístico en el cálculo de caudales máximos diarios e instantáneos.

Tabla 22
Caudales máximos diarios en el río Tumilaca.

Año	Caudal máximo diario	Año	Caudal máximo diario	Año	Caudal máximo diario	Año	Caudal máximo diario
1950	5,09	1967	4,09	1984	7,5	2001	51,22
1951	20	1968	10,24	1985	5,5	2002	5,2
1952	80	1969	20	1986	5,5	2003	4,21
1953	70	1970	8,5	1987	2	2004	11,26
1954	20	1971	8,5	1988	3,8	2005	5,82
1955	9	1972	18	1989	5,85	2006	7,68
1956	4,09	1973	6	1990	5,8	2007	10,56
1957	10,7	1974	5,5	1991	0,81	2008	10,25
1958	10,24	1975	4,72	1992	5	2009	1,689
1959	3,1	1976	42	1993	2,8	2010	2,663
1960	9	1977	5	1994	18	2011	1,466
1961	80	1978	2,8	1995	5	2012	-
1962	10,7	1979	2,51	1996	60	2013	-
1963	70	1980	7	1997	85	2014	0,732
1964	5,09	1981	3,5	1998	27,5	2015	1,01
1965	20	1982	1,3	1999	-	2016	6,42
1966	3,1	1983	4,01	2000	9,5	2017	8,25

Fuente: SENAMHI y ATDR-Moquegua

De la tabla anterior y el programa HyfranPlus, se tienen distribuciones para los métodos, Gumbel, Log Normal II y III parámetros, Log Pearson Tipo III, Normal, Gamma y Pearson tipo III. La tabla 23 presenta métodos de distribución de probabilidades y tabla 24 muestra caudales máximos diarios de diseño.

Tabla 23*Métodos de distribución de probabilidades*

N°	Método
1	Lognormal (Maximum Likelihood)
2	Gamma (Maximum Likelihood)
3	Log-Pearson type 3 (Method of moments (BOB), base = 10)
4	Pearson type 3 (Method of moments)
5	3-parameter lognormal (Method of moments)
6	Gumbel (Method of moments)
7	Normal (Maximum Likelihood)

Tabla 24*Caudales máximos diarios (Q_d) por período de retorno río Tumilaca.*

Método	Nb. Param	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200	T=1000	T=10000
1	2	24,849	36,136	55,072	72,928	94,298	160,18	306,098
2	2	28,122	36,739	48,155	56,804	65,461	85,583	114,407
3	3	33,23	48,855	70,312	86,362	101,834	134,504	172,326
4	3	33,593	48,426	69,074	85,224	101,698	140,828	198,182
5	3	32,93	45,652	64,496	80,464	98,047	145,79	233,587
6	2	35,734	45,902	59,064	68,927	78,754	101,518	134,05
7	2	35,321	41,906	49,316	54,254	58,774	68,091	79,48

Fuente: Software Hyfran Plus

Se optó por los caudales de diseño de la distribución Log Normal II parámetros correspondientes a la avenida del segundo centenario.

El caudal máximo instantáneo se determina con el método empírico conocido como relación Fuller; un coeficiente (c) que multiplica a caudales diarios.

$$Q_i = c (Q_d) \quad \text{[Ecuación 7]}$$

$$c = 1 + \frac{a}{A^b} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

El valor de C es de 1.43, reemplazándose los caudales de la tabla 24 en la ecuación 7 se se determina los caudales máximos instantáneos, véase tabla 25.

Tabla 25*Caudales máximos instantáneos según períodos de retorno*

Modelo	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200	T=1000	T=10000
Caudales máximos diarios	24,85	36,14	55,07	72,93	94,30	160,18	306,10
Caudales máximos instantáneos	35,53	51,67	78,75	104,29	134,85	229,06	437,72

Fuente: Software Hyfran Plus

El caudal promedio esperado es 134.85 m³/s para un período de retorno 200 años.*b. Método directo / hidráulico, método iterativo.*

- Se identificó un tramo recto del río Tumilaca que coincide con la zona del emplazamiento del puente proyectado y se levantó topográficamente secciones transversales cada 10 m en la zona del emplazamiento del puente.
- Se eligió un valor de coeficiente de rugosidad (Ks) de la tabla 26.

Tabla 26*Cálculo de parámetros hidráulicos.*

Cursos importantes (B en crecida >30 m) – Coeficiente de Manning “n”	Mínimo	Normal	Máximo
Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
Sección irregular y rugosa	0,035		0,100
Características del lecho del río			Ks
Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades			40
Lechos naturales de río con acarreo regular			33 – 35
Lechos naturales de río con vegetación			30 – 35
Lechos naturales de río con derrubios e irregularidades			30
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo			28
Torrentes con derrubios gruesos (piedra del tamaño de 25 cm) acarreo inmóvil			25 – 28
Torrentes con derrubios gruesos, con acarreo móvil			19 - 22

Fuente: Bretshneider, curso de regulación de ríos

- El procedimiento para determinar el Q_{max} es de tanteos utilizando la fórmula de Manning – Strickler de la ecuación 9, la velocidad calculada con ecuación 10.

$$Q_{max} = A \left(\frac{A}{PM} \right)^{\frac{2}{3}} (S)^{1/2} / n \quad \text{[Ecuación 9]}$$

$$V_m = K_s * R^{2/3} * J^{1/2} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

- a. Para cada sección se determina el valor de K.

$$K = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * A \quad \text{[Ecuación 11]}$$

- b. Para cada sección se calcula el gasto aproximado multiplicando el valor de K por la raíz cuadrada de la pendiente de la superficie del agua.
- c. Debido a que las secciones transversales son diferentes, las velocidades y cargas de velocidad son también diferentes, de modo que la línea de energía obtenida no es paralela a la superficie del agua.
- d. Se supone otro gasto, usando un valor medio para K, hasta que los valores de la línea de energía, carga de velocidad y otras pérdidas sean congruentes.

Tabla 27

Cálculo de parámetros hidráulicos

Sección	Área (m ²)	PM (m)	RH (m)	n	K	Sw	Q(m ³ /s)
A Aguas arriba	50,00	45,70	1,094	0,10	530,862	0,0335	97,164
A Aguas abajo	45,00	33,61	1,034	0,10	460,143	0,0335	84,220

K=513.144

Tabla 28

Primera iteración caudal supuesto Q = 95 m³/seg.

Sección	V(m)	hv (m)	hv1 – hv2	hf (m)	Sf (m)	Q (m3seg)
A. Arriba	1,900	0,181				
A. Abajo	2,111	0,223	-0,042	5,958	0,0327	95,034

Tabla 29 *Segunda iteración caudal supuesto Q = 95.034 m³ /seg.*

Sección	V(m)	hv (m)	hv1 – hv2	hf (m)	Sf (m)	Q (m3seg)
A. Arriba	1,901	0,181				
A. Abajo	2,112	0,223	-,042	5,958	,0327	95,034

El caudal de diseño obtenido con este método es Q = 95,034 m³/seg.

c. Método de la sección pendiente.

Se realizan los siguientes trabajos de campo:

- Selección de secciones transversales del río del levantamiento topográfico.
- Definición de pendiente superficial de agua en huellas por máximas avenidas.
- Elección de coeficiente de rugosidad de manning (n) y aplicación de ecuación 9.

Se tiene los siguientes datos:

$$A= 57,522 \text{ m}^2$$

$$S= 0,0335$$

$$PM= 48,269 \text{ m}$$

$$n= 0,100$$

$$RH= 1,192 \text{ m}$$

Reemplazando tenemos:

$$Q_{\max} = A \left(\frac{A}{PM} \right)^{\frac{2}{3}} (S)^{\frac{1}{2}} / n$$

$$Q_{\max} = 57.522 * (1,192)^{0,66} (0,0335)^{0,5} / 0,100$$

$$Q_{\max} = 118,361 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

El caudal máximo de diseño será el promedio de caudales máximos calculados por los diferentes métodos:

$$Q_{\max} = (134,85 + 95,034 + 118,361) / 3 = 116,082 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$Q_{\max} = 116,082 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

4.2.2.4. Cálculo de profundidad de socavación.

La socavación es un fenómeno natural que afecta cauces de ríos y arroyos con remoción de fondo y orillas en corrientes en movimiento, son tres formas de socavación que afectan a la estructura de un puente, ver figura 20.

La socavación general	La socavación local	La socavación por estrechamiento del cauce
<ul style="list-style-type: none"> • La potencia del fondo del cauce tiene materiales en suspensión por un caudal de venida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Producida en estribos por distorsión de trayectorias de las líneas de corriente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera reducción del área hidráulica del cauce y aumento de velocidad y poder erosivo del agua.

Figura 20. Formas de socavación en puente.

Fuente: Adaptado de estudio hidrológico (MPMN, 2006)

La erosión máxima de una sección con un gasto de diseño “Q” se determinó por el método de Listvan – Lebediev para cauces naturales. La velocidad erosiva es la velocidad media capaz de degradar el fondo y se expresa por la ecuación 12

$$V_e = 0,68 * D_m^{0,28} * B * t_s^x \quad \text{[Ecuación 12]}$$

La tabla 31 incluye valores de $1/(1+x)$, aplicables a las determinaciones, como extensiones de estos criterios a los casos en que se alcanzan estados de equilibrio en función del diámetro D característico en granos.

Tabla 30
Coficiente B para socavación.

Probab. anual de que se Presente el gasto de diseño	B Coeficiente	Probab. anual de que se Presente el gasto de diseño	B Coeficiente
00	0,77	2	0,97
50	0,82	1	1,00
20	0,86	0.3	1,03
10	0,90	0.2	1,05
5	0,94	0.1	1,07

Fuente: Apuntes de hidráulica fluvial. Picandet Kreimer

Tabla 31
Tabla de valores $1/(x+1)$.

Peso Especifico (T/m ³)	Suelo Cohesivo		D (mm)	No X	Cohesivos $1/(x+1)$
	X	$1/(x+1)$			
0.80	0.52	0.66	0,05	0,43	0,70
0.83	0.51	0.66	0,15	0,42	0,70
0.86	0.50	0.67	0,50	0,41	0,71
0.88	0.49	0.67	1,00	0,40	0,71
0.90	0.48	0.67	1,50	0,39	0,72
0.93	0.47	0.68	2,50	0,38	0,72
0.96	0.46	0.68	4,00	0,37	0,73
0.98	0.45	0.69	6,00	0,36	0,74
1.00	0.44	0.69	8,00	0,35	0,74
1.04	0.43	0.70	10,00	0,34	0,75
1.08	0.42	0.70	15,00	0,33	0,75
1.12	0.41	0.71	20,00	0,32	0,76
1.16	0.40	0.71	25,00	0,31	0,76
1.20	0.39	0.72	40,00	0,30	0,77
1.24	0.38	0.72	60,00	0,29	0,78
1.28	0.37	0.73	90,00	0,28	0,78
1.34	0.36	0.74	140,00	0,27	0,79
1.40	0.35	0.74	190,00	0,26	0,79
1.46	0.34	0.75	250,00	0,25	0,80
1.52	0.33	0.75	310,00	0,24	0,81
1.58	0.32	0.76	370,00	0,23	0,81
1.64	0.31	0.76	450,00	0,22	0,83
1.71	0.30	0.77	570,00	0,21	0,83
1.80	0.29	0.78	750,00	0,20	0,83
1.89	0.28	0.78	1000,00	0,19	0,84
2.00	0.27	0.79			

Fuente: Apuntes de hidráulica fluvial. Picandet Kreimer

Se opera con suelos no cohesivos y rugosidad uniforme, tomando en cuenta la velocidad erosiva y considerando un ancho contraído “bo” y tirante inicial t, sabiendo que:

$$Q = K_s * b_o * t^{5/3} * J^{1/2} \quad \text{[Ecuación 13]}$$

$$a = K_s * J^{1/2} = \frac{Q}{t^{5/3} * b_o} \quad \text{[Ecuación 14]}$$

$$t = \left(\frac{Q}{K_s * b_o * J^{1/2}} \right)^{3/5} \quad \text{[Ecuación 15]}$$

La velocidad real V_r , con profundidad incrementada hasta t_s disminuirá de modo que: $Q = V_r * t_s * b_o = a * b_o * t_s^{5/3}$, se obtiene:

$$V_r = \frac{a * t_s^{5/3}}{t_s} \quad \text{[Ecuación 16]}$$

La erosión se detendrá cuando a una profundidad alcanzada se cumple la condición de equilibrio, $V_e = V_r$, Con las ecuaciones 12 y 15, se verifica la expresión de equilibrio, $0,68 * D_m^{0,28} * B * t_s^x = \frac{a * t_s^{5/3}}{t_s}$.

Despejando tenemos, $t_s^{x+1} = \frac{a * t_s^{5/3}}{0,68 * D_m^{0,28} * B}$. Simplificando “ts”:

$$t_s = \left(\frac{a * t_s^{5/3}}{0,68 * D_m^{0,28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}} \quad \text{[Ecuación 17]}$$

d. Datos obtenidos en Campo.

Se calcularán con los datos obtenidos en el lecho del río y en la margen derecha e izquierda del eje del puente proyectado. Del lecho del río eje del río:

$$D_m = 55,00 \text{ mm}$$

$$b_o = 35,00 \text{ m}$$

$$J = 0,0335$$

$$Q = 116,082 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

e. Datos Teóricos del Método.

$$1/(x+1) = 0,770$$

$$B = 1,00$$

$$K_s = 19$$

La profundidad de socavación “ h_s ” se obtendrá de la ecuación 18:

$$h_s = t_s - t$$

[Ecuación 18]

Reemplazando valores en ecuación 15:

$$t = \left(\frac{Q}{K_s * b_0 * J^{0,5}} \right)^{3/5} = \left(\frac{116,082}{19 * 35,00 * (0,0335)^{0,5}} \right)^{3/5} = 0,972 \text{ m}$$

$$t = 0,972 \text{ m (Tirante inicial del río)}$$

De la ecuación 17 tenemos:

$$t_s = \left(\frac{a * t^{5/3}}{0,68 * Dm^{0,28} * B} \right)^{\frac{1}{k * T}}$$

De la ecuación 14:

$$a = \frac{Q}{t^{5/3} * b_0} = \frac{1116,082}{0,972^{5/3} * 35,00} = 3,477$$

$$t_s = \left(\frac{3,477 * 0,985^{5/3}}{0,68 * (0,055)^{0,28} * 1} \right)^{0,77} = 6,331 \text{ m}$$

$$t_s = 6,331 \text{ m}$$

Luego la profundidad de socavación (h_s):

$$h_s = t_s - t = 6,331 - 0,972 = 5,359 \text{ m} \approx 5,4 \text{ m}$$

$$h_s = 5,40 \text{ m}$$

4.2.2.5. Áreas de inundación.

Se empleó información del estudio hidrológico del ANA, que generan los mapas de área de inundación.

Los llanos inundables se dan por la topografía del terreno y la dinámica de los ríos, en general estas zonas son propiedad de terceras personas, al considerarlos como cauce, se generan problemas legales y hasta de tipo social, por lo cual se han omitido en la delimitación del cauce de los ríos, ver figura 21.

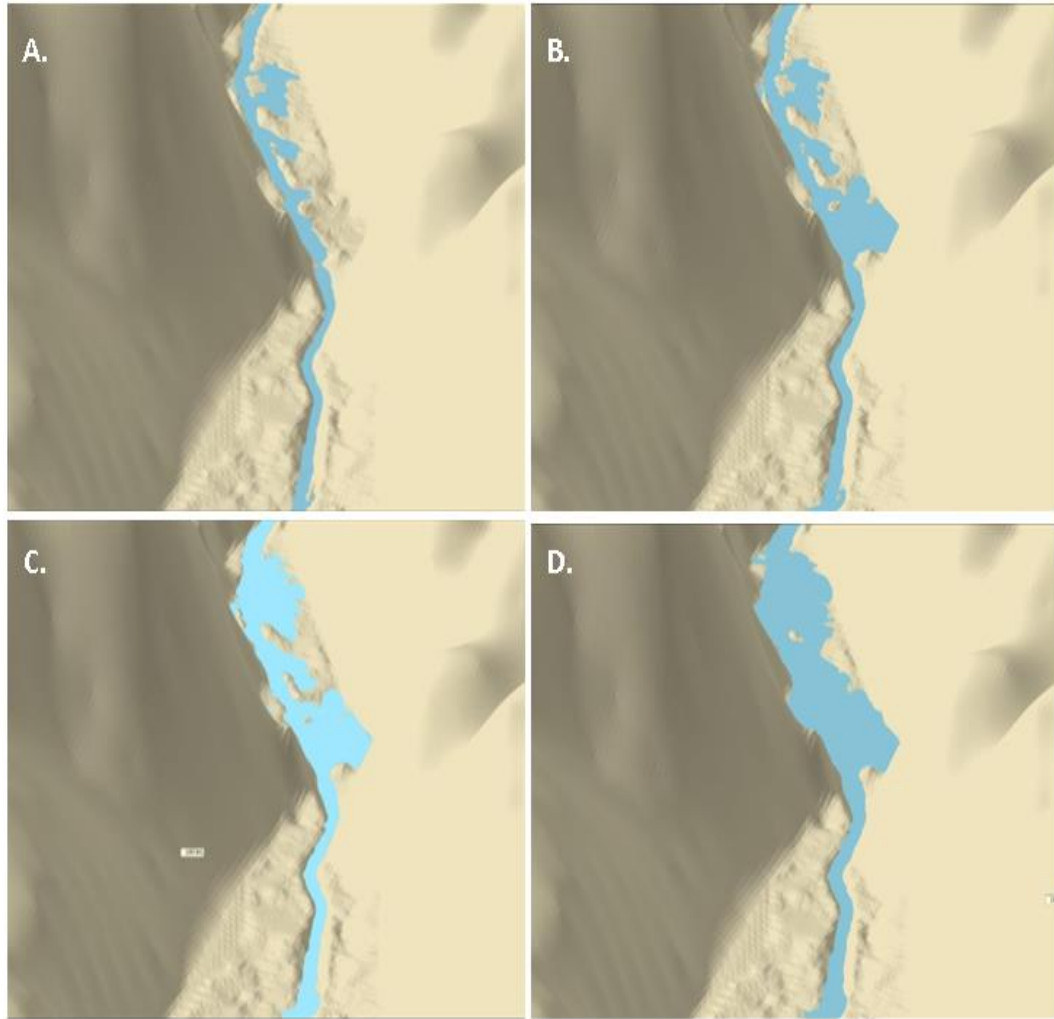


Figura 21. Mapas de inundación río Tumilaca, 50 (A), 100 (B), 250 (C) y 500 (D) años de tiempo de retorno.

Fuente: Estudio hidrológico para faja marginal (ANA, 2015)

4.2.2.6. Niveles de agua máxima extraordinaria.

El caudal de diseño, considera un período de retorno de 200 años, debido a las características del Río.

4.2.2.7. Gálibo recomendable para el tablero del puente.

El Manual de puentes (MTC, 2016), recomienda que los puentes sobre cursos de agua consideren como mínimo de la parte más baja del fondo de la viga de la superestructura con respecto al nivel de aguas máximas extraordinarias NAME una altura de 1.50m.

4.2.3. Estudio de geología.

Geología, establece características geológicas local y general de formaciones geológicas, identificación de geodinámica externa y zonas vulnerables a deslizamientos, inestabilidad de suelos, inundación, etc.

4.2.3.1. Referencias bibliográficas.

Revisión de documentación geológica relacionada directa e indirectamente con la zona de estudio, se tiene:

- Información existente del cuadrángulo de Moquegua y Clemesi, Hoja 35-u y 35-t respectivamente, realizado por el INGEMMET
- Estudio Geológico del proyecto: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Avenida Mariscal Domingo Nieto, Tramo: Puente El Tucumán – Puente El Rosal – Puente La Villa – Puente El Rayo – Puente peatonal Estopacaje - distritos de Moquegua y Samegua, provincia Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua”
- Estudio geológico del puente Samegua - Los Ángeles
- Información recabada en campo, otros cuadrángulos conexos e informes y mapas de otras entidades del sector del estado y privado.

4.2.3.2. Geología regional.

a. Geomorfología.

Comprende las características de las formas de la tierra y los procesos erosivos enfáticos y evidenciados en el ámbito regional de la zona.

En la zona donde se encuentra ubicado el puente el relieve varía entre sectores correspondientes a la llanura costanera, hasta la cadena volcánica de los cerros Los Ángeles, Estuquiña y Huaracane, pertenecientes a estibaciones occidentales del Flanco Andino. Mayores alcances en tabla 32.

Tabla 32*Unidades geomorfológicas regionales en el área de estudio.*

Sistema	Unidad (cód)	Descripción
Costanero	Llanura costanera (LL-C)	Territorio llano y árido, depósitos clásticos semi-consolidados de la formación Moquegua. Suave buzamiento al SO.
Andino	Flanco Andino (F-G)	Territorio formado de rocas volcánicas y macizos intrusivos, presenta topografía abrupta y bastante disectada.

Fuente: Adaptado de estudio de geología (IVP, 2016).

b. Litología y Estratigrafía

El mapa geológico del cuadrángulo de Moquegua, hoja 35t del INGEMMET, caracteriza la Geología del área de estudio se describe en tabla 33.

Tabla 33*Unidades litoestratigráficas en el área de estudio.*

Unidad / Formación	Símb.	Descripción litológica
Moquegua Inferior	Ts-moi	En el valle de Moquegua, areniscas de color gris a marrón claro alternación regular con areniscas arcillosas y arcillas grises y rojizas.
Moquegua Superior	Ts-mos	Característico de areno – conglomerádica, tufos areniscas y redepositados, arcillas. Grosor, textura varían en valle alto de Moquegua.
Huaracane	KTi-hu	Los Ángeles, Estuquina y Huaracane, rocas volcánicas y clastos gruesos. Prirolcásticos, andesítica, dacítica y ríolítica de gris verdoso a marrón.
Volcánico Huaylillas	Ts-vhu	Tufos dacíticos y ríolíticos de colores blanco grisáceo, rosado, formados por erosión en afloramientos con sedimentos aluviales consolidados.
Depósitos Aluviales	Q-al	Depósitos aluviales, terrazas, conos de deyección; cantos redondeados, lentes de areniscas redepositados entre Moquegua y Locumba.
Depósitos Fluviales	Q-fl	Gravas, arenas y arcillas en proceso de transporte y deposición por ríos; bancos de conglomerados, arenas y depósitos aluviales en margen de ríos.

Fuente: Adaptado de estudio de geología (IVP, 2016)

c. Marco estructural





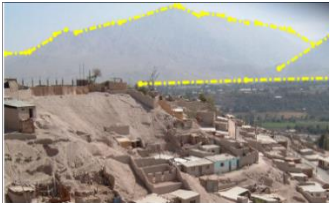
A partir de la carta geológica regional, el entorno regional en la zona de estudio; hacía el Sur emplazamiento con orientación NW-SE, trazo de falla regional Incapuquio, que afecta a Moquegua y las pampas Chen Chen; hacia el Norte en geometría paralela, la falla de Micalaco y el sistema de fallas Torata. Estas fallas han controlado el emplazamiento de los cuerpos volcánicos; e intrusivos.

4.2.3.3. Geología local.

a. Geomorfología.

Geomorfológicamente se identifican cuatro geoformas diferenciadas: el flanco andino, río Tumilaca, suelo antrópico I, antrópico II, detalles en tabla 34.

Tabla 34
Unidades geomorfológicas locales.





Unidades geomorfológicas	Simb.	Descripción	Ilustración
Antropico Antropico I	A-I	Unidades habitacionales o casco urbano de la zona de proyecto. Topografía peneplanizada, área estable ante la erosión fluvial y eólica.	 Zona urbana denominada Antrópico I.
Antropico Antropico II	A-II	Áreas destinadas a la agricultura ubicadas en ambas márgenes del río Tumilaca, estas áreas son emplazadas en las llanuras de inundación del río.	 Llanuras aluviales utilizadas como zona de cultivo (Antrópico II).
Corriente fluvial múltiple	CFM	Cauce del río Tumilaca con múltiples cauces como canales o laminas siendo un río del tipo anastomosado.	 Corriente Fluvial múltiple.
Terrazas fluviales	TF	Zonas peneplaizadas o terrazas fluviales con espesor de 2 a 6 m de potencia; plataformas en valle fluvial formadas por sedimentos del río	 Terraza fluvial.
Flanco andino	FA	Posterior a llanura costanera, levantamiento de cerros que originan la cordillera occidental de los andes, se trata de escarpas de fuerte pendiente y de topografía difícil	 Flanco andino

Fuente: Adaptado de estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

b. *Litología y estratigrafía.*

Se identificó rocas de la formación Huaracane y depósito cuaternarios compuesto por suelos coluviales, aluviales como terrazas fluviales predominantes en la zona a nivel local a continuación tabla 35 detalla las unidades estratigráficas.

Tabla 35
Columna estratigráfica de la defensa ribereña.

Unidades	Simb.	Descripción litológica	Ilustración
Depósitos fluviales	Q-fl	Depósitos de arenas finas de grano grueso a medio, gravas y menor proporción finos. Las gravas son cantos de diorita, granodiorita, andesita, ríolita, traquitas y traquiandesitas; pocas rocas sedimentarias como areniscas, cuarcitas y calizas	 <p>Deposito Fluvial paralelo al malecón ribereño.</p>
Depósitos aluviales	Q-al	Intercalaciones de arenas limosas y gravas lenticulares, boleos de 0.6 m de diámetro como máximo, gravas polimétricas polimíctica redondeada a sub redondeada.	 <p>Depósito aluvial, estratificación y lentes de gravas gruesas.</p>
Grupo Toquepala: Volcánico Huarancane	Kti-hu	Derrames lávicos de ríolítica de color gris rojiza en superficie fresca y de color rosáceo en superficie intemperizada, presenta tonos oscuros de obsidiana y fenocristales de minerales máficos como piroxenos, existe un bandeamiento evidenciando la dirección de flujo durante su génesis.	 <p>Vista panorámica de la formación Huarancane.</p>  <p>Afloramiento de la formación Huarancane.</p>

Fuente: Adaptado de estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

c. Marco estructural local.

El plano geológico en la defensa ribereña presenta una falla inversa en las faldas del cerro Los Ángeles que corta transversalmente el cauce del río Tumilaca. La falla tiene azimut de 120° y buzamiento de 72° hacia el noreste. No se identifican lineamientos mayores que afecten estructuralmente obras proyectadas.

4.2.3.4. Procesos geodinámicos.

Zona de estudio influenciada por agentes desestabilizantes hidrológicos, aguas pluviales y fluviales que afectan estructuras en márgenes del malecón ribereño; procesos como erosión, hundimiento, inundación, activación de quebradas y suelos.

a. Agentes hidrológicos.

Aguas superficiales discurrentes por filtraciones y torrentes de canales existentes en la zona, evidenciando riesgo de inundación, socavación, sedimentación por tramos, mal estado de elementos de contención en la fundación cimentación.

- Aguas fluviales.

En río Tumilaca son de régimen permanente; bajo caudal en temporadas secas, regular a fuerte caudal en temporadas de lluvias-avenidas con esfuerzos hídricos en el cauce tomando curso por zonas vulnerables. Son efectos colapso y/o socavamiento de defensas rivereñas y áreas cultivo; ver figura 22 con coordenadas UTM 297 615 este y 8 100 025 norte.



Figura 22. Destrucción, socavamiento, colapso de defensa ribereña y áreas de cultivo.

Fuente: Estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

- Aguas pluviales

Presentes en temporadas lluviosas que arrastran y disuelven detritos tamaño limo, arena y gravas desde las zonas altas y descargan perpendicular al río Tumilaca, responsables de huaycos y aluviones. Ver figura 23.



Figura 23. Drenaje pluvial seco.

Fuente: Estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

- Filtraciones

Zonas vulnerables a inundación por deterioro antrópico, uso agrícola que estrangula cauce del río Tumilaca con filtraciones que regresan al río, ver figura 24; disolución de partículas de suelo limoso, propensos a deslizamientos e inestabilidad de suelos.



Figura 24. Filtraciones provenientes de las áreas de cultivo y drenan en el río.

Fuente: Estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

b. Agentes movimientos en masa.

- Aluviones

Flujo de material detrítico y fino combinado con agua, durante épocas de grandes precipitaciones, permaneciendo en zonas de baja pendiente; reducción de cauce del río Tumilaca por terrenos de cultivo en margen derecha y la Av. Mariscal Nieto en margen izquierda, ver figura 25 coordenadas UTM 298 174 / 8 100 203.



Figura 25. Evidencias del aluvión que ocurrió en el año 2015, río Tumilaca.

Fuente: Estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

- Derrumbes

Fenómeno accionado por gravedad en afloramientos rocosos en combinación con material conglomerado; se observa margen derecha del río Tumilaca en la figura 26, con coordenadas UTM 296 490 / 8 099 642, zona 19 k; acumulo de material detrítico, tamaños predominantes de 35 cm, hasta bloques del tamaño de 120 cm.



Figura 26. Derrumbe en afloramiento rocoso, margen derecho río Tumilaca.

Fuente: Estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

4.2.3.5. Problemas generados por agentes hidrológicos y movimientos en masa.

a. Erosión de Fluvial.

Generado con el aumento de caudal del río Tumilaca ocasionando la erosión de ambos márgenes del río, durante los meses de diciembre a marzo, siendo más crítico en el registro de caudales los meses de enero y febrero; como sucedió el 15 de febrero del 2015, con coordenadas UTM 297.615/8'100.025, ver figura 27.



Figura 27. Erosión fluvial muy crítica en margen izquierda del río Tumilaca.

Fuente: Estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

b. Socavamientos.

Referida a la acción fluvial con el desgaste de las partes más bajas de los márgenes del cauce generando que los gaviones, enrocados y muros de contención colapsen, recurrente en la Av. Domingo Mariscal Nieto con coordenadas UTM 297.404/8'099.942, muestras fotográficas en figura 28.



Figura 28. Evidencias de socavamiento ocasionado por los agentes hidrológicos.

Fuente: Estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

c. Asentamientos.

Se evidencia por el movimiento lateral que sufre la base de la Av. Mariscal Domingo Nieto, notándose grietas tensionales, el talud de sostenimiento sede en su base, generándose un movimiento lateral, problema en varios tramos de la Av. Mariscal Domingo Nieto, coordenadas UTM 294.673/8'098.992, ver figura 29.



Figura 29. Asentamiento del talud de sostenimiento de la vía.

Fuente: Estudio de geología (IVP-MPMN, 2016)

4.2.4. Estudio de geotecnia.

Este estudio establece características de estratigrafía, identificación y propiedades físicas y mecánicas de suelos, profundidad de desplante, capacidad portante, nivel freático aplicable al diseño de cimentaciones estables en el área de influencia.

Actividades efectuadas son como recopilación de información existente, prospección del subsuelo, ensayos de laboratorio y análisis de resultados.

4.2.4.1. Número de sondajes.

El manual de puentes del MTC aprobado con resolución directoral N°041-2016-RD MTC/14, establece en el artículo 2.8.0.3 *Exploración del subsuelo*, un punto de exploración como mínimo por cada componente para muros de contención, cimentación superficial o profunda. Los puntos de exploración fueron cuatro y se realizaron en el proyecto de rehabilitación del malecón ribereño (IVP-MPMN, 2016).

4.2.4.2. Trabajo de campo.

Se excavaron cuatro calicatas; se considera un punto con nivel de excavación en la ribera del río y otro punto con nivel de excavación en la rasante de la Av. Mariscal Nieto, ubicadas aguas arriba y aguas abajo del puente margen izquierdo a una distancia perpendicular de 150-250 m al eje del puente “La Villa”, ver tabla 36.

Tabla 36.

Referencia de ubicación de calicatas respecto del puente “La Villa”.

Referencia del puente “La Villa”	Nivel de excavación	
	Ribera del río ^a	Rasante de la av. Mariscal Nieto ^b
Aguas arriba	C-11	C-20
Aguas abajo	C-9	C-14

Fuente: Adaptado de estudio de Geotecnia (IVP-MPMN, 2016)

Nota: ^a Las calicatas C-11, C-9 analizadas para fines de cimentación. Las calicatas C-20, C-14 analizadas para definir propiedades del material del terraplén de relleno.

La excavación, muestras tomadas y los ensayos efectuados se realizaron por laboratorio de geotecnia e investigación: Federico Pascual Paucar Tito E.I.R.L., en el servicio de estudio de geotecnia para el proyecto encargado por el IVP.

4.2.4.3. Características del terreno en el área de estudio.

El terreno evaluado es el cauce del río Tumilaca; la exploración de calicatas indica presencia de suelo granular y bolonería de canto rodado. El terreno tiene topografía con ligera pendiente; detalle de ubicación de calicata, tabla 37.

Tabla 37

Ubicación geográfica en coordenadas UTM de calicatas.

Calicata	Coordenadas (UTM)		Progresiva	Prof. (m)	Nivel freático
	Este	Norte			
C-9	294084	8098812	5+540	4,00	1,50
C-11	294743	8099020	4+840	4,00	1,20
C-14	294067	8098802	5+550	4,00	NP
C-20	294754	8099017	4+840	4,00	NP

Fuente: Adaptado de estudio de Geotecnia (IVP-MPMN, 2016)

4.2.4.4. Ensayos de laboratorio.

Las características físicas mecánicas del terreno de fundación se determinaron con ensayos normalizados de muestras disturbadas, se muestran en la tabla 38.

Tabla 38
Ensayos normalizados realizados.

Ensayo	Norma
Contenido de humedad natural	ASTM D-2216
Análisis Granulométrico por tamizado	ASTM D-422
Límite Líquido	ASTM D-423
Límite Plástico	ASTM D-424
Ensayo de peso específico y absorción	ASTM C-127 - MTC E206
Ensayo de Peso Unitario, Densidad.	MTC E203
Ensayo de corte directo	ASTM D-3080
Clasificación de agregados integral	ASTM D422-D2216-D4318-D427-D2487
Compactación de suelos en laboratorio con energía modificada (2700 kN-m/m ³ (56000 pie-lbf/pie ³))	ASTM D 1557 NTP 339.141:1999
Densidad Insitu	ASTM D 2937
Determinación en suelos y aguas subterráneas del contenido de:	NTP 400.042 – NTP 400.043
Sales solubles	NTP 339.152:2002
Cloruros solubles	NTP 339.177:2002
Sulfatos solubles	NTP 339.178:2002

Fuente: Adaptado de estudio de Geotecnia (IVP-MPMN, 2016)

a. Clasificación.

La clasificación consideró la granulometría y límites de Atterberg, para el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos-SUCS y AASHTO, ver tabla 39.

Tabla 39
Clasificación de suelos SUCS y AASHTO.

Calicata	Clasificación		Descripción
	SUCS	AASHTO	
C-9	GP	A-1-a	Material granular, Grava mal graduada.
C-11	GP	A-1-a	Material granular, Grava mal graduada.
C-14	GP-GM	A-1-a	Grava mal graduada con presencia de matriz limosa.
C-20	GP-GM	A-1-a	Grava mal graduada con presencia de matriz limosa.

Fuente: Adaptado de estudio de Geotecnia (IVP-MPMN, 2016)

b. Características físicas y mecánicas de diseño.

Las calicatas C-9 y C-11 nivel de excavación en ribera del río, no tienen plasticidad.

C-14, C-20 con nivel de excavación a rasante, el IP varía de 2 a 5.

Las características físicas y mecánicas se aprecian en la tabla 40 y tabla 41.

Tabla 40

Características físicas y mecánicas de diseño calicatas C-9 y C-11.

Propiedad	Unid	C-9	C-11
Peso unitario seco (Densidad)	KN/m ³	19,02	19,24
Gravedad específica de los sólidos	-	2,623	2,554
Densidad relativa	%	61,6	65,2
Ángulo de rozamiento interno	°	33,40	33,31
Cohesión efectiva,	kg/cm ²	0,005	0,001
Contenido de humedad	%	19,40	20,52

Fuente: Adaptado de estudio de Geotecnia (IVP-MPMN, 2016)

Tabla 41

Características físicas y mecánicas de diseño calicatas C-14 y C-20.

Propiedad	Unid	C-14	C-20
Densidad Natural insitu	gr/cm ³	1,93	2,17
Gravedad específica de los sólidos	-	M1: 2,536	M1: 2,413
	-	M2: 2,550	M2: 2,537
	-	M3: 2,604	M3: 2,648
Proctor Modificado			
Humedad óptima	%	7,75	6,8
Máxima densidad seca	Gr/cm ³	2,035	2,19

Fuente: Adaptado de estudio de Geotecnia (IVP-MPMN, 2016)

c. Capacidad Portante.

Para determinar la capacidad portante se utilizó el método propuesto por Terzaghi por ser un modelo conservador para suelos granulares aun cuando se evaluó con los métodos de: Meyerrhoff, Vesic, Hansen.

La capacidad admisible por resistencia, se analizará utilizando la fórmula de Terzaghi y Peck ,1967; expresada por la ecuación 19:

$$q_u = c' N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \quad \text{[Ecuación 19]}$$

La variación de la capacidad última de carga según Meyerhof, 1963 será expresada por la ecuación 20:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad [\text{Ecuación 20}]$$

Considerando los parámetros de Vesic, 1973 expresada por la ecuación 21:

$$q_u = cF_{cs} N_c + \gamma D_f F_{qs} N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} \quad [\text{Ecuación 21}]$$

La fórmula de Brinch-Hansen extendida, incorpora los factores de forma y de profundidad y factores de inclinación, a la fórmula trinó mica de la ecuación 22:

$$q_u = cN_c S_c d_c i_c + qN_q S_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad [\text{Ecuación 22}]$$

La variación de la capacidad última diferido de sus factores de corrección según Vesic, 1972; expresada por la ecuación 23:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma c} \quad [\text{Ecuación 23}]$$

Donde la capacidad de soporte admisible, considerando un FS factor de seguridad será expresada por la ecuación 24:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS} \quad [\text{Ecuación 24}]$$

La capacidad portante se calcula para todos los casos, se adjunta los formatos de laboratorio en apéndice F. Del estudio realizado al suelo gravoso se considerará la capacidad portante de 5 kg/cm² por criterio de asentamiento, para niveles de cimentación de 3 m, profundidad a partir del cauce del río.

4.2.4.5. Profundidad de cimentación.

De las características del perfil estratigráfico de calicatas, exploración de sondeo en campo; se recomienda cimentar siempre sobre gravas, en todos los casos en el diseño de estructuras se debe cimentar a partir de 3 m de profundidad verificando la compacidad en obra. La decisión para determinar la profundidad de cimentación será determinada por la socavación.

4.2.4.6. Asentamientos.

Para el cálculo de asentamientos inmediatos se ha utilizado el método de la teoría de la elasticidad de Lambe y Whitman en 1964, el suelo de gravas con matriz de arena y limo, compactación media a alta y comportamiento próximo a la teoría elástica, se considera con asentamiento permisible $1'' = 2.54$ cm condición general.

4.2.4.7. Agresividad del suelo.

Se analiza el efecto agresivo del suelo de cimentación de la estructura, ver tabla 42. Existe nivel freático visible por ser cauce del río.

Para determinar el contenido de sales solubles totales, cloruros y sulfatos, agresivos a las estructuras del concreto, se realizó el análisis químico donde los resultados indican que las cantidades de sales solubles es baja; se recomienda usar cemento puzolánico IP o cemento tipo I Según Normas ASTM C-595 para concreto en contacto con el suelo.

Tabla 42
Contenido de sales solubles.

Calicata	Muestra	Ion cloruro	CL Ion sulfato	SO4	PH	Sales		
		PPM ION cloruro	%	PPM ION sulfato	%	Unid	PPM sales	%
C-9	M1	82	0,008	540	0,054	7,85	747,1	0,075
	M2	77	0,008	470	0,047	7,74	572,75	0,057
	M3	75	0,008	450	0,045	7,54	492,48	0,049
C-11	M1	90	0,009	590	0,059	7,95	571,05	0,057
	M2	89	0,009	420	0,042	7,89	490,05	0,049
	M3	85	0,009	350	0,035	7,84	403,65	0,040
C-14	M1	74	0,007	320	0,032	7,9	724,95	0,072
	M2	53	0,005	210	0,021	7,85	581,85	0,058
	M3	46	0,005	150	0,015	7,9	540	0,054
C-20	M1	96	0,01	530	0,053	7,98	720,9	0,072
	M2	89	0,009	490	0,049	7,96	688,5	0,069
	M3	85	0,009	420	0,042	7,95	665,55	0,067

Fuente: Adaptado de estudio de Geotecnia (IVP-MPMN, 2016)

4.2.5. Estudio geofísico.

Se definió las columnas geosísmicas y de georesistividad, a partir de velocidades de ondas P y resistividades de estratos respectivamente; diferenciación de estratos morfológicos geofísicos, identificación de nivel freático de las aguas subterráneas.

4.2.5.1. Geofísica.

Los trabajos y resultados presentados son adaptación del estudio geofísico del Ing. Jorge P. Barriga Gamarra encargado del estudio solicitado para el proyecto encargado por el IVP en el proyecto (IVP-MPMN, 2016).

4.2.5.2. Métodos de prospección geofísica aplicados.

a. Prospección sísmica por refracción.

Efectuada para conocer la secuencia estratigráfica del subsuelo, fundamentado en la medida de tiempos de viajes de ondas sísmicas por un estrato geológico desde la fuente a sensores o geófonos lineales como el la figura 30, supeditado a características físicas en donde a mayor dureza de rocas, mayor será la frecuencia y velocidad de ondas sísmicas y viceversa para suelos blandos, ver tabla 43.

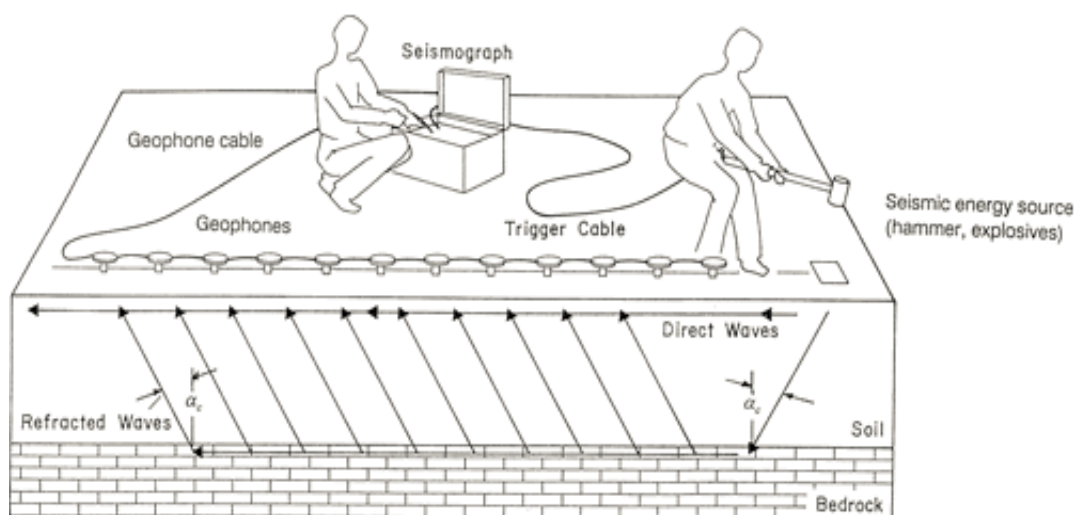


Figura 30. Diseño de campo de un sismógrafo de doce canales.

Fuente: ASTM D5777 Guía del método de refracción sísmica en subsuelo (2011).

Tabla 43.
Valores promedio de V_p según ASTM- D5777.

Descripción	Velocidad V_p	
	Pie/s	m/s
Suelo intemperado	800 a 2000	240 a 610
Grava o arena seca	1500 a 3000	460 a 915
Arena saturada	4000 a 6000	1220 a 1830
Arcilla saturada	3000 a 9000	910 a 2750
Agua	4700 a 5500	1430 a 1665
Agua de mar	4800 a 5000	1460 a 1525
Arenisca	6000 a 13000	1830 a 3960
Esquisto, arcilla esquistosa	9000 a 14000	2750 a 4270
Tiza	6000 a 13000	1830 a 3960
Caliza	7000 a 20000	2134 a 6100
Granito	15000 a 19000	4575 a 5800
Roca metamórfica	10000 a 23000	3050 a 7000

Fuente: ASTM D5777 Guía del método de refracción sísmica en subsuelo (2011).

b. Prospección eléctrica mediante tomografías.

Las líneas tomográficas coinciden con líneas sísmicas; los resultados correlacionaron geología y perfiles estratigráficos.

Rango de resistividades se agrupan colores con rangos de valores resistivos consecutivos para los diferentes colores como se muestra en la figura 31 y las características se observan en la tabla 44.



Figura 31. Rango de resistividades por colores.

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

Tabla 44.*Características de estratos en diferentes rangos de resistividades.*

N° estrato	Colores	Resistividades (Ω -metro)	Características
1er	Azul oscuro a Celeste	10 a 50	Sedimentos de arenas y gravas de grano fino, considerable contenido de arcillas y/o limos saturados.
2do	Verde a Amarillo	51 a 250	Arenas, gravas graduadas, sub-redondeadas con arcillas y/o limos asentados desordenadamente.

Tabla 44.*Características de estratos en diferentes rangos de resistividades (continúa).*

N° estratos	Colores	Resistividades (Ω -metro)	Características
3ero	Café a Rojo	250 a 700	Arenas y gravas finas a gruesas, sub-redondeadas, con arcillas y/o limos. Mayor grado de compactación.
4to	Rojo oscuro a Magenta	700 a 1000	Arenas, gravas finas a gruesas con mayor contenido de cantos rodados o bolonorías sub-redondeadas. Mucha mayor compactación

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016).

4.2.5.3. Trabajos de campo.

a. Prospección sísmica.

Realizado con sismógrafo de 24 canales, con geófonos cada 2.50 m y 5 m en líneas sísmicas transversales y longitudinales al río respectivamente.

Esta investigación considera el tramo 5 en líneas sísmicas tres de las cuales se encuentran próximas al puente “La Villa”. En la tabla 45 se observa las características referenciales de las L.S.

Tabla 45*Cuadro de las coordenadas y longitudes de las líneas sísmicas.*

Coordenadas UTM WGS-84 de líneas sísmicas tramo-5 próxima al puente “La Villa”					
N° LS	Inicio		Final		Longitud (m)
	Norte	Este	Norte	Este	
LS-27	8098887	294357	8098913	294479	125
LS-28	8098923	294363	8098951	294486	125
LS-29	8098913	294451	8098977	294437	50

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

b. Tomografía eléctrica (TME).

Las líneas tomográficas distribuidos sobre las líneas de refracción sísmica, ejecutadas por el resistivímetro Syscal Pro de 10 canales, con espaciamiento entre electrodos 5 m para las líneas de TEM.

En líneas tomográficas se considera el tramo 5, tres próximas al puente “La Villa”. La tabla 46 muestra características de TME.

Tabla 46

Cuadro de las coordenadas y longitudes de las líneas tomográficas.

Coordenadas UTM WGS-84 de líneas tomográficas tramo-5 próxima al puente “La Villa”					
N° LS	Inicio		Final		Longitud (m)
	Norte	Este	Norte	Este	
TME-32	8098949	294482	8098924	294372	100
TME-33	8098915	294461	8098977	294443	80
TME-01’	8098911	294477	8098890	294375	100

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

c. Sondeo eléctricos verticales.

Realizadas en el puente “La Villa”, visualiza la estratigrafía que mejor se ajuste a la realidad, ver tabla 47. La medida del SEV fue desde 3 m a 50 m.

Tabla 47

Cuadro de las coordenadas del SEV ubicado en el puente “La Villa”.

Coordenadas UTM WGS-84 de SEV en puente “La Villa”		
N° Punto SEV	Norte	Este
SEV-03	8098937	294492

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

4.2.5.4. Resultados e interpretación geológica de parámetros geofísicos.

a. Prospección sísmica por refracción.

Las líneas sísmicas; procesadas por SIPIK, identifica el tiempo de primeras ondas que llegan a cada sector figura 32, el Software SeisImager obtiene dromocronas figura 33 y SeisImager tomográfica determina velocidades de ondas sísmicas en secciones geosísmicas por colores correlacionados con la geología, figura 34.

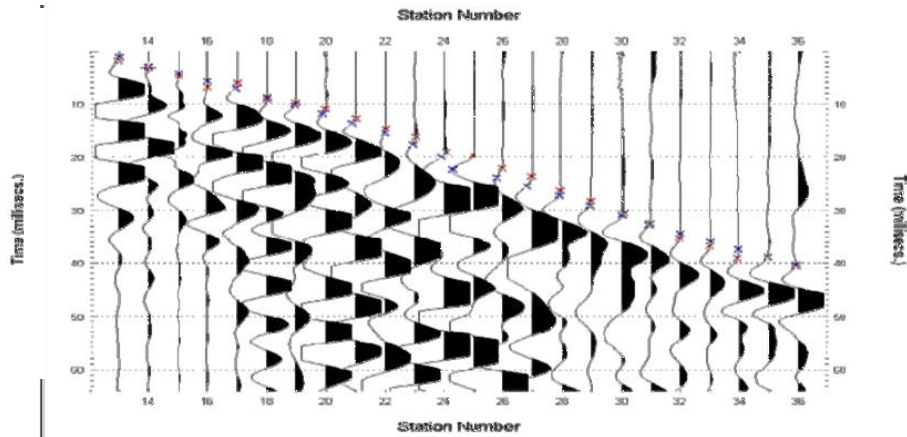


Figura 32. Registro de arribo de los tiempos de arribo de las ondas sísmicas a los sensores.

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

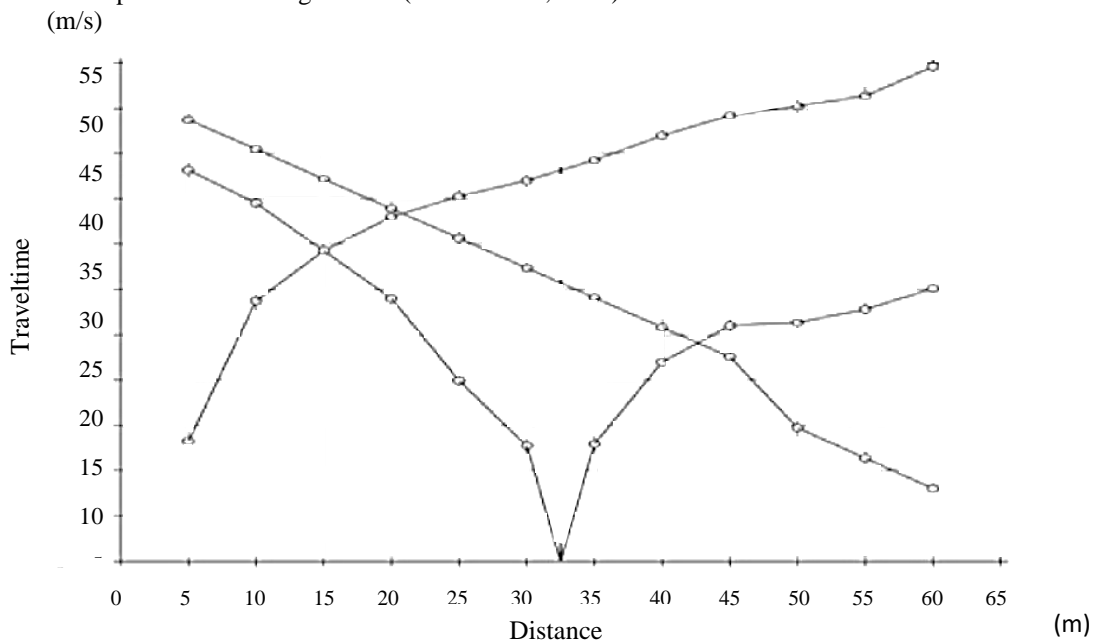


Figura 33. Dromocronas de la línea sísmica.

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

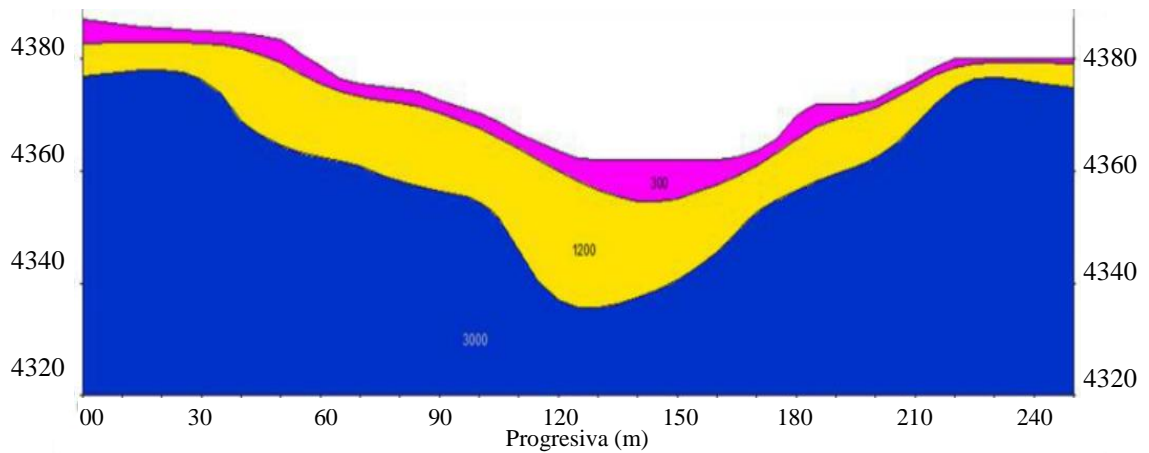


Figura 34. Representación de las velocidades sísmicas en una línea sísmica.

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

b. Estratos geosísmicos.

La interpretación de sismogramas se diferencia por las velocidades, cada color representa un estrato geosísmico; se agrupan 4 estratos con velocidades de 300, 700, 1.500 y 3.000 m/s.

Estas velocidades indican la correlación y variación de los espesores de los estratos, mostradas en todas las secciones geosísmicas trazadas. La tabla 48 muestra las diferentes características de los estratos geosísmicos.

Tabla 48
Características de los diferentes estratos geosísmicos.

Nº Estrato	Velocidad (m/s)	Color	Características
1	300	Rosado	Suelos blandos antrópicos, terrenos agrícolas y sedimentos aluviales, margen izquierdo en malecón.
2	700	Amarillo	Arenas, gravas finas a gruesas, piedras sub-redondeadas, alternados arcillas y/o limos; relativo grado de compactación.
3	1500	Verde	Arenas, gravas más gruesas, piedras sub-redondeadas, por sectores: arcillas y/o limos; con mayor grado de compactación que el anterior estrato.
	> 3000	Azul claro	Arenas, gravas finas a gruesas, rocas o piedras sub-redondeadas de mayor tamaño, arcillas y/o limos; con mucho mayor grado de compactación.

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

c. Interpretación geosísmica de las líneas sísmicas.

La interpretación por cada líneas sísmicas resultantes se resumen en la tabla 49, tabla 50 y tabla 51. Los detalles de los resultados se encuentran en el apéndice F.

Tabla 49*Velocidades y espesores de los estratos geosísmicas del tramo 05, línea sísmica N°27.*

Línea sísmica	Estrato	Vp (m/s)	Espesor (m)	Litología geosísmica
N° 27	1ER	300	0,3 a 0,5	Suelos blandos de origen antrópico ubicado en la pista de la Av. Mariscal Nieto (Malecón), gravas, arenas, limos y arcillas.
	2DO	700	1,5 a 2,5	Arenas gruesas y bolonerías con matriz de material fino con limos y arcillas ligeramente compactos.
	3ER	1.500	5,0 a 10,0	Arenas gruesas a finas con bolonerías y con poca arcilla o limos, ligeramente más compactos que el anterior estrato.
	4TO	3.000	6,8 a 13,0	Arenas finas a gruesas y bolonerías con matriz con arcillas y/o limos muy compactos.

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016)

Tabla 50*Velocidades y espesores de los estratos geosísmicas del tramo 05, línea sísmica N°28.*

Línea sísmica	Estrato	Vp (m/s)	Espesor (m)	Litología geosísmica
N° 28	1ER	300	0,5 a 2,0	Suelos blandos de origen antrópico ubicado en la pista de la Av. Mariscal Nieto (Malecón), gravas, arenas, limos y arcillas.
	2DO	700	2,3 a 4,5	Arenas gruesas y bolonerías con matriz de material fino con limos y arcillas ligeramente compactos.
	3ER	1.500	3,3 a 5,5	Arenas gruesas a finas con bolonerías y con poca arcilla o limos, ligeramente más compactos que el anterior estrato.
	4TO	3.000	6,1 a 12,0	Arenas finas a gruesas y boconerías con matriz con arcillas y/o limos muy compactos.

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016).

Tabla 51*Velocidades y espesores de los estratos geosísmicas del tramo 05, línea sísmica N°29.*

Línea sísmica	Estrato	Vp (m/s)	Espesor (m)	Litología geosísmica
N° 29	1ER	300	0,2 a 2,0	Suelos de origen aluvial en el lecho del río, suelos antrópicos en el tremo del río.
	2DO	700	0,5 a 2,5	Arenas gruesas y bolonerías con matriz de material fino con limos y arcillas ligeramente compactos.
	3ER	1500	2,5 a 5,5	Arenas gruesas a finas con bolonerías y con poca arcilla o limos, ligeramente más compactos que el anterior estrato.
	4TO	3000	3,2 a 10,0	Arenas finas a gruesas y bolonerías con matriz con arcillas y/o limos muy compactos.

Fuente: Adaptado de estudio geofísico (IVP-MPMN, 2016).

d. Interpretación geoelectrica de las secciones tomográficas.

Se correlacionaron las resistividades eléctricas con la probable litología de las formaciones geológicas, presencia de agua y como se emplazan en cada tipo de estrato en la longitud de distribución de cables con sus respectivos electrodos.

A continuación se describe cada tomografía eléctrica para la sección-05.

Los detalles de los resultados se encuentran en el apéndice E.

Tabla 52*Descripción secciones tomográficas tramo -05.*

N° tomografía	Ubicación referencial	Descripción
TME-32	Margen derecha de río (aguas abajo puente "La Villa")	Color verde de arenas gravas y arcillas saturadas. Color azul por arenas, gravas graduadas con arcillas y limos. Color rojo de arenas, gravas finas a gruesas sub-redondeadas compactadas.
TME-33	Trazo perpendicular al río (aguas abajo puente "La Villa")	Color café a magenta oscuro por sedimentos gruesos y compactos al margen izquierdo del río; sedimentos finos a gruesos poco húmedos y compactos con espesor de 3 a 12 m el margen derecho.
TME-01'	Trazo sobre el sardinel del malecón ribereño	De 3-5 m, arenas, gravas sub-redondeadas, arcillas y limos; 2do estr. de 5 a 8 m, sedimentos semicompactos arenas, gravas finas a gruesas y 3er estr. mayor de 10 m con arenas gravas y arcillas.

Fuente: Adaptado de estudio Geofísico (IVP-MPMN, 2016)

e. Tomografía eléctrica puntual.

Efectuado con la finalidad de conocer a detalle la columna geo resistiva. La toma de data fue debajo del puente “La Villa” en suelo húmedo con bolonerías, gravas y sedimentos finos, identificado como SEV 03 en el tramo 05, ver apéndice E.



Figura 35. Toma de data de SEV-03, debajo del puente La Villa.

Fuente: Adaptado de estudio Geofísico (IVP-MPMN, 2016)

4.2.6. Estudio de tráfico.

4.2.6.1. Objetivos.

El objetivo principal es cuantificar, clasificar tipos de vehículos y conocer el volumen futuro proyectado que transita por dos tramos identificados y delimitados.

Tabla 53

Ubicación estaciones para estudio de tráfico.

Estación E-01: Puente “La Villa”	Estación E-02: Carretera Binacional
La red vial vecinal ruta N° MO-591, trayectoria emp. Mo-590 (Pte. Samegua) – Emp. MO – 579 (Los Ángeles) en puente “La Villa”.	Ruta transversal N° MO-590, trayectoria: emp. PE-36 A (Pte. Samegua) - Emp. PE-3 de la red vial nacional PE-36 A: Moquegua - Samegua en carretera binacional.

El conteo vehicular efectuado en sentidos origen-destino y subida-bajada en estaciones E-01 y E-02 respectivamente; se analizó indicadores del tráfico generado por la estructura vial proyectada y cambio viajes. Se determinará el Índice Medio Diario Vehicular [IMD] de la vía para el diseño de la estructura propuesta.

4.2.6.2. Alcances del estudio de tráfico.

a. Localización.

Camino vecinal ruta N° MO-591 según el DS N° 036-2011-MTC, y vía transversal o malecón ribereño-carretera binacional ruta N° MO-590: trayectoria emp. PE-36 a (Pte. Samegua) - Emp. PE-36 A: Moquegua-Samegua. Ver figura 36 y 37.



Figura 36. Mapa vial de la provincia de Mariscal Nieto - departamento Moquegua.

Fuente: DGCF, PVN, PVD, GTT, OGPP, IGN, INEI, SERNANP, MINEDU



Figura 37. Diagrama vial de ruta MO-590 y MO-591 indicando a estaciones E-01 y E-02.

Fuente: Adaptado de imágenes Google Earth.

b. Metodología de trabajo en campo.

Monitoreo visual en estaciones E-01 y E-02 en cuatro etapas, ver figura 38.

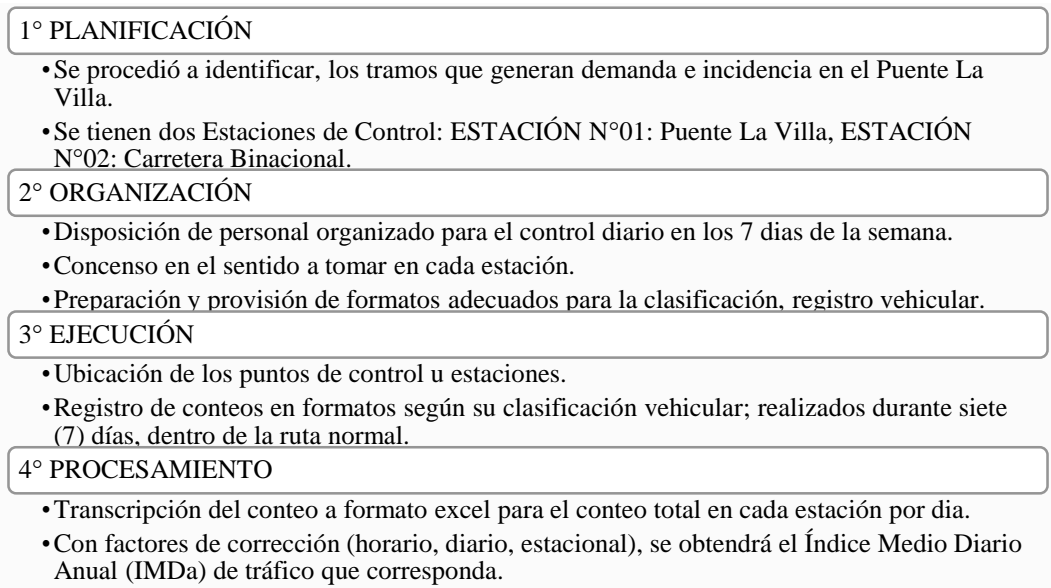


Figura 38. Metodología de trabajo de actividades para el estudio de tráfico.

Las labores de conteo y clasificación con desarrollo progresivo, 24 horas del día durante 7 días de la semana, desde el jueves 24 de agosto al sábado 09 de setiembre por la disposición de personal. Los meses de febrero a abril por temporada de cosecha de los cultivos y frutales en zonas de producción; trabajos de construcción, movimiento minero y labores universitarias y escolares.

c. Criterios para la segmentación de la Ruta vecinal.

La vía identificada que atraviesa e involucra el estudio, corresponde al camino vecinal ruta N° MO-591, trayectoria emp. Mo-590 Pte. Samegua – Emp. MO – 579 (Los Ángeles) donde se encuentra el puente “La Villa”.

El tráfico vehicular no es uniforme en su extensión y el tramo perpendicular ruta transversal N° MO-590, trayectoria: emp. PE-36 A Pte. Samegua - emp. PE-36 A, por donde pasa una red vial nacional PE-36 A: Moquegua-Samegua binacional, tiene similar o mayor tráfico.

Las estaciones E-01 y E-02 ubicadas en la red vial vecinal ruta N° MO-591 y ruta transversal N° MO-590 respectivamente, cumple criterios de calificación.

- Los tramos de estudio, unen localidades o adhieren otras rutas: ruta N° MO-591 Moquegua-Los Ángeles, y ruta transversal N° MO-590 Moquegua - Samegua, malecón ribereño-binacional.
- Se garantiza que el tráfico hace el recorrido total en ruta identificada; la estación E-01, ruta N° MO-591 Moquegua-Los Ángeles, atraviesa el puente “La Villa”.
- El análisis de la ruta N° MO-591 Moquegua-Los Ángeles y la ruta transversal N° MO-590, tienen la combinación entre cambios de volumen de transitabilidad.
- El camino con longitud menor justifica el estudio de un tramo además y la carretera binacional como ruta alterna en tramo transversal.

4.2.6.3. Horizonte del proyecto.

El horizonte del proyecto es 20 años, considerando mantenimiento periódico, rutinario y reforzamiento. Las proyecciones de tráfico son por tipo de vehículo, tasa anual de crecimiento, tendencia histórica o proyecciones socio económico del PBI local para vehículos de carga. La tabla 54 define la proyección del tráfico.

Tabla 54
Proyección del tráfico respecto del proyecto.

Descripción	Año
Año del Censo de Tráfico	2017
Años de Ejecución del proyecto - Año 0	2018
Año 3 del Horizonte del Proyecto	2021
Año 5 del Horizonte del Proyecto	2023
Año 10 del Horizonte del Proyecto	2028
Año 20 del Horizonte del Proyecto	2038

4.2.6.4. Descripción de la demanda.

La demanda depende del flujo vehicular para satisfacer necesidades de transporte de pasajeros, carga, servicio turístico, transporte de personal.

La población beneficiada es Moquegua, CP. Los Ángeles y Mariscal Nieto en la actividad extractiva, productiva y comercial de alimentos, turismo, restaurantes, bodegas, aeropuerto como principales demandantes de la ruta vial.

El transporte interprovincial de pasajeros y carga, genera menor costo operativo conforme a tiempo recorrido, incrementa el rendimiento del combustible.

Empresas de turismo afectos al incremento de actividades y estancia de turistas nacionales y extranjero garantizada por paso en puente “La Villa”.

4.2.6.5. Conceptualización general.

El estudio considera tráfico normal, generado y desviado, detallado en tabla 55.

Tabla 55

Conceptualización de premisas de tráfico normal, tráfico generado y tráfico desviado.

Tipo de tráfico	Descripción
Tráfico normal	Tráfico que circula por la carretera en estudio en situación sin proyecto y no se modifican en la situación con proyecto.
Tráfico generado	No existía en carretera en situación sin proyecto, es efecto directo de ejecución del proyecto por reducción del costo de transporte en carretera.
Tráfico desviado	En la situación sin proyecto utiliza otra carretera para su desplazamiento, una vez ejecutado el proyecto utilizara una parte o en forma total la carretera rehabilitada o mejorada.

4.2.6.6. Consideraciones generales.

a. Estaciones de conteo.

El flujo vehicular está determinado por el IMD, con datos dos estaciones ver en tabla 56.

Tabla 56*Estaciones de conteo vehicular.*

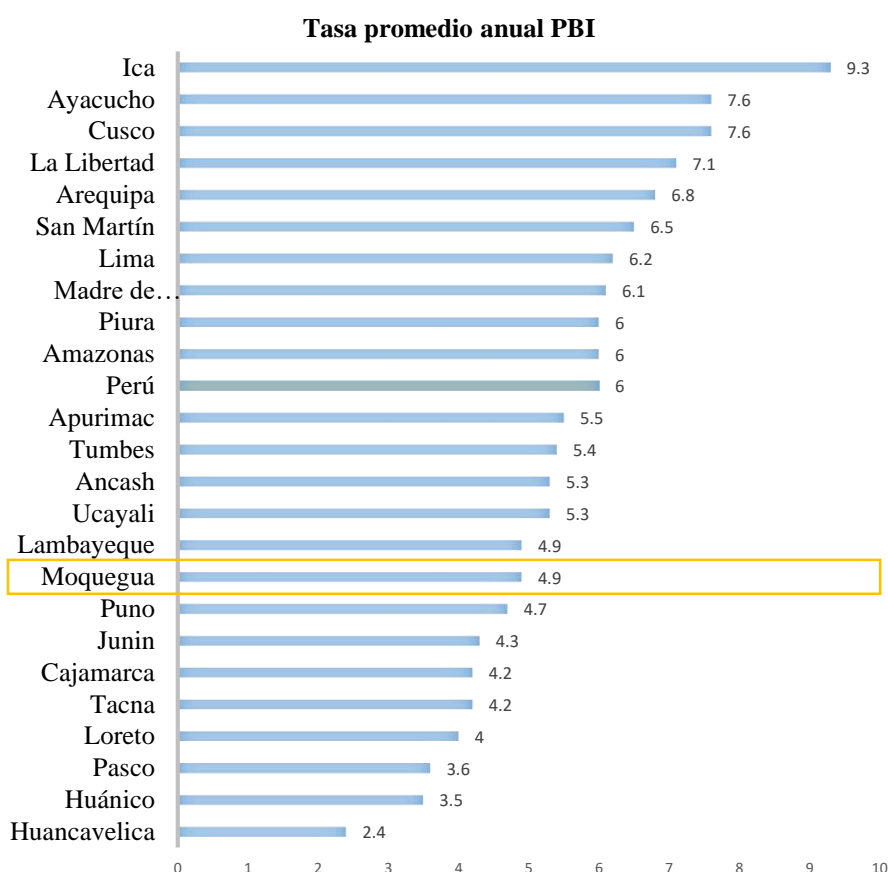
N°	Denominación	Sentido	Código
	Estación		
01	Puente La Villa	Moq-Ang (v)*	E-01
02	Carretera Binacional	Sube-Baja (v)**	E-02

* Se tomarán ambos sentidos: Moquegua-Los Ángeles, Los Ángeles-Moquegua.

** Se tomarán los sentidos: sube-baja e inversa.

b. Proyección del tráfico en el horizonte del proyecto.

La proyección de tráfico futuro de vehículos de carga como camión 2E, Camión 3E se emplea indicadores macroeconómicos como el PBI regional, para la región Moquegua 4.90%, ver figura 39.

*Figura 39. Perú, tasa promedio anual del PBI 2001-2009.*

Fuente: INEI-Dirección nacional de cuentas nacionales.

El crecimiento anual de tráfico para vehículos pasajeros de automóvil, bus mediano, bus grande, camioneta según tasa de crecimiento poblacional promedio en Mariscal Nieto, del censo nacional 2007, para Mariscal Nieto 1.60% , ver tabla 57.

Tabla 57*Moquegua, tasa de crecimiento promedio anual de población por provincia en %.*

Provincia	1972-1981	1981-1993	1993-2007
Total	3,5	2,0	1,6
Mariscal Nieto	4,4	2,1	1,6
General Sánchez Cerro	-0,5	0,6	1,8
Ilo	4,8	2,4	1,5

Fuente: INE – Censos nacionales de población y vivienda 1972, 1981, 1993 y 2007

La ejecución de proyecto y tipo de carretera, actividades productivas, comerciales del área influenciada; presenta tráfico generado del flujo vehicular de 15% en general para pasajeros y carga. El tráfico generado en la vía departamental MO-591 partir del año 6 es 2023, con el proyecto en operación y funcionamiento.

c. Tráfico desviado.

Se determinó que el tráfico desviado proviene de ruta MO-590.

Trayectoria Emp. PE-36 A (Pte. Samegua) - Emp. PE-36 A, paso de la Red vial Nacional PE-36 A: Moquegua-Samegua denominado C. Binacional PE-36 A.

La Ruta MO-590 fue considerada para determinar el Tráfico Desviado, por tanto se instaló la estación de conteo E-02, en la C. Binacional PE-36 A.

4.2.6.7. Determinación del índice medio diario (IMD).*a. Metodología.*

El tráfico medio diario es el número total de vehículos que circulan en un período dado igual o menor de un año, dividido entre el número de días del período; clasificará ruta de camino vecina MO-591 de paso en puente la Villa, como camino de bajo, medio o alto tránsito, y características geométricas del camino.

La recolección, labores de conteo y clasificación en campo fue continua de más de 12 horas consecutivas de las 24:00 durante 7 días de la semana, desde jueves 24 de agosto al sábado 09 de setiembre del año 2018 por la disposición del personal; el tráfico vehicular es variable de acuerdo a rutas y estaciones de estudio.

Se considera el Índice Medio Diario Anual [IMDA o IMD]. El estudio contempla tres etapas definidas, ver figura 40.

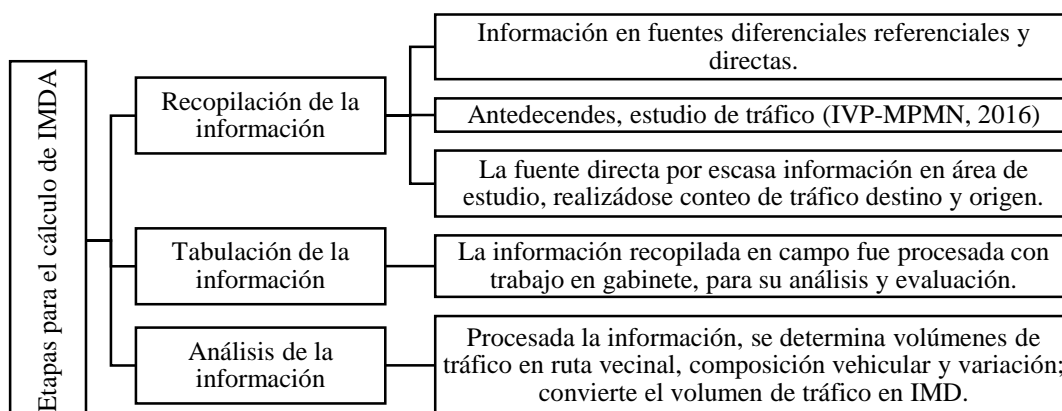


Figura 40. Etapas para el cálculo de IMDA.

b. Puntos de aforo y clasificación.

El relevamiento de datos en campo consideró simultáneamente 02 brigadas de tráfico con dos encuestadores para el conteo y clasificación simultánea. La ubicación de puntos de aforo conteos figura en la tabla 58.

Tabla 58

Ubicación de puntos de aforo.

Código	Ruta	Ubicación	Nombre
E-01	MO-591	Moquegua – Los Ángeles	Puente “La Villa”
E-02	MO-590 (PE-36A)	Carretera Binacional: Moquegua-Samegua	Carretera Binacional

La clasificación vehicular corresponde a autos-camionetas, camioneta rural, micros, ómnibus de 2 ejes, ómnibus de 3, camiones de dos ejes, camiones de tres ejes, camiones de cuatro ejes, vehículos articulados de 3 ejes, cuatro ejes, de cinco ejes, de seis ejes y siete ejes desagregados en trailers y semitrailers.

c. Índice medio diario anual (IMDA).

El cálculo del IMDA emplea las ecuaciones 13 y 14, para un conteo de 7 días:

$$IMD_s = \sum \frac{V_i}{7} \quad (\text{Estaciones de 7 días}) \quad [\text{Ecuación 25}]$$

$$IMD_a = IMD_s * FC \quad [\text{Ecuación 26}]$$

4.2.6.8. Estación puente “La Villa” E-01.

Se instaló en accesos al puente “La Villa”, próximo a feria “Chacra a la Olla”, en la Ruta de camino vecinal MO-591.

a. Tráfico normal.

El conteo fue hecho durante siete días en agosto-setiembre del 2017, iniciándose el jueves 24 de agosto al sábado 09 de setiembre, por la disponibilidad de personal.

La estación E-01, se clasificó “estación principal”, por la importancia como vía circundante por el puente en estudio. El conteo de tráfico se muestra en tabla 59.

Tabla 59

Clasificación vehicular diaria en ambos sentidos Moq-Ang y Ang-Moq, estación E-01.

Tipo Vehículo	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles
Auto	3343	4114	4911	2306	2770	3014	2168
Station Wagon	673	3528	4585	1933	1863	704	1147
Camioneta	749	1184	859	429	800	706	541
Panel	36	147	48	62	86	55	42
Combi Rural	568	655	616	375	503	507	364
Micro	34	47	22	7	16	10	8
Bus 2 Ejes	51	5	11	0	27	10	5
Bus 3 Ejes	0	0	0	2	2	0	1
Camion 2 ejes	109	297	153	65	61	65	76
Camion 3 ejes	15	14	14	6	15	16	8
Camion 4 ejes	3	0	1	0	0	0	0
Semitrailer 2S1/2S2	1	0	0	0	0	0	0
Semitrailer 2S3	0	0	3	0	0	0	0
Semitrailer 3S1/3S2	2	0	0	0	0	0	0
Semitrailer >= 3S3	6	11	1	0	1	0	0
Total	5590	10002	11224	5185	6144	5087	4360

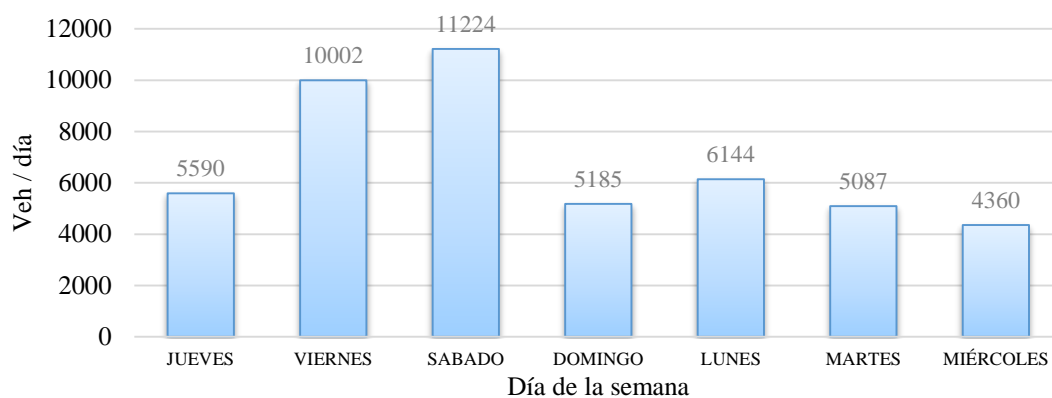


Figura 41. Volumen de tráfico por día, estación E-01.

El cálculo del IMDa considera el factor de corrección del peaje Pampa Cuellar R-36A con código P047, de la carretera Binacional Ilo-Moquegua-Desaguadero ruta 36-A, ver tabla 60. Los resultados se muestran en la tabla 61.

Tabla 60

Factor de corrección del peaje Pampa Cuellar R-36A código P047, estación E-01.

MES	2000-2010	
	Ligeros	Pesados
Agosto	0.74055751	0.91436492
Setiembre	1.05141319	1.02414219

Fuente: Unidades Peaje PVN_OGPP

Tabla 61

Resumen IMDa: volumen y clasificación vehicular, estación E-01.

Tipo Vehículo	Veh/día	%
Auto	2897	46.6
Station Wagon	1973	31.7
Camioneta	667	10.7
Panel	62	1.0
Combi Rural	453	7.3
Micro	20	0.3
Bus 2 Ejes	14	0.2
Bus 3 Ejes	1	0.0
Camion 2 ejes	116	1.9
Camion 3 ejes	12	0.2
Camion 4 ejes	1	0.0
Semitrailer 2S1/2S2	0	0.0
Semitrailer 2S3	0	0.0
Semitrailer 3S1/3S2	0	0.0
Semitrailer >= 3S3	3	0.0
Total	6219	100.0

La estación Los Ángeles tiene un IMDa de 6219 vehículos, frecuencia de paso en el tramo: Moquegua puente “La Villa” – Los Ángeles. Detalles en tabla 63.

El 97.3% corresponde a vehículos ligeros y el 2.70% a vehículos pesados. Así como, el 97.90% son vehículos de pasajeros y el 2.10% son vehículos de carga.

La tabla 62 presenta el volumen de tráfico y clasificación vehicular para el año de conteo en el 2017, para el año 1, para el año 5, para el año 10 y para el año 20 del IMDa normal en el horizonte del proyecto.

Tabla 62

Tráfico normal en el horizonte del proyecto IMDa por tipo de vehículo, estación E-01.

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 5	Año 10	Año 20
	2018	2019	2023	2028	2038
Auto	2943	2990	3186	3450	4043
Station Wagon	2005	2037	2170	2349	2754
Camioneta	678	689	734	794	931
Panel	63	64	68	74	86
Combi Rural	460	467	498	539	632
Micro	20	21	22	24	28
Bus 2 Ejes	15	15	16	17	20
Bus 3 Ejes	1	1	1	1	1
Camion 2 ejes	122	128	155	196	317
Camion 3 ejes	13	13	16	20	33
Camion 4 ejes	1	1	1	1	1
Semitrailer 2S1/2S2	0	0	0	0	0
Semitrailer 2S3	0	0	1	1	1
Semitrailer 3S1/3S2	0	0	0	0	1
Semitrailer >= 3S3	3	3	4	5	7
TOTAL	6323	6428	6871	7471	8855

Tabla 63

IMDa por tipo de vehículo, estación E-01.

Tipo Vehículo	Tráfico vehicular en ambos sentidos por día							Total semana	IMDs= $\Sigma v_i/7$	FC		IMDa=I MDsxF C
	Agosto	Septiembre	Septiembre	Septiembre	Agosto	Agosto	Agosto			Factor de Corrección estacional		
	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles			Agosto	Setiembre	
Auto	3343	4114	4911	2306	2770	3014	2168	22626	3232	0.74055751	1.05141319	2897
Station Wagon	673	3528	4585	1933	1863	704	1147	14433	2062	0.74055751	1.05141319	1973
Camioneta	749	1184	859	429	800	706	541	5268	753	0.74055751	1.05141319	667
Panel	36	147	48	62	86	55	42	476	68	0.74055751	1.05141319	62
Combi rural	568	655	616	375	503	507	364	3588	513	0.74055751	1.05141319	453
Micro	34	47	22	7	16	10	8	144	21	0.91436492	1.02414219	20
Bus 2 ejes	51	5	11	0	27	10	5	109	16	0.91436492	1.02414219	14
Bus 3 ejes	0	0	0	2	2	0	1	5	1	0.91436492	1.02414219	1
Camion 2 ejes	109	297	153	65	61	65	76	826	118	0.91436492	1.02414219	116
Camion 3 ejes	15	14	14	6	15	16	8	88	13	0.91436492	1.02414219	12
Camion 4 ejes	3	0	1	0	0	0	0	4	1	0.91436492	1.02414219	1
Semitrailer 2S1/2S2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0.91436492	1.02414219	0
Semitrailer 2S3	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0.91436492	1.02414219	0
Semitrailer 3S1/3S2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0.91436492	1.02414219	0
Semitrailer >= 3S3	6	11	1	0	1	0	0	19	3	0.91436492	1.02414219	3
Total	5590	10002	11224	5185	6144	5087	4360	47592	6799			6219

b. Tráfico generado.

La tabla 64 muestra la proyección en años 1, 5,10 y 20 del tráfico generado en horizonte de proyecto, con tráfico normal de 15%, la intervención es mejoramiento.

Tabla 64

Tráfico generado en horizonte del proyecto, IMDa por tipo de vehículo, estación E-01.

Tipo de Vehículo	Año de Conteo	Año 1	Año 5	Año 10	Año 20
	2017	2019	2023	2028	2038
Auto	0	449	478	517	606
Station Wagon	0	306	326	352	413
Camioneta	0	103	110	119	140
Panel	0	10	10	11	13
Combi rural	0	70	75	81	95
Micro	0	3	3	4	4
Bus 2 ejes	0	2	2	3	3
Bus 3 ejes	0	0	0	0	0
Camion 2 ejes	0	19	23	29	48
Camion 3 ejes	0	2	2	3	5
Camion 4 ejes	0	0	0	0	0
Semitrailer 2S1/2S2	0	0	0	0	0
Semitrailer 2S3	0	0	0	0	0
Semitrailer 3S1/3S2	0	0	0	0	0
Semitrailer >= 3S3	0	0	1	1	1
Total	0	964	1031	1121	1328

c. Tráfico total, normal + generado en el horizonte del proyecto.

La tabla 65 presenta la proyección del tráfico total en el horizonte del proyecto.

Tabla 65

Tráfico total en el horizonte del proyecto IMDa por tipo de vehículo, estación E-01.

Tipo de Vehículo	Año de Conteo	Año 1	Año 5	Año 10	Año 20
	2017	2019	2023	2028	2038
Auto	0	3439	3664	3967	4649
Station Wagon	0	2342	2496	2702	3167
Camioneta	0	792	844	914	1071
Panel	0	73	78	85	99
Combi rural	0	537	573	620	727
Micro	0	24	25	27	32
Bus 2 ejes	0	17	18	20	23
Bus 3 ejes	0	1	1	1	1
Camion 2 ejes	0	147	178	226	364
Camion 3 ejes	0	15	18	23	38
Camion 4 ejes	0	1	1	1	2
Semitrailer 2S1/2S2	0	0	0	0	0
Semitrailer 2S3	0	1	1	1	1
Semitrailer 3S1/3S2	0	0	0	1	1
Semitrailer >= 3S3	0	3	4	5	8
Total	0	7393	7901	8592	10184

4.2.6.9. Estación carretera Binacional: E-02.

Se instaló en accesos al puente “La Villa” en el cruce con la Binacional, en la ruta transversal N° MO-590, trayectoria: Emp. PE-36 A Pte. Samegua - Emp. PE-3 A con paso de la red vial nacional PE-36 A: carretera Binacional.

a. Tráfico normal.

La estación E-02 determinar el tráfico desviado de la ruta R-36 A hacia la carretera vecinal MO-591, conteo realizado en siete días consecutivos en el mes de agosto-setiembre del 2017, del jueves 24 de agosto al sábado 09 de setiembre, por la disponibilidad de personal. La estación n°02 carretera Binacional: E-02, se clasifica como “estación desvío”. El conteo de tráfico se muestra en la tabla 66 y figura 42.

Tabla 66

Clasificación vehicular diaria en sentidos sube-baja y baja-sube, estación E-02.

Tipo vehiculo	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles
Auto	3504	4496	6147	3282	3126	3848	2950
Station Wagon	764	3405	4384	3011	2395	1316	1465
Camioneta	935	1501	1348	722	1097	1116	785
Panel	42	186	80	55	130	135	83
Combi Rural	210	443	379	179	294	181	138
Micro	40	29	13	5	7	7	6
Bus 2 Ejes	29	91	22	39	52	7	10
Bus 3 Ejes	9	23	23	17	26	27	26
Camion 2 Ejes	253	383	211	113	208	214	153
Camion 3 Ejes	57	77	63	17	75	118	54
Camion 4 Ejes	5	10	2	8	0	4	3
Semitrailer 2S1/2S2	8	1	2	0	1	3	1
Semitrailer 2S3	11	4	15	10	6	5	2
Semitrailer 3S1/3S2	10	0	4	0	0	2	5
Semitrailer >= 3S3	31	51	13	18	14	9	13
Total	5908	10700	12706	7476	7431	6992	5694

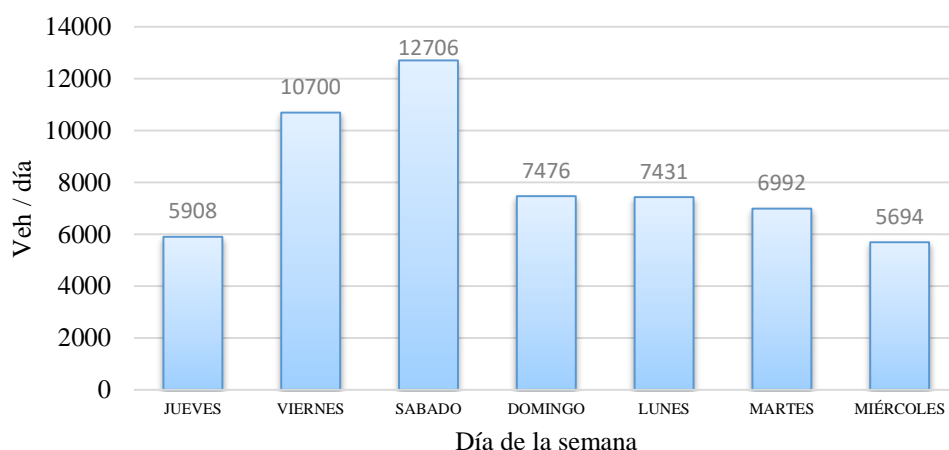


Figura 42. Conteo de tráfico: volumen de tráfico por día, estación E-02.

El cálculo del IMDa determinado con el factor de corrección del peaje Pampa Cuellar R-36A con Código P047, carretera Binacional Ilo-Moquegua-Desaguadero Ruta 36-A, ver tabla 67. Los resultados en la tabla 68 y 69.

Tabla 67

Factor de corrección, peaje Pampa Cuellar R-36A, estación E-02.

Mes	2000-2010	
	Ligeros	Pesados
AGOSTO	0.74055751	0.91436492
SETIEMBRE	1.05141319	1.02414219

Fuente: Fuente: Unidades peaje PVN_OGPP

Tabla 68

IMDa: Volumen y clasificación vehicular de la estación 02.

Tipo Vehículo	Veh/día	%
Auto	3.512	47,3
Station Wagon	2.251	30,3
Camioneta	952	12,8
Panel	89	1,2
Combi Rural	237	3,2
Micro	15	0,2
Bus 2 Ejes	35	0,5
Bus 3 Ejes	21	0,3
Camion 2 Ejes	212	2,8
Camion 3 Ejes	63	0,8
Camion 4 Ejes	4	0,1
Semitrailer 2S1/2S2	2	0,0
Semitrailer 2S3	7	0,1
Semitrailer 3S1/3S2	3	0,0
Semitrailer >= 3S3	21	0,3
TOTAL	7424	100.0

En la estación carretera binacional se tiene un IMDa de 7424 vehículos, frecuencia de paso en el Tramo: Moquegua (Puente La Villa) – Los Ángeles, detalles tabla 70.

El 94.9% de vehículos ligeros y el 5.1% vehículos pesados. Así como, el 95.8% corresponde a vehículos de pasajeros y el 4.2% son vehículos de carga.

En tabla 69 se presenta el volumen de tráfico y clasificación vehicular para el año de conteo en el 2017, para el año 1, para el año 5, para el año 10 y para el año 20 del IMDa normal en el horizonte del proyecto.

Tabla 69

Tráfico normal en el horizonte del proyecto, estación E-02.

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 5	Año 10	Año 20
	2018	2019	2023	2028	2038
Auto	3568	3625	3863	4182	4902
Station Wagon	2287	2323	2475	2680	3141
Camioneta	968	983	1048	1134	1329
Panel	91	92	98	107	125
Combi rural	241	245	261	283	331
Micro	15	15	16	18	21
Bus 2 ejes	36	36	39	42	49
Bus 3 ejes	21	21	23	25	29
Camion 2 ejes	222	233	282	358	578
Camion 3 ejes	66	69	84	106	171
Camion 4 ejes	5	5	6	8	12
Semitrailer 2S1/2S2	2	2	3	4	6
Semitrailer 2S3	8	8	10	12	20
Semitrailer 3S1/3S2	3	3	4	5	8
Semitrailer >= 3S3	22	23	28	35	57
Total	7553	7685	8239	8997	10778

Tabla 70*IMDa por tipo de vehículo, estación E-02.*

Tipo vehículo	Tráfico vehicular en ambos sentidos por día							Total semana	IMDs= ΣVI/7	Fc		IMDa=IMDs xFC
	Agosto	Septiembre	Septiembre	Septiembre	Agosto	Agosto	Agosto			Factor de Corrección estacional		
	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles			Agosto	Setiembre	
Auto	3504	4496	6147	3282	3126	3848	2950	27353	3908	0.74055751	1.05141319	3512
Station Wagon	764	3405	4384	3011	2395	1316	1465	16740	2391	0.74055751	1.05141319	2251
Camioneta	935	1501	1348	722	1097	1116	785	7504	1072	0.74055751	1.05141319	952
Panel	42	186	80	55	130	135	83	711	102	0.74055751	1.05141319	89
Combi Rural	210	443	379	179	294	181	138	1824	261	0.74055751	1.05141319	237
Micro	40	29	13	5	7	7	6	107	15	0.91436492	1.02414219	15
Bus 2 Ejes	29	91	22	39	52	7	10	250	36	0.91436492	1.02414219	35
Bus 3 Ejes	9	23	23	17	26	27	26	151	22	0.91436492	1.02414219	21
Camion 2 Ejes	253	383	211	113	208	214	153	1535	219	0.91436492	1.02414219	212
Camion 3 Ejes	57	77	63	17	75	118	54	461	66	0.91436492	1.02414219	63
Camion 4 Ejes	5	10	2	8	0	4	3	32	5	0.91436492	1.02414219	4
Semitrailer 2S1/2S2	8	1	2	0	1	3	1	16	2	0.91436492	1.02414219	2
Semitrailer 2S3	11	4	15	10	6	5	2	53	8	0.91436492	1.02414219	7
Semitrailer 3S1/3S2	10	0	4	0	0	2	5	21	3	0.91436492	1.02414219	3
Semitrailer >= 3S3	31	51	13	18	14	9	13	149	21	0.91436492	1.02414219	21
Total	5908	10700	12706	7476	7431	6992	5694	56907	8130			7424

b. Tráfico total (desviado) en el horizonte del proyecto.

La tabla 71 en la proyección para los años 1, 5,10 y 20 del tráfico desviado en el horizonte del proyecto.

Tabla 71

Tráfico generado, horizonte del proyecto: IMDa por tipo de vehículo, estación E-02.

Tipo de Vehículo	Año de	Año 1	Año 5	Año 10	Año 20
	Conteo				
	2017	2019	2023	2028	2038
Auto	0	544	579	627	735
Station Wagon	0	348	371	402	471
Camioneta	0	147	157	170	199
Panel	0	14	15	16	19
Combi rural	0	37	39	42	50
Micro	0	2	2	3	3
Bus 2 ejes	0	5	6	6	7
Bus 3 ejes	0	3	3	4	4
Camion 2 ejes	0	35	42	54	87
Camion 3 ejes	0	10	13	16	26
Camion 4 ejes	0	1	1	1	2
Semitrailer 2S1/2S2	0	0	0	1	1
Semitrailer 2S3	0	1	1	2	3
Semitrailer 3S1/3S2	0	0	1	1	1
Semitrailer >= 3S3	0	3	4	5	8
Total	0	1153	1236	1350	1617

Tabla 72

Tráfico total, horizonte del proyecto IMDa por tipo de vehículo, estación E-02.

Tipo de Vehículo	Año de	Año 1	Año 5	Año 10	Año 20
	Conteo				
	2017	2019	2023	2028	2038
Auto	0	3439	3664	3967	4649
Station Wagon	0	2342	2496	2702	3167
Camioneta	0	792	844	914	1071
Panel	0	73	78	85	99
Combi Rural	0	537	573	620	727
Micro	0	24	25	27	32
Bus 2 Ejes	0	17	18	20	23
Bus 3 Ejes	0	1	1	1	1
Camion 2 Ejes	0	147	178	226	364
Camion 3 Ejes	0	15	18	23	38
Camion 4 Ejes	0	1	1	1	2
Semitrailer 2S1/2S2	0	0	0	0	0
Semitrailer 2S3	0	1	1	1	1
Semitrailer 3S1/3S2	0	0	0	1	1
Semitrailer >= 3S3	0	3	4	5	8
Total	0	7393	7901	8592	10184

4.3. Inspección del puente existente

La inspección e instrumentación de un puente determina

su condición según el criterio humano y técnico; es un programa de prevención de fallas, garantiza integridad de la estructura. Algunos factores influyentes en la figura 43.



Figura 43. Factores influyentes en inspección de puente.

Las limitaciones visuales se complementan con pruebas de laboratorio y campo. Algunas de estas limitaciones en figura 44.

Limitaciones con inspección en campo	La inspección más común es la visual, pero resulta altamente subjetiva.
	Inspecciones objetivas requieren de personal y equipo especializado costoso.
	Dificultad en el acceso a los elementos a inspeccionar o instrumentar.
	Desconocimiento sobre el tipo de cimentación y su profundidad.
	Imposibilidad de alcanzar a simple vista elementos bajo agua.
	Condiciones pobres de observación por altos niveles del agua y turbidez.
	Alta peligrosidad en condiciones de creciente.

Figura 44. Limitaciones de inspección en campo del puente.

Esta inspección preliminar se complementó con el análisis estructural del puente “La Villa” acompañada de pruebas en campo y laboratorio para su modelación.

La inspección básica se presenta en tablas preestablecidas en la guía de inspección de puentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, ver apéndice B (MTC, 2006).

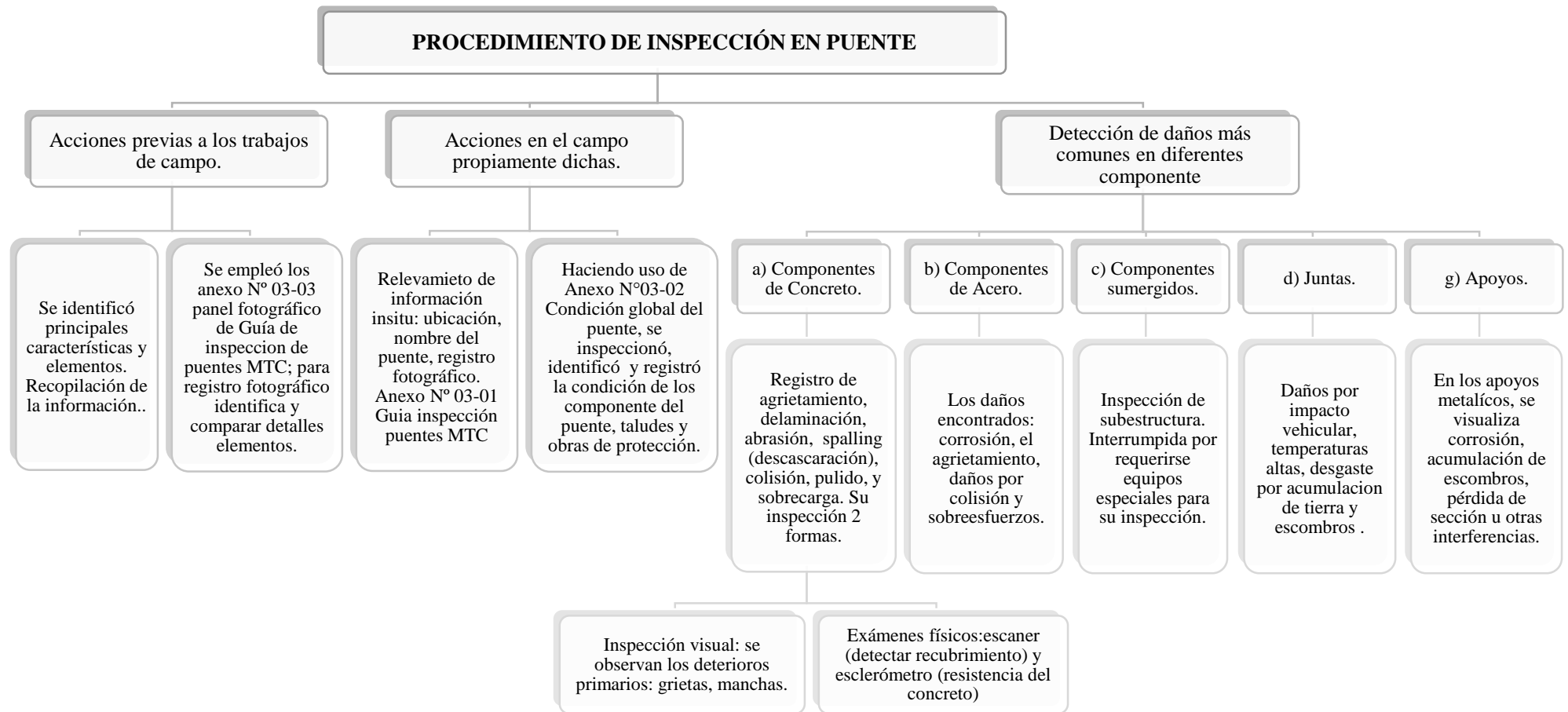


Figura 45. Esquema de procedimiento de inspección.

Fuente: Adaptado de Guía de inspección de puentes (MTC, 2006).

4.3.1. Características de defectos y problemas en elementos del puente.

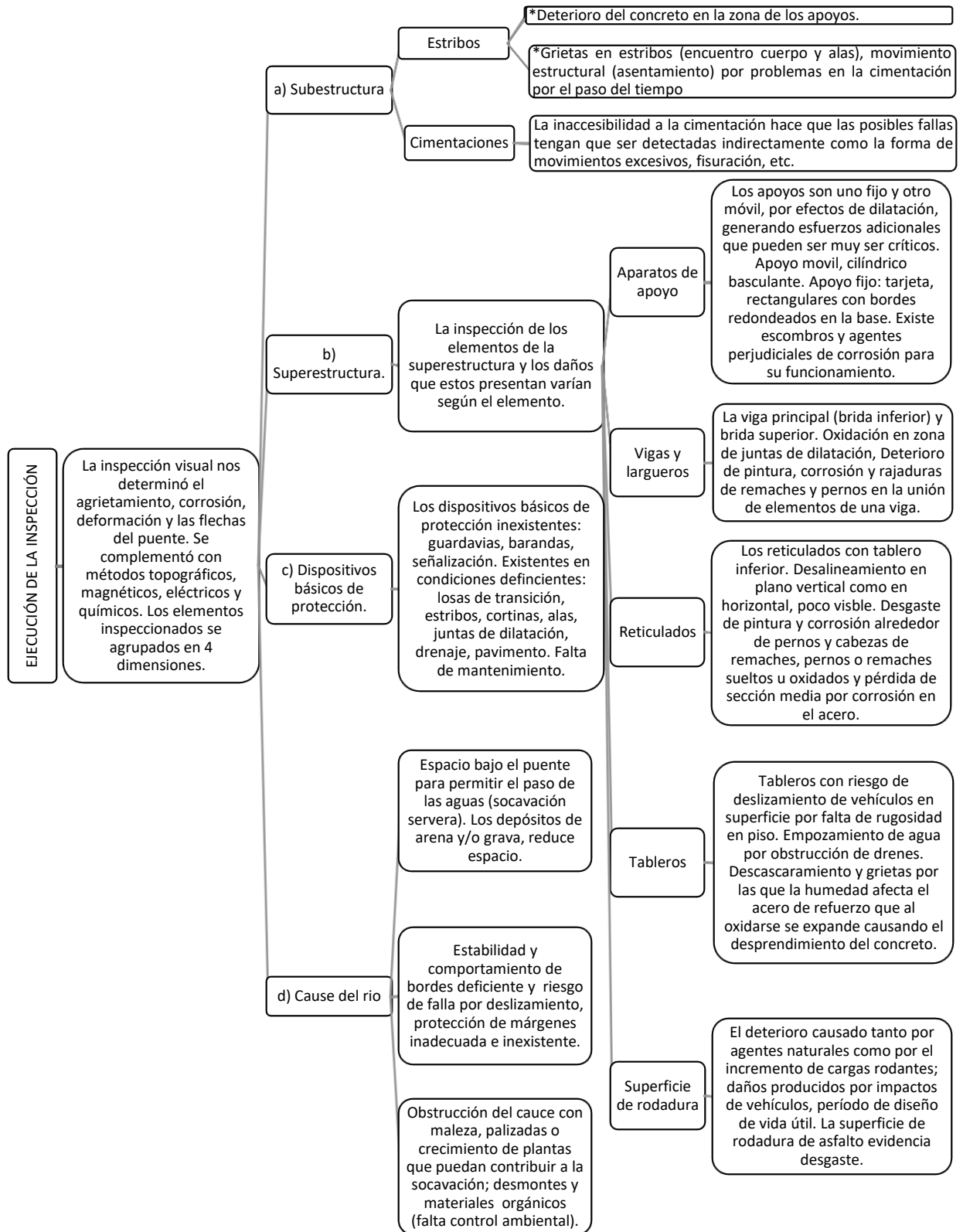


Figura 46. Procedimiento de inspección propiamente dicha.

Fuente: Adaptado de guía de inspección de puentes (MTC, 2006).

Verificar en *anexo N° 03-01. Toma de datos de la inspección* del apéndice B, donde se detallan características y componentes del puente “La Villa”.

4.3.2. Registros de condición actual del puente.

Los resultados de inspección de junio 2017, están en *anexo N° 03-02. Condición Global del puente* del apéndice B, con calificación de 0 a 5, detalles en la tabla 73.

Tabla 73

Descripción de calificación de condición de elementos del puente.

Descripción de la condición	Calificación	Condición
No se observa problemas	0	Muy bueno
Hay problemas menores. Algunos elementos muestran deterioro sin importancia.	1	Bueno
Elementos primarios en buen estado, algunos secundarios con deterioro; pérdida de sección, grietas, descascaramiento o socavación pérdida de sección avanzada.	2	Regular
La pérdida de sección, deterioro o socavación afecta seriamente a elementos estructurales primarios. Posibilidad de fracturas locales, rajaduras en concreto o fatigas en acero. Avanzado deterioro de los elementos estructurales primarios.	3	Malo
- Grietas de fatiga en acero o grietas de corte en el concreto - La socavación compromete el apoyo que debe dar la infraestructura. - Conviene cerrar el puente a menos que este monitoreado.	4	Muy malo
Gran deterioro o pérdida de sección presente en elementos estructurales críticos. - Desplazamientos horizontales o verticales afectan la estabilidad de la estructura. - El puente se cierra al tráfico pero con acciones correctivas se puede restablecer el tránsito de unidades ligeras.	5	Pésimo

4.3.3. Registro fotográfico de la condición de componentes del puente.

En *anexo N°03-03 Panel fotográfico-Condición del puente*, se registró visualmente y con diagramas, defectos y problemas en diferentes componentes del puente “La Villa”.

4.3.4. Evaluación estructural del puente existente.

El análisis estructural del puente existente verificó su estabilidad y resistencia bajo acciones externas considerando cargas y materiales, evaluando que fuerza internas axiales y cortantes y deformaciones resultantes estén entre límites establecidos.

Este análisis confirma el desempeño íntegro en condiciones de seguridad y resistencia bajo condiciones a las que está sometida la estructura. En el *anexo N°03-04. Observaciones y recomendaciones*, se registran los resultados.

4.3.4.1. Condiciones hipotéticas del modelo matemático.

El modelo matemático propuesto, es representado por un número discreto de parámetros que representan el comportamiento aproximado real. Para la formulación matemática se considera simplificaciones e hipótesis.

El modelamiento considera, geometría de la estructura, acciones y condiciones de apoyo; se refleja aproximadamente la rigidez de secciones transversales de elementos, uniones y apoyos. Las condiciones hipotéticas del modelo matemático, se muestra en la figura 47.

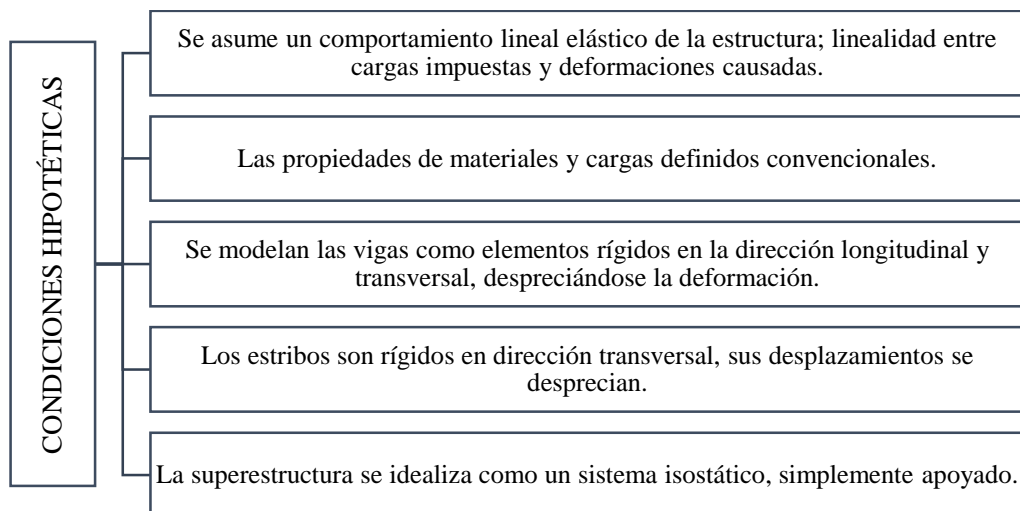


Figura 47. Condiciones hipotéticas de modelo de evaluación estructural.

4.3.4.2. Descripción de la estructura.

El ancho de la calzada es de 6.80 m, más sardinel de base 0.25 m y veredas de 0.58 m promedio, ancho promedio de 8.50 m. El puente conformado por un único tramo isostático, con longitud de 30.32 m a ejes de apoyos y longitud total de 30.50 m.

Superestructura constituida por dos armaduras reticuladas tipo warren o pony trust, tablero de paso inferior. El tablero es concreto armado con sección variable de 40 cm a extremos y espesor central de 0.20 m, superficie de rodadura de asfalto con espesor promedio es de 3 cm.

El tablero del puente se encuentra apoyado sobre 02 vigas principales denominadas bridas inferiores, 09 con vigas secundarias transversales o vigas diafragma además presenta 02 arriostres uno para cada extremo, conectando 02 vigas transversales iniciales; la separación a ejes es de 3.75 m externo y 3.79 m internos. Vereda de concreto la base, huella establecida de 0.58 m y sardinel de base 0.25 m. La altura de baranda superior e inferior a ejes es de: 1.00 m y 0.35 m; detalle gráfico de sección transversal es figura 48.

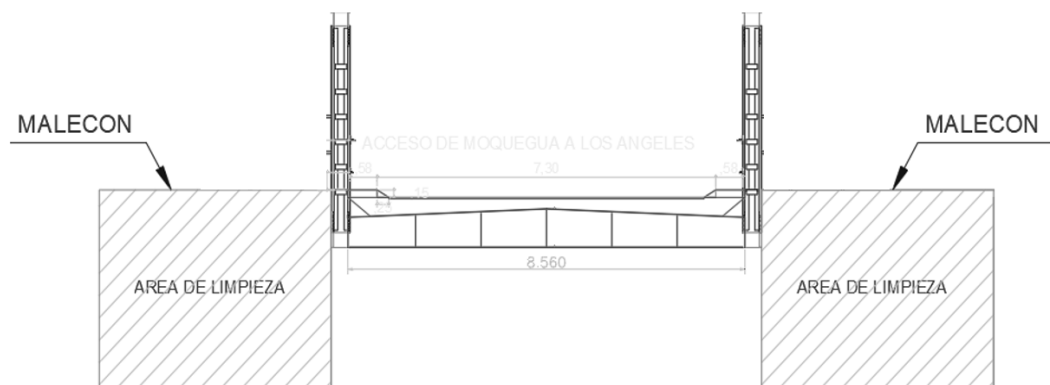


Figura 48. Sección transversal del puente "La Villa".

4.3.4.3. Sistema estructural

La estructura metálica del puente está constituido por los elementos descritos a continuación. Resumen de componentes en figura 49.

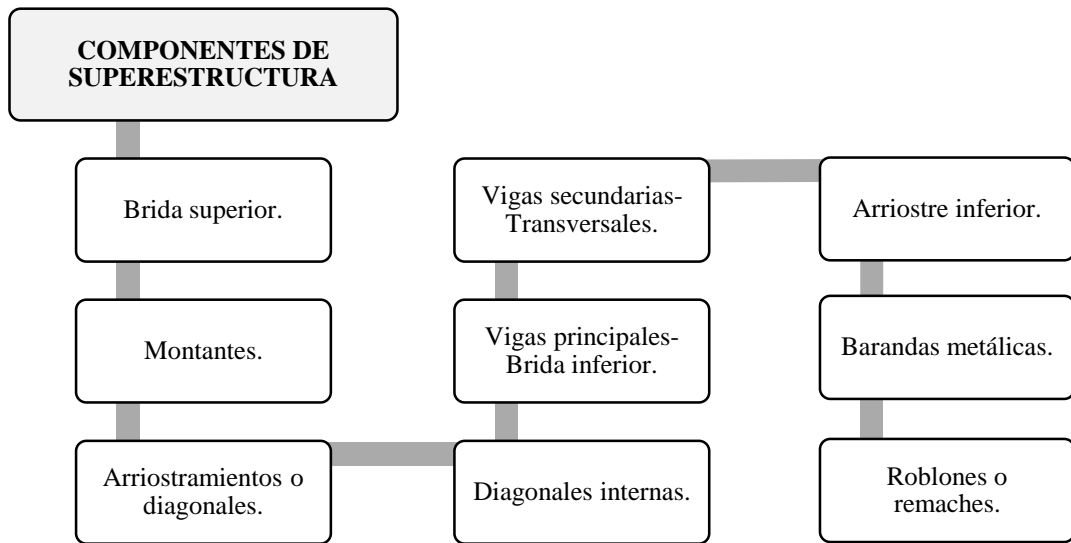


Figura 49. Componentes de superestructura puente “La Villa”.

a. *Brida superior.*

Compuesta por 02 perfiles “U” N°24 de 240x85 AxB (mm) cara con cara y espesor 9.5 cm, unidas por separadores de solera: 488x16x0.9 (base x altura x espesor) unidos por remaches o roblones de cabeza plana P 24 (38mm de diámetro de la cabeza d_1).

b. *Montantes.*

Perfil sección “H” de 300x300x16 (dimensiones y espesor en mm) su espesor de 16 mm, está unido a cuerda superior por medio de remaches o roblones.

c. *Arrostramientos o diagonales.*

Las diagonales son de dos tipos.

- *Diagonales externas.*

Compuesta por 02 perfiles “U” N°24 de 240x85 AxB (mm) boca con boca y espesor 9.5cm, unidas por separadores de solera de dos tipos: 24.00x20.50x0.9 y 24.50x12.5x0.9 (base x altura x espesor en cm) unidos por remaches o roblones de cabeza plana P 24 (38mm de diámetro de cabeza d_1).

- *Diagonales internas.*

Compuesta por 02 perfiles “U” N°18 de 180x70 (dimensiones y espesor en mm) boca con boca y espesor 8cm, unidas con separadores de solera: 24.50x12.5x0.8 (base x altura x espesor) unidos con medio de remaches o roblones de cabeza plana P 24 (38 mm de diámetro de la cabeza d_1).

d. *Vigas principales/ brida inferior/largueros.*

Compuesta por dos perfiles “U” N°24 de 240x85 AxB (mm) cara con cara, unidas con separadores de solera: 488x16x0.9 (base x altura x espesor) unidos por remaches o roblones de cabeza plana P 24 (38 mm diámetro de cabeza d_1).

e. *Vigas secundarias de carga o vigas transversales.*

Por medio de vigas “I” de sección variable.

f. *Arriostre inferior.*

Con dos placas simples diagonales de acero de sección, 150mm de base y espesor de 8 mm, con longitud a ejes de 5.81m, reforzando unión entre las 02 vigas transversales a extremos de la sección del puente.

g. *Barandas metálicas, peatonales.*

- *Baranda superior.*

Conformado por un perfil ángulo de lados desiguales N°8/12 120x80x10, dimensiones y espesor en mm.

- *Baranda inferior.*

Conformado por un perfil ángulo de lados iguales N°7 70x70x9, dimensiones y espesor en mm.

h. Roblones o remaches.

Roblones de tipo cabeza plana P24 de diámetro de caña $d=24$ mm y 38 mm de diámetro de la cabeza d_1 . Por la vida útil de la estructura, no se tienen registro detallado de accesos y elementos; con fines de investigación se consideró un relevo visual y medible. Los accesos, sardineles tienen las mismas características en lo que respecta tanto geometría como materiales. Registro en tablas 74 y 75.

Tabla 74.
Condiciones geométricas del puente.

Descripción	Dimensión (m)
Longitud a ejes de apoyos	30,32
Número de Vías	02
Ancho Total del Tablero	8.50
Ancho de la Calzada	6.80
Ancho de la vereda	0.58
Número de Vigas Longitudinales	02
Distancia entre ejes de vigas transversales	3.75 externo y 3.79 internos.
Espesor de la carpeta de rodadura	0.03
Espesor de losa de concreto	Sección variable de 40 cm a extremo y espesor central de 0.20 m

Tabla 75
Solicitud del material considerado en el puente existente "La Villa".

Descripción	Solicitud - esfuerzo (kg/cm²)
Concreto de la subestructura $f'c$	210
Acero de refuerzo para concreto armado f_y	4200
Acero estructural	
Esfuerzo admisible del suelo q_{adm}	5.0

4.4. Análisis de la estructura.

Identificados y definidas las propiedades

de la estructura, se procedió al modelamiento, la figura siguiente identifica una vista del único tramo del puente en estudio.



Figura 50. Fotografía del puente existente “La Villa”.

La estructura involucra cargas muertas y sobrecargas en veredas, tablero de la estructura y barandas. El espesor de superficie de desgaste se asume considerando recapeos durante su vida útil.

Determinadas las cargas, se procede con el análisis de la armadura; el análisis se desarrolló con el método de nodos.

4.4.1. Análisis de la armadura por el método de los nodos.

4.4.1.1. Seccionamiento.

En el análisis de armaduras, en vigas es importante el seccionamiento en dos porciones mediante un corte imaginario, se aísla una parte de la armadura a un lado de la sección esta se estudia de forma independiente. Las cargas aplicadas al cuerpo

libre incluyen fuerzas axiales internas de elementos cortados por la sección, así como cualquier carga y reacciones aplicadas externamente.

La fuerza de elementos seccionados, se determinan por ecuaciones de estática de cuerpos libres aislados, seleccionándose para no superar tres fuerzas incógnitas por sección, debido disponer de tres ecuaciones de estática.

4.4.1.2. Componentes horizontales y verticales.

Las ecuaciones de equilibrio de fuerzas en dirección vertical y horizontal $\sum F_V=0$ y $\sum F_H=0$ respectivamente. El sistema de ejes coordenados en sus componentes vertical y horizontal de fuerzas de elementos inclinados, simplifican el cálculo sucesivo al aplicarse estas ecuaciones en otros miembros.

4.4.1.3. Convención de las flechas.

Las fuerzas de tensión o tracción y compresión, tiene convención de signos positivo y negativo respectivamente. Las flechas por el carácter de fuerzas y acción de cada elemento estructural para resistir fuerzas axiales de sección parcial de la armadura.

En la convención que representa barras en compresión, la armadura es comprimida ($\rightarrow - \leftarrow$) en extremos del elemento, y se tensiona en sentido contrario ($\leftarrow - \rightarrow$). En elementos a tensión la convención es contraria, una barra se estira por extremos ($\leftarrow - \rightarrow$) resistirá tirando en sentido contrario ($\rightarrow - - \leftarrow$).

4.4.1.4. Método de los nodos.

Se analiza cada nodo por sección, aislándosele del resto de la armadura. El nodo se convierte en cuerpo libre que se encuentra en equilibrio bajo la acción de las fuerzas actuantes. Las fuerzas desconocidas en miembros que concurren al nodo se determinan con ecuación 27.

$$\sum F_V=0 \text{ y } \sum F_H=0 \quad \text{[Ecuación 27]}$$

Cada junta de armadura analizada representa un nudo con un diagrama de cuerpo libre; cada nodo se trabaja de forma independiente y secuencial.

4.4.2. Análisis y diseño por el método plástico.

La teoría de la plasticidad considera un diseño con la máxima carga que soporta la estructura actuando como una unidad. Las ventajas principales en la figura 51.

Principales ventajas del diseño plástico.
Permite el ahorro de acero (10 a 15%), en comparación con otros diseños.
Realiza la estimación más exacta de carga máxima admisible, generando un factor de seguridad real de la estructura.
Es más sencillo que el elástico, en estructuras indeterminadas.
Previene grandes esfuerzos difíciles de predecir como asentamientos, montaje; permitiendo deformaciones.

Figura 51. Principales ventajas del diseño plástico.

Existen también algunas desventajas a tomar en cuenta, ver figura 52.

Principales desventajas del diseño plástico.
El diseño plástico es de escaso valor en aceros frágiles de alta resistencia. Aplicable a aceros de altas y baja resistencia estructural, que posean ductilidad.
El diseño plástico no es aún satisfactorio para los casos en que son problema los esfuerzos por fatiga.
En columnas diseñadas plásticamente, es menor el ahorro.
Las estructuras plásticas inestables son más difíciles de detectar que las estructuras elásticas inestables.

Figura 52. Principales desventajas del diseño plástico.

4.4.2.1. Teoría del análisis plástico.

Explica mejor la distribución de esfuerzos luego de alcanzar el punto de fluencia. Esta teoría considera que en el lugar donde se alcanza el esfuerzo de fluencia, no se resisten esfuerzos adicionales. Estas partes fluirán lo necesario, para que esfuerzos u carga se transfieran a otras partes de la estructura, donde los esfuerzos originales

estaban en la zona elástica, con capacidad de resistir mayores esfuerzos. El propósito de la plasticidad es igualar esfuerzos en caso de sobrecargas.

El diagrama de esfuerzo-deformación, en la figura 53, se supone que el acero coincide en el mismo punto tanto la fluencia y el límite de proporcionalidad; el diagrama esfuerzo-deformación es una línea recta en la zona plástica.

Después de la zona plástica, está la zona de endurecimiento por deformación. En esta última zona, teóricamente los miembros de acero soportarían esfuerzo adicional; desde el punto de vista práctico, las deformaciones resultantes excesivas no deben considerarse (Corona Castro et. al, 1996).

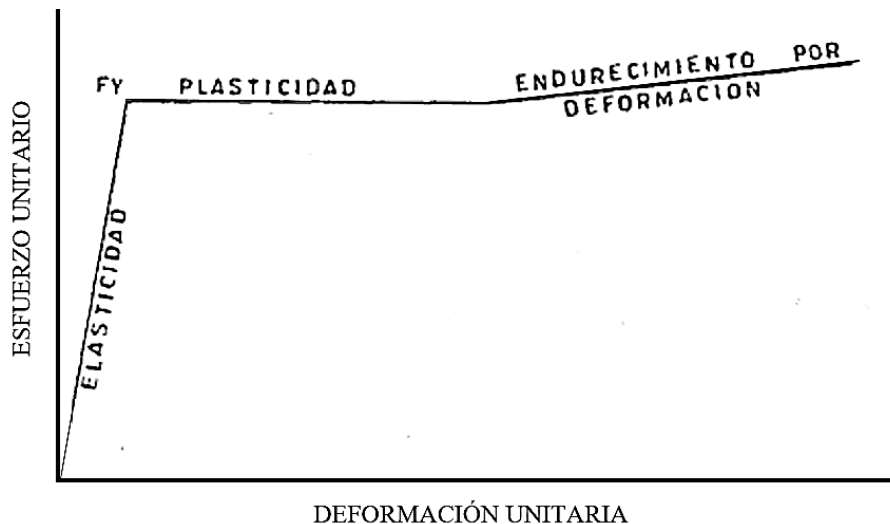


Figura 53. Diagrama esfuerzo-deformación.

Fuente: Evaluación y propuesta de estructura metálica (Corona Castro et. al, 1996).

4.4.2.2. Áreas de la sección transversal.

La sección total de un miembro es el área completa de su sección transversal; la sección neta es el área obtenida de reducciones por remaches o agujeros.

Los miembros a tensión y compresión se diseñarán con su sección neta y sección total respectivamente. La sección neta de una pieza con agujeros no se considera mayor de 85% de la sección total.

4.4.2.3. Relaciones de esbeltez máximas.

La relación de esbeltez KL/r de miembros en compresión no será mayor de 250 y no excederá 200 en elementos sometidos a vibraciones por maquinaria o equipos.

La relación de esbeltez L/r de miembros en tensión puede tener cualquier valor, se recomienda no exceder 300 cuando estén sometidos ordinariamente a vibraciones.

4.4.3. Análisis y diseño de elementos a tensión.

La resistencia de diseño de un elemento en tensión está dada por la ecuación 28.

$$R_T = A_n f_y F_{Rt} \quad \text{[Ecuación 28]}$$

4.4.4. Análisis y diseño de elementos a compresión.

La resistencia de diseño de piezas rectas comprimidas axialmente se calcula con las expresiones de las ecuaciones 29 y 30.

$$R_c = A f_y \left(1 - \frac{(kL/r)^2}{2(kL/r)^2 c} \right) F_{Rc} \quad \text{[Ecuación 29]}$$

$$(kL/r)_c = \sqrt{2 \pi^2 E / f_y} \quad \text{[Ecuación 30]}$$

El factor de resistencia F_{Rc} es de 0.85 para $kL/r=0$, decrece linealmente hasta 0.75 cuando $(kL/r)_c$ y se conserva este valor para relaciones de esbeltez más elevadas. Si A se toma en cm^2 y f_y en kg/cm^2 , R_c se obtiene en kg .

4.5. Capacidad de respuesta de la estructura

La capacidad de respuesta de la estructura del comportamiento frente a la acción de cargas, verificándose deflexiones, asentamientos, esfuerzos, ver apéndice C y D.

4.6. Evaluación del índice de vulnerabilidad estructural en puentes, IVEP

Se desarrolla a detalle en el capítulo V, análisis e interpretación de resultados.

4.7. Diseño de propuesta alternativa

El desarrollo del diseño estructural y resultados de la superestructura se muestra en el apéndice C *Memoria de cálculo superestructura*, Apéndice C. 1 *Análisis estructural de puente existente "La Villa"*; Apéndice C. 3 *Diseño y análisis de Puente tipo losa y vigas preesforzadas*. Además del cálculo de la subestructura y los muros de encauzamiento en Apéndice D *Memoria de cálculos varios en sus subcomponentes*: Apéndice D. 1 *Cálculo de Subestructura* y Apéndice D. 2 *Cálculo de pantalla atirantada*.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Presentación de resultados

5.1.1. Procesamiento de la información.

El procesamiento de información se realizó utilizando instrumentos de la figura 54.

Hojas de cálculo	<ul style="list-style-type: none">• Organización de información en fichas de observación, cuestionarios, ensayos de lab.
Informes de registro	<ul style="list-style-type: none">• Registro de componentes evaluados de la condición del puente “La Villa”.
Cuadros de doble entrada	<ul style="list-style-type: none">• Presentación de valores para las diferentes propuestas.
Histogramas	<ul style="list-style-type: none">• Diagrama de barras, de categorización de información con datos recopilados en campo.
Programas de aplicación de Ingeniería	<ul style="list-style-type: none">• Programas que permitirán el procesamiento de la información recopilada.
Pack Microsoft office	<ul style="list-style-type: none">• Elaboración de informes de investigación, presentaciones multimedia y protocolos.

Figura 54. Instrumentos de procesamientos de información.

5.1.2. Análisis e interpretación de los datos.

Previo selección de información recopilada, se realizó el análisis de resultados.

Del análisis e interpretación de información procesada se formuló la propuesta alternativa, que redujo la vulnerabilidad del puente existente “La Villa”.

Del índice de vulnerabilidad del puente, entendida como la inclusión de tres dimensiones, se tiene la siguiente valoración en la tabla 76 y la figura 55.

Tabla 76

Valoración del grado de vulnerabilidad obtenida del IVEP.

Índice de vulnerabilidad estructural en puente IVEP	Valoración de grado de vulnerabilidad estructural en puente
$0.125 \geq IVEP$	Baja
$0.125 < IVEP \leq 0.333$	Media
$0.333 < IVEP \leq 0.625$	Alta
$0.625 < IVEP \leq 1.000$	Crítica

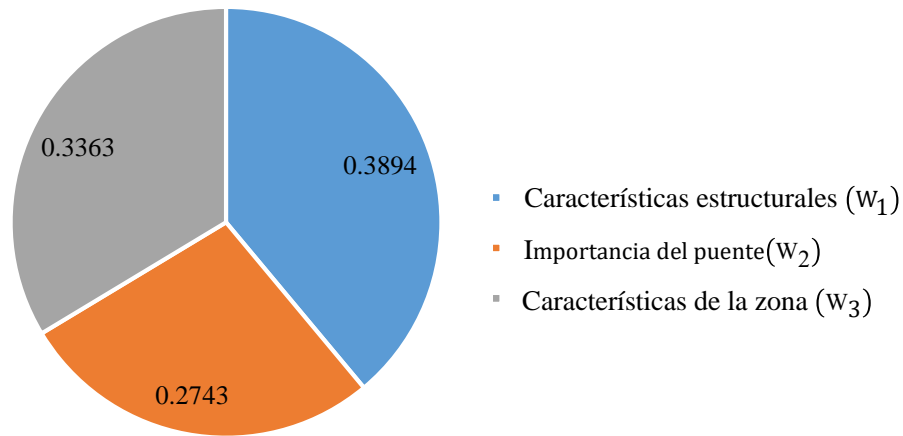


Figura 55. Peso por dimensión del índice de vulnerabilidad estructural en puentes.

De la apreciación de expertos, los pesos globales de las dimensiones por parámetros se presentan en las figuras 56, 57 y 58.

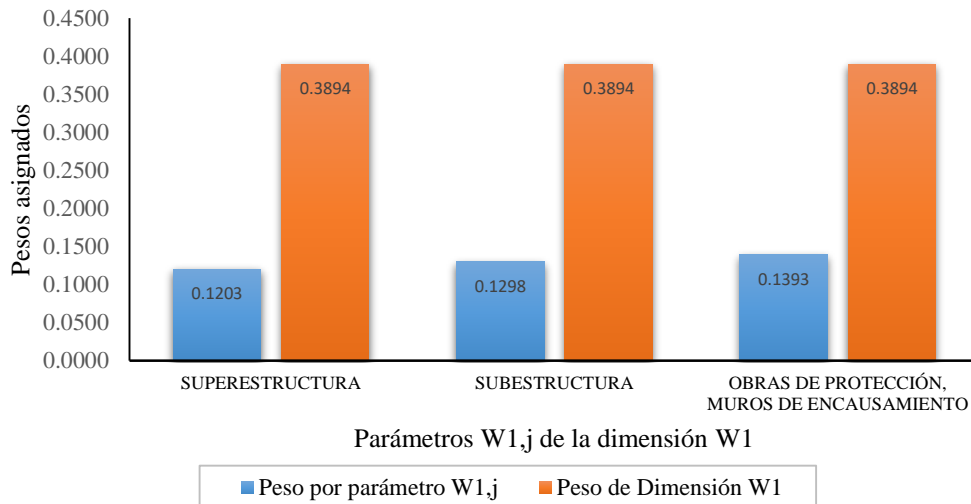


Figura 56. Pesos por parámetros de la dimensión características estructurales W₁.

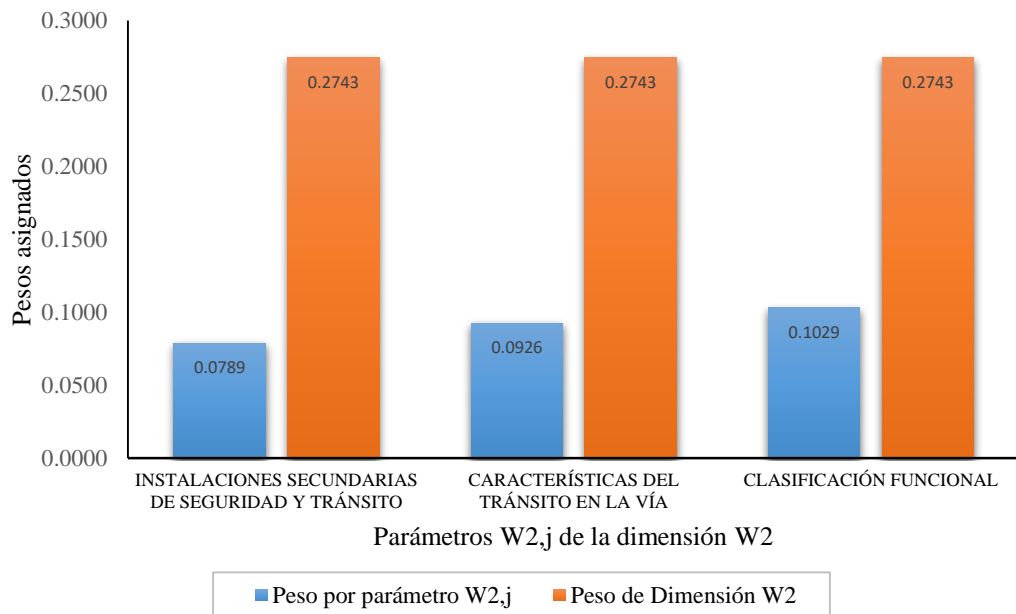


Figura 57. Pesos por parámetros de la dimensión importancia del puente W_2 .

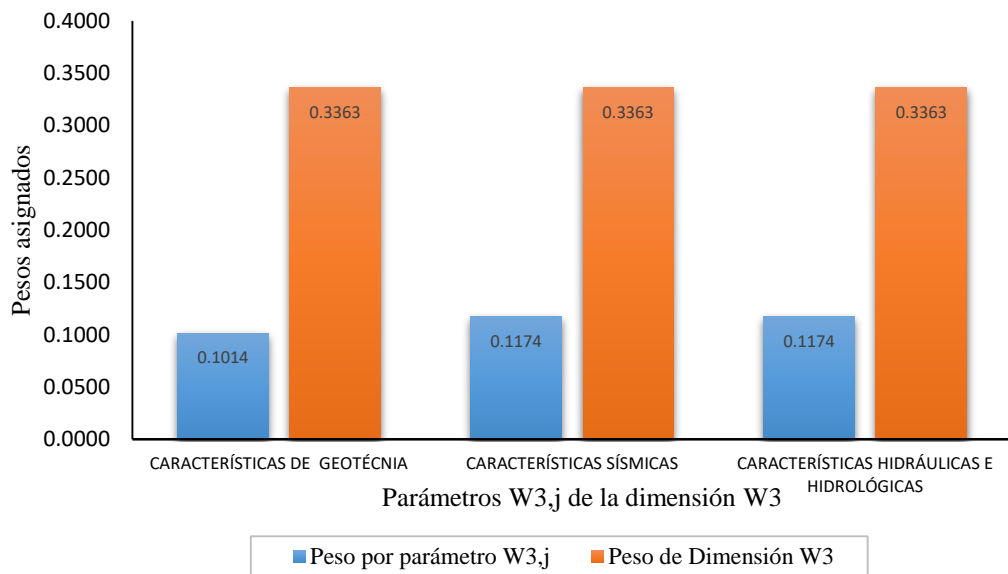


Figura 58. Pesos por parámetro de dimensión característica de la zona W_3 .

En adelante la propuesta de puente 1: puente de vigas preesforzadas, propuestas de puente 2: puente viga cajón; los resultados de cuestionarios realizados por grupos de datos y media se traducen en valores de la tabla 77, tabla 78, tabla 79 y tabla 80.

Tabla 77

Resumen de resultados de pesos asignados por indicadores por grupo de datos.

Parámetro	Indicador	Peso por indicadores											
		Grupo de datos 01			Grupo de datos 02			Grupo de datos 03			Grupo de datos 04		
		$W_{i,j,k}^1$	$W_{i,j,k}^2$	$W_{i,j,k}^3$	$W_{i,j,k}^1$	$W_{i,j,k}^2$	$W_{i,j,k}^3$	$W_{i,j,k}^1$	$W_{i,j,k}^2$	$W_{i,j,k}^3$	$W_{i,j,k}^1$	$W_{i,j,k}^2$	$W_{i,j,k}^3$
1.1. Superestructura	1.1.1 Tipo	0.0233	0.0047	0.0124	0.0233	0.0047	0.0124	0.0233	0.0047	0.0124	0.0233	0.0047	0.0124
	1.1.2 Material	0.0246	0.0049	0.0131	0.0246	0.0049	0.0131	0.0246	0.0049	0.0131	0.0246	0.0049	0.0131
	1.1.3 Deformaciones: criterio por deflexión	0.0436	0.0055	0.0145	0.0273	0.0055	0.0145	0.0145	0.0055	0.0145	0.0436	0.0055	0.0145
1.2 Subestructura	1.2.1 Tipo de cimentación	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299
	1.2.2 Tipo de estribo	0.0030	0.0030	0.0079	0.0030	0.0030	0.0079	0.0079	0.0030	0.0079	0.0030	0.0030	0.0030
	1.2.3 Material de la subestructura	0.0127	0.0025	0.0025	0.0127	0.0025	0.0025	0.0127	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
	1.2.4 Asentamiento	0.0279	0.0049	0.0049	0.0131	0.0049	0.0049	0.0131	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049
	1.2.5 Tipo de apoyos	0.0279	0.0093	0.0093	0.0174	0.0093	0.0093	0.0174	0.0093	0.0093	0.0174	0.0093	0.0093
1.3 Obras de protección, muros de encausamiento	1.3.1 Tipo de Material	0.0366	0.0046	0.0122	0.0122	0.0046	0.0122	0.0229	0.0046	0.0046	0.0122	0.0046	0.0122
	1.3.2 Nivel de cimentación	0.0472	0.0059	0.0157	0.0472	0.0157	0.0157	0.0295	0.0059	0.0059	0.0472	0.0157	0.0157
	1.3.3 Cimentación y protección frente a erosión	0.0555	0.0069	0.0185	0.0555	0.0069	0.0185	0.0347	0.0069	0.0069	0.0555	0.0185	0.0347
2.1 Instalaciones secundarias de seguridad y tránsito	2.1.1 Señales de tránsito en ambos accesos	0.0123	0.0025	0.0025	0.0123	0.0025	0.0066	0.0123	0.0025	0.0025	0.0197	0.0025	0.0025
	2.1.2 Barandas	0.0149	0.0030	0.0080	0.0149	0.0080	0.0030	0.0149	0.0030	0.0030	0.0149	0.0030	0.0030
	2.1.3 Sardineles/ Veredas	0.0123	0.0025	0.0025	0.0197	0.0066	0.0066	0.0123	0.0025	0.0025	0.0197	0.0025	0.0025
	2.1.4 Drenaje de calzada	0.0097	0.0019	0.0019	0.0156	0.0019	0.0019	0.0097	0.0019	0.0019	0.0097	0.0019	0.0019
2.2 Características del tránsito en la vía	2.2.1 Índice medio diario anual (IMDA)	0.0108	0.0108	0.0108	0.0202	0.0202	0.0202	0.0108	0.0108	0.0108	0.0202	0.0202	0.0202
	2.2.2 Volumen de tráfico	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0106	0.0106	0.0106
	2.2.3 Relación capacidad demanda	0.0219	0.0117	0.0117	0.0219	0.0117	0.0117	0.0219	0.0117	0.0117	0.0117	0.0117	0.0117
2.3 Clasificación funcional	2.3.1 Según la naturaleza de la vía soportada (Por el servicio que prestan)	0.0225	0.0120	0.0120	0.0225	0.0045	0.0120	0.0225	0.0120	0.0120	0.0225	0.0120	0.0120
	2.3.2 Según la Importancia Operativa	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0106	0.0106	0.0106
	2.3.3 Según la demanda de tránsito	0.0219	0.0117	0.0117	0.0219	0.0117	0.0117	0.0219	0.0117	0.0117	0.0117	0.0117	0.0117
3.1 Características de geotecnia	3.1.1 Clase de Sitio y Perfil del suelo	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126	0.0126
	3.1.2 Período del suelo	0.0209	0.0209	0.0209	0.0209	0.0209	0.0209	0.0111	0.0111	0.0111	0.0209	0.0209	0.0209
	3.1.3 Propiedades para materiales de ingeniería	0.0301	0.0188	0.0188	0.0301	0.0100	0.0188	0.0301	0.0100	0.0100	0.0301	0.0100	0.0100
3.2 Características sísmicas	3.2.1 Clasificación para fines del Diseño sísmico	0.0252	0.0135	0.0135	0.0252	0.0135	0.0135	0.0135	0.0050	0.0135	0.0252	0.0135	0.0135
	3.2.2 Criterios de regularidad	0.0252	0.0076	0.0076	0.0076	0.0076	0.0076	0.0252	0.0076	0.0076	0.0252	0.0076	0.0076
	3.2.3 Período natural de la estructura	0.0194	0.0058	0.0194	0.0194	0.0058	0.0058	0.0194	0.0058	0.0058	0.0194	0.0058	0.0058
	3.2.4 Coeficiente de aceleración sísmica	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301	0.0301
3.3 Características hidráulicas e hidrológicas	3.3.1 Período de retorno y avenida de Diseño o Caudal Máxima	0.0104	0.0039	0.0039	0.0195	0.0104	0.0104	0.0195	0.0104	0.0104	0.0195	0.0104	0.0104
	3.3.2 Estabilidad relativa del cauce	0.0169	0.0090	0.0090	0.0169	0.0169	0.0169	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0034	0.0034
	3.3.3 Área inundable	0.0159	0.0032	0.0085	0.0085	0.0032	0.0032	0.0085	0.0085	0.0085	0.0159	0.0159	0.0159
	3.3.4 Erosión y/o socavación	0.0210	0.0112	0.0210	0.0210	0.0112	0.0112	0.0210	0.0042	0.0042	0.0210	0.0042	0.0042

Nota: Pesos por indicador ($w_{i,j,k}$), ¹ Puente existente “La Villa”, ² Puente de vigas pretensadas y ³ Puente viga cajón.

Tabla 78

Resumen de resultados de pesos asignados en parámetros por grupo de datos.

Dimensión	Parámetro	Peso por parámetros												
		Grupo de datos 01			Grupo de datos 02			Grupo de datos 03			Grupo de datos 04			
		W_{ij}^1	W_{ij}^2	W_{ij}^3	W_{ij}^1	W_{ij}^2	W_{ij}^3	W_{ij}^1	W_{ij}^2	W_{ij}^3	W_{ij}^1	W_{ij}^2	W_{ij}^3	
1. Características estructurales	1.1. Superestructura	0.0916	0.0150	0.0401	0.0752	0.0150	0.0401	0.0625	0.0150	0.0401	0.0916	0.0150	0.0401	
		9.1553	1.5037	4.0099	7.5185	1.5037	4.0099	6.2455	1.5037	4.0099	9.1553	1.5037	4.0099	%
	1.2. Subestructura	0.1013	0.0496	0.0546	0.0761	0.0496	0.0546	0.0811	0.0496	0.0546	0.0578	0.0496	0.0496	
	10.1337	4.9625	5.4580	7.6139	4.9625	5.4580	8.1094	4.9625	5.4580	5.7752	4.9625	4.9625	%	
1.3 Obras de protección, muros de encausamiento		0.1393	0.0174	0.0464	0.1149	0.0272	0.0464	0.0871	0.0174	0.0174	0.1149	0.0388	0.0626	
		13.9291	1.7411	4.6430	11.4895	2.7248	4.6430	8.7057	1.7411	1.7411	11.4895	3.8807	6.2612	%
2. Importancia del puente	2.1. Instalaciones secundarias de seguridad y tránsito	0.0493	0.0099	0.0148	0.0625	0.0189	0.0181	0.0493	0.0099	0.0099	0.0641	0.0099	0.0099	
		4.9295	0.9859	1.4832	6.2527	1.8940	1.8075	4.9295	0.9859	0.9859	6.4083	0.9859	0.9859	%
	2.2. Características del tránsito en la vía	0.0493	0.0099	0.0148	0.0625	0.0000	0.0000	0.0493	0.0099	0.0099	0.0641	0.0099	0.0099	
	4.9295	0.9859	1.4832	6.2527	0.0000	0.0000	4.9295	0.9859	0.9859	6.4083	0.9859	0.9859	%	
2.3. Clasificación funcional		0.0643	0.0436	0.0436	0.0643	0.0361	0.0436	0.0643	0.0436	0.0436	0.0448	0.0343	0.0343	
		6.4298	4.3594	4.3594	6.4298	3.6092	4.3594	6.4298	4.3594	4.3594	4.4794	3.4292	3.4292	%
3. Características de la zona	3.1. Características de geotecnia	0.0636	0.0523	0.0523	0.0636	0.0436	0.0523	0.0539	0.0338	0.0338	0.0636	0.0436	0.0436	
		6.3619	5.2335	5.2335	6.3619	4.3558	5.2335	5.3867	3.3806	3.3806	6.3619	4.3558	4.3558	%
	3.2. Características sísmicas	0.1000	0.0569	0.0705	0.0823	0.0569	0.0569	0.0882	0.0485	0.0746	0.0823	0.0569	0.0569	
	9.9963	5.6937	7.0524	8.2300	5.6937	5.6937	8.8187	4.8526	7.4600	8.2300	5.6937	5.6937	%	
3.3. Características hidráulicas e hidrológicas		0.0643	0.0273	0.0425	0.0660	0.0417	0.0417	0.0581	0.0321	0.0321	0.0655	0.0339	0.0339	
		6.4293	2.7339	4.2463	6.5970	4.1745	4.1745	5.8066	3.2130	3.2130	6.5491	3.3909	3.3909	%

Nota: Pesos por parámetros (W_{ij}). ¹ Puente existente "La Villa". ² Puente de vigas pretensadas v ³ Puente viga caión.

Tabla 79

Resumen de resultados de pesos por dimensiones por grupo de datos.

W_i	Peso por dimensiones												
	Grupo de datos 01			Grupo de datos 02			Grupo de datos 03			Grupo de datos 04			
	W_i^1	W_i^2	W_i^3	W_i^1	W_i^2	W_i^3	W_i^1	W_i^2	W_i^3	W_i^1	W_i^2	W_i^3	
1. Características estructurales	0.3322	0.0821	0.1411	0.2662	0.0919	0.1411	0.2306	0.0821	0.1121	0.2642	0.1035	0.1523	
	33.2181	8.2074	14.1109	26.6220	9.1911	14.1109	23.0606	8.2074	11.2090	26.4200	10.3469	15.2336	%
2. Importancia del puente	0.1629	0.0633	0.0733	0.1894	0.0550	0.0617	0.1629	0.0633	0.0633	0.1730	0.0540	0.0540	
	16.2887	6.3312	7.3257	18.9351	5.5032	6.1669	16.2887	6.3312	6.3312	17.2960	5.4010	5.4010	%
3. Características de la zona	0.2279	0.1366	0.1653	0.2119	0.1422	0.1510	0.2001	0.1145	0.1405	0.2114	0.1344	0.1344	
	22.7875	13.6611	16.5322	21.1889	14.2239	15.1016	20.0120	11.4462	14.0536	21.1410	13.4404	13.4404	%
Total	0.7229	0.2820	0.3797	0.6675	0.2892	0.3538	0.5936	0.2598	0.3159	0.6486	0.2919	0.3407	

Tabla 80

Resumen de resultados de pesos asignados por indicadores en media de grupo de datos.

Dimensión	Parámetro	Indicador	Media de grupos por indicadores			Media de grupos por parámetros			Media de grupos por dimensiones		
			$w_{i,j,k}^1$	$w_{i,j,k}^2$	$w_{i,j,k}^3$	$w_{i,j}^1$	$w_{i,j}^2$	$w_{i,j}^3$	w_i^1	w_i^2	w_i^3
1. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES	1.1 Superestructura	1.1.1 Tipo	0.0230	0.0050	0.0120	0.0803	0.0150	0.0400	0.2733	0.0898	0.1365
		1.1.2 Material	0.0250	0.0050	0.0130	8.0250	1.5000	4.0000	27.3303	8.9880	13.6663
		1.1.3 Deformaciones: criterio por deflexión	0.0325	0.0050	0.0150						
	1.2 Subestructura	1.2.1 Tipo de cimentación	0.0300	0.0300	0.0300	0.0790	0.0500	0.0538			
		1.2.2 Tipo de estribo	0.0043	0.0030	0.0068	7.9000	5.0000	5.3750			
		1.2.3 Material de la subestructura	0.0105	0.0030	0.0030						
		1.2.4 Asentamiento	0.0148	0.0050	0.0050						
		1.2.5 Tipo de apoyos	0.0198	0.0090	0.0090						
	1.3 Obras de protección, muros de encausamiento	1.3.1 Tipo de Material	0.0210	0.0050	0.0103	0.1140	0.0250	0.0430			
		1.3.2 Nivel de cimentación	0.0428	0.0110	0.0135	11.4000	2.5000	4.3000			
1.3.3 Cimentación y protección frente a erosión		0.0500	0.0098	0.0195							
2. IMPORTANCIA DEL PUENTE	2.1 Instalaciones secundarias de seguridad y tránsito	2.1.1 Señales de tránsito en ambos accesos	0.0140	0.0020	0.0033	0.0563	0.0123	0.0133	0.1720	0.0588	0.0630
		2.1.2 Barandas	0.0150	0.0043	0.0043	5.6250	1.2250	1.3250	17.2023	5.8915	6.3063
		2.1.3 Sardineles/ Veredas	0.0160	0.0033	0.0033						
		2.1.4 Drenaje de calzada	0.0115	0.0020	0.0020						
	2.2 Características del tránsito en la vía	2.2.1 Índice medio diario anual (IMDA)	0.0155	0.0155	0.0155	0.0563	0.0075	0.0088			
		2.2.2 Volumen de tráfico	0.0178	0.0178	0.0178	5.6250	0.7500	0.8750			
		2.2.3 Relación capacidad demanda	0.0195	0.0120	0.0120						
	2.3 Clasificación funcional	2.3.1 Según la naturaleza de la vía soportada (Por el servicio que prestan)	0.0230	0.0103	0.0120	0.0593	0.0395	0.0415			
		2.3.2 Según la Importancia Operativa	0.0178	0.0178	0.0178	5.9250	3.9500	4.1500			
		2.3.3 Según la demanda de tránsito	0.0195	0.0120	0.0120						
3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	3.1 Características de geotecnia	3.1.1 Clase de Sitio y Perfil del suelo	0.0130	0.0130	0.0130	0.0615	0.0435	0.0455	0.2128	0.1318	0.1478
		3.1.2 Período del suelo	0.0185	0.0185	0.0185	6.1500	4.3500	4.5500	21.2825	13.1928	14.7820
		3.1.3 Propiedades para materiales de ingeniería	0.0300	0.0123	0.0145						
	3.2 Características sísmicas	3.2.1 Clasificación para fines del Diseño sísmico	0.0220	0.0110	0.0130	0.0880	0.0550	0.0650			
		3.2.2 Criterios de regularidad	0.0165	0.0080	0.0123	8.8000	5.5000	6.5000			
		3.2.3 Período natural de la estructura	0.0190	0.0060	0.0093						
		3.2.4 Coeficiente de aceleración sísmica	0.0300	0.0300	0.0300						
	3.3 Características hidráulicas e hidrológicas	3.3.1 Período de retorno y avenida de Diseño o Caudal Máxima	0.0175	0.0085	0.0085	0.0633	0.0338	0.0375			
		3.3.2 Estabilidad relativa del cauce	0.0130	0.0095	0.0095	6.3250	3.3750	3.7500			
		3.3.3 Área inundable	0.0120	0.0075	0.0088						
3.3.4 Erosión y/o socavación		0.0210	0.0075	0.0100							
			Total			Índice de Vulnerabilidad estructural en el puente%			0.6583	0.2808	0.3478
									65.825	28.075	34.775

Nota: Pesos por indicador ($w_{i,j,k}$), ¹ Puente existente “La Villa”, ² Puente vigas pretensadas y ³ Puente viga cajón.

5.1.2.1. Características estructurales.

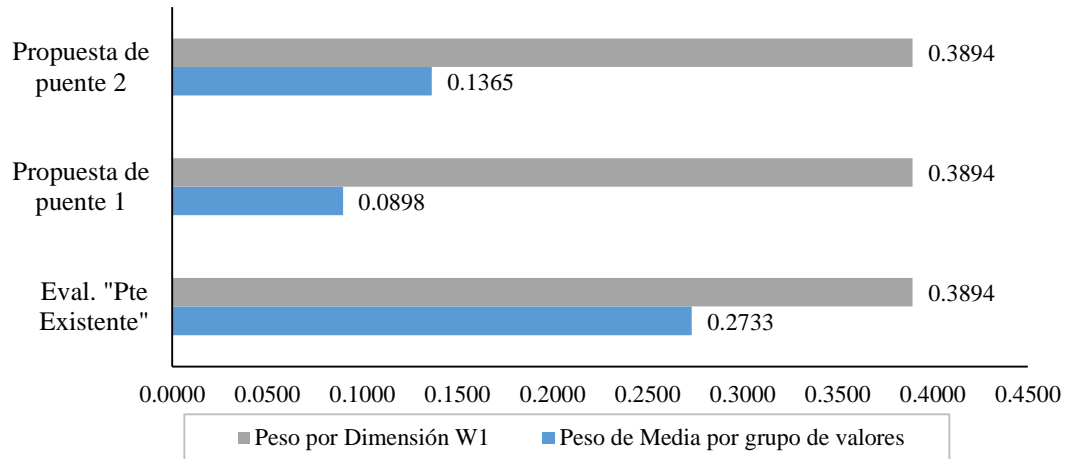


Figura 59. Media de pesos por grupos de valores, características estructurales W_1 .

Tabla 81

Grado de vulnerabilidad de características estructurales en relación al peso máximo por dimensión W_1 .

Características estructurales en relación al peso máximo por dimensión W_1		
Propuestas	Grado de vulnerabilidad estructural	
Eval. "Pte Existente"	0.7018	Crítica
Propuesta de puente 1	0.2305	Media
Propuesta de puente 2	0.3506	Alta

Interpretación, la dimensión características estructurales W_1 , el grado de vulnerabilidad es crítica para el puente existente “La Villa”, media para la propuesta 1 puente de vigas presforzadas y alta para la propuesta 2 de puente viga cajón, ver figura 59 y tabla 81.

5.1.2.2. Importancia del puente.

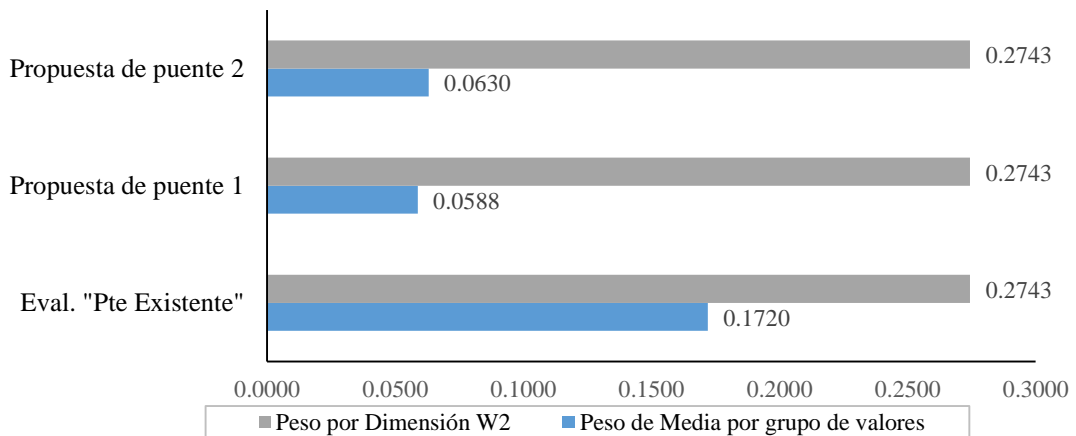


Figura 60. Media de pesos por grupos de valores de la importancia del puente W_2 .

Tabla 82

Grado de vulnerabilidad de importancia del puente en relación al peso máximo por dimensión W_2 .

Importancia del puente en relación al peso máximo por dimensión W_2		
Propuestas	Grado de Vulnerabilidad estructural	
Eval. "Pte Existente"	0.6270	Crítica
Propuesta de puente 1	0.2142	Media
Propuesta de puente 2	0.2296	Media

Interpretación, en la importancia del puente W_2 , el grado de vulnerabilidad es crítica para el puente existente “La Villa”, media para la propuesta de puente 1 y media para la propuesta de puente 2, ver figura 60 y tabla 82.

5.1.2.3. Características de la zona.

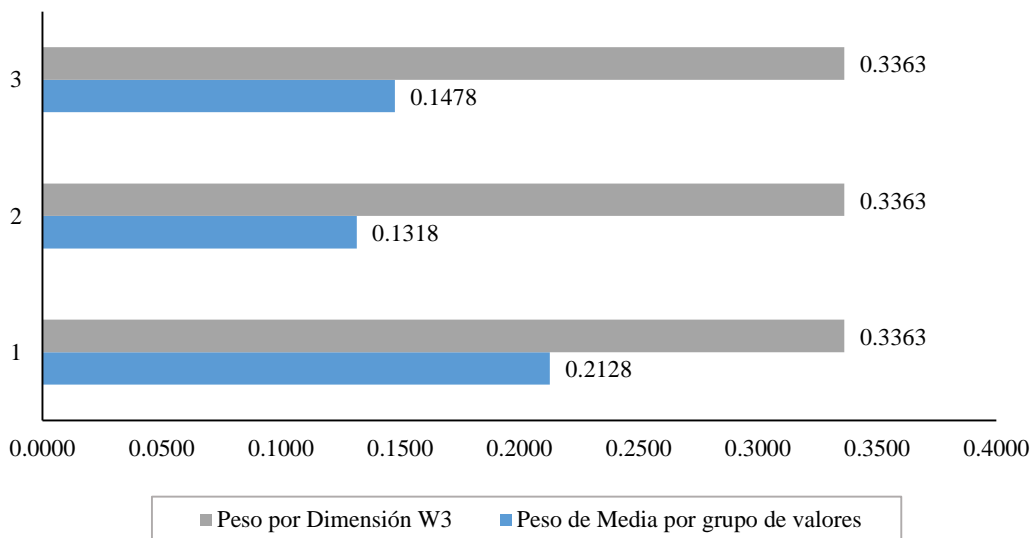


Figura 61. Media de pesos por grupos de valores de características de zona W_3 .

Tabla 83

Grado de vulnerabilidad de características estructurales en relación al peso máximo por dimensión W_3 .

Características estructurales en relación al peso máximo por dimensión W_3		
Propuestas	Grado de vulnerabilidad estructural	
Eval. "Pte Existente"	0.6327	Crítica
Propuesta de puente 1	0.3918	Alta
Propuesta de puente 2	0.4394	Alta

Interpretación, en características de la zona W_3 , el grado de vulnerabilidad es crítica para el puente existente “La Villa”, alta para la propuesta de puente 1 y propuesta de puente 2, ver figura 61 y tabla 83.

5.1.2.4. Índice de vulnerabilidad estructural en puente.

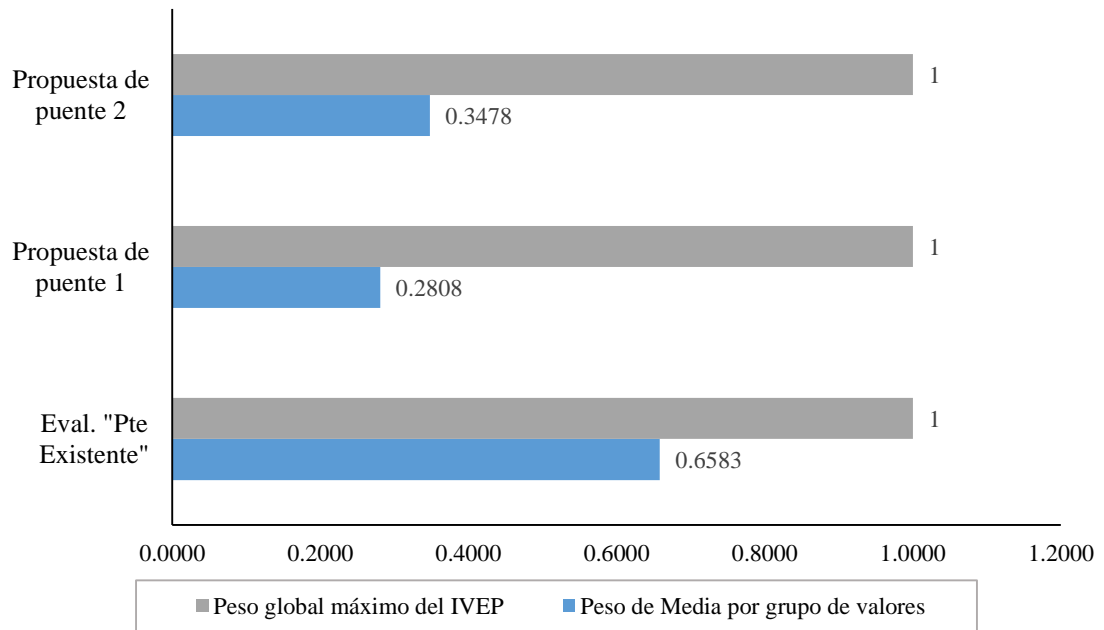


Figura 62. Media de pesos por grupos de valores del índice de vulnerabilidad estructural en puentes IVEP.

Tabla 84
Grado de vulnerabilidad del IVEP en relación al peso máximo.

Índice de vulnerabilidad estructural en relación al peso máximo del IVEP		
Propuestas		Grado de vulnerabilidad estructural
Eval. "Pte Existente"	0.65825	Crítica
Propuesta de puente 1	0.28075	Media
Propuesta de puente 2	0.34775	Alta

Interpretación, del índice de vulnerabilidad estructural del puente, el grado de vulnerabilidad es crítica para el puente existente “La Villa”, media para la propuesta de puente 1 y alta para la propuesta de puente 2, ver figura 62 y tabla 84.

5.1.3. Validación del instrumento en cuestionario.

La validación de la propuesta se realizó con una segunda encuesta al grupo de expertos seleccionados, se empleó un cuestionario simple con dos partes, la primera constituida de datos generales, edad, profesión y años de experiencia y la segunda la matriz de la tabla 85; se empleó una matriz de valoración según la tabla 86.

Tabla 85

Matriz del instrumento de validez de la herramienta empleada.

Dimensión de la metodología	Preguntas	Alta	Media	Baja

Tabla 86

Matriz de valoración para validez de herramienta empleada.

TÍTULO DE LA IESES:		*PROPUESTA ALTERNATIVA DE PUENTE PARA REDUCIR ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL EN EL PUENTE "LA VILLA" DEL DISTRITO MOQUEGUA, PROVINCIA MARISCAL NIETO, DEPARTAMENTO MOQUEGUA, AÑO 2017.*													
DIMENSIONES (1)	PARÁMETROS (2)	INDICADORES (3)	CRITERIOS DE EVALUACIÓN										OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES		
			Relación entre dimensión (1) y parámetro (2)		Relación entre parámetro (2) e indicador (3)		Relación entre indicador (3) y condiciones de calidad*		Relación entre condiciones de calidad y opción de respuesta*						
			SI	NO	SI	NO	SI	NO	1. POCO VULNERABLE	2. MEDIANAMENTE VULNERABLE	3. MUY VULNERABLE	4. ABSOLUTAMENTE VULNERABLE			
Según condición de calidad, Opción de respuesta															

La encuesta y un consolidado resumen del instrumento índice de vulnerabilidad estructural en puentes se entregaron a los ingenieros profesionales correspondientes para validar el instrumento empleado considerando experiencia y el conocimiento del experto evaluador. Se realizó de forma directa con el encuestado y vía electrónica. Ver en apéndice A.

5.2. Contrastación de hipótesis

5.2.1. Hipótesis general.

La propuesta alternativa de puente, reduce el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” ubicado en el distrito Moquegua, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua, 2017.

5.2.1.1. Formulación de hipótesis.

H_0 : La propuesta alternativa de puente (x), no reduce el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” (y) ubicado en el distrito Moquegua, provincia Mariscal nieto, departamento Moquegua, 2017.

H_a : La propuesta alternativa de puente (x), reduce el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” (y) ubicado en el distrito Moquegua, provincia Mariscal nieto, departamento Moquegua, 2017.

5.2.1.2. Estadístico de prueba.

El estadístico de prueba utilizado es el análisis de varianza de un factor, cuyos resultados se muestran a continuación en las tablas 87 al 89 y la figura 63.

Tabla 87

Estadística descriptiva de hipótesis general.

Variable dependiente: índice de vulnerabilidad estructural en puentes-IVEP			
Propuestas	N	Media	Desviación
Puente actual La Villa	4	0,65825	0,053175
Diseño de puente tipo vigas pretensadas	4	0,28075	0,014454
Diseño de puente viga cajón	4	0,34775	0,026663
Total	12	0,42892	0,174716

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Tabla 88

ANOVA de hipótesis general.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Propuestas	0,325	2	0,162	129,906	0,000
Error	0,011	9	0,001		
Total	0,336	11			

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Tabla 89

Pruebas post hoc, HSD Tukey^a de hipótesis general.

Propuestas	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Diseño de puente tipo vigas pretensadas	4	0,28075	
Diseño de puente viga cajón	4	0,34775	
Puente actual La Villa	4	0,65825	
Sig.		0,059	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

^a Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

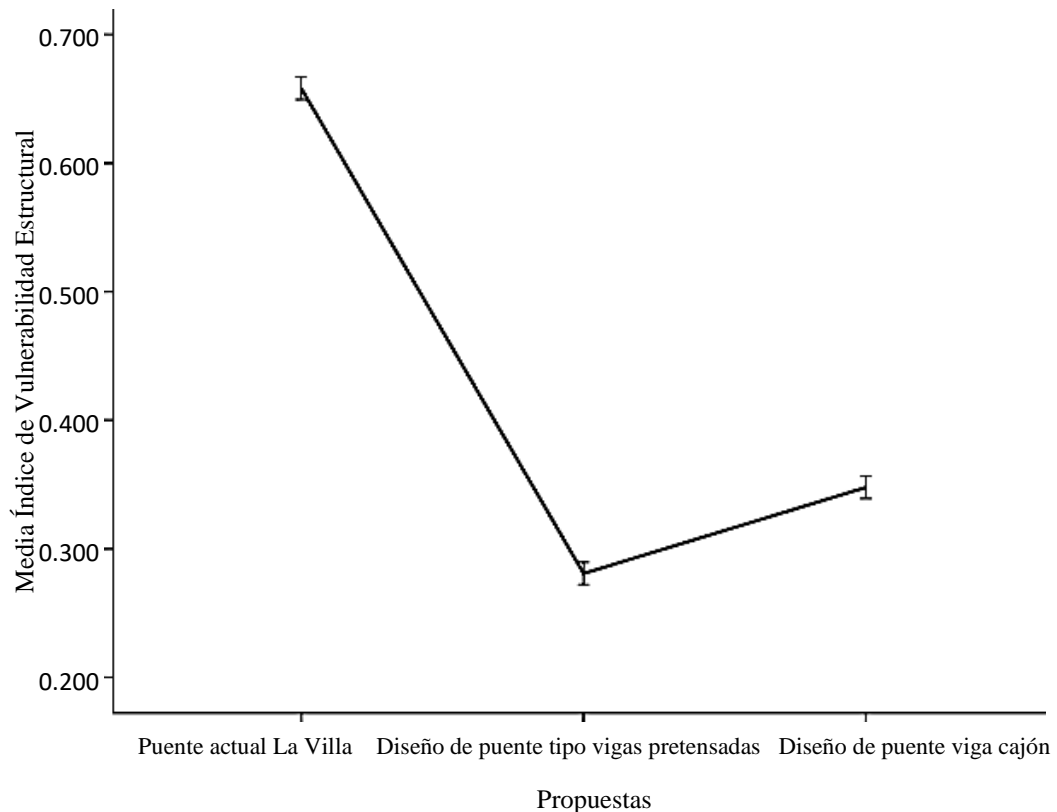


Figura 63. Gráfico de medias estimadas de pesos del índice de vulnerabilidad estructural en puentes de la hipótesis general.

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

5.2.1.3. Toma de decisión.

Conforme la tabla 88 el p-valor (Sig.) = 0,000 es menor a 0,05 de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, se concluye que la propuesta alternativa de puente, reduce el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” ubicado en el distrito Moquegua, provincia Mariscal Nieto,

departamento Moquegua, 2017. El análisis de las pruebas posteriores de Tukey en la tabla 89 y figura 63 del gráfico de medias a un nivel de significancia del 5% muestran que el diseño de un puente de tipo vigas pretensadas y el puente viga cajón reducen en mayor proporción el IVEP “La Villa”, además se observa que el diseño de un puente de tipo vigas pretensadas reduce en mayor proporción el IVEP “La Villa”.

5.2.2. Hipótesis específicas.

5.2.2.1. Hipótesis específica 01.

Las características estructurales de la propuesta alternativa de puente reducen las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

a. Formulación de hipótesis.

H_0 : Las características estructurales (y_1) de la propuesta alternativa de puente no reducen las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” (x_1).

H_a : Las características estructurales (y_1) de la propuesta alternativa de puente reducen las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” (x_1).

b. Estadístico de prueba.

El estadístico de prueba utilizado es el análisis de varianza de un factor, cuyos resultados se muestran a continuación en las tablas 90 al 92 y la figura 64.

Tabla 90
Estadísticos descriptivos de hipótesis 01.

Propuestas	N	Media	Desviación
Puente actual La Villa	4	0,27325	0,042327
Diseño de puente tipo vigas pretensadas	4	0,08975	0,010012
Diseño de puente viga cajón	4	0,12975	0,019873
Total	12	0,16425	0,085995

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Tabla 91
ANOVA de hipótesis 01.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Propuestas	0,074	2	0,037	48,859	0,000
Error	0,007	9	0,001		
Total	0,081	11			

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Tabla 92
Pruebas post hoc, HSD Tukey^a de hipótesis 01.

Propuestas	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Diseño de puente tipo vigas pretensadas	4	0,08975	
Diseño de puente viga cajón	4	0,12975	
Puente actual La Villa	4	0,27325	
Sig.		0,156	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

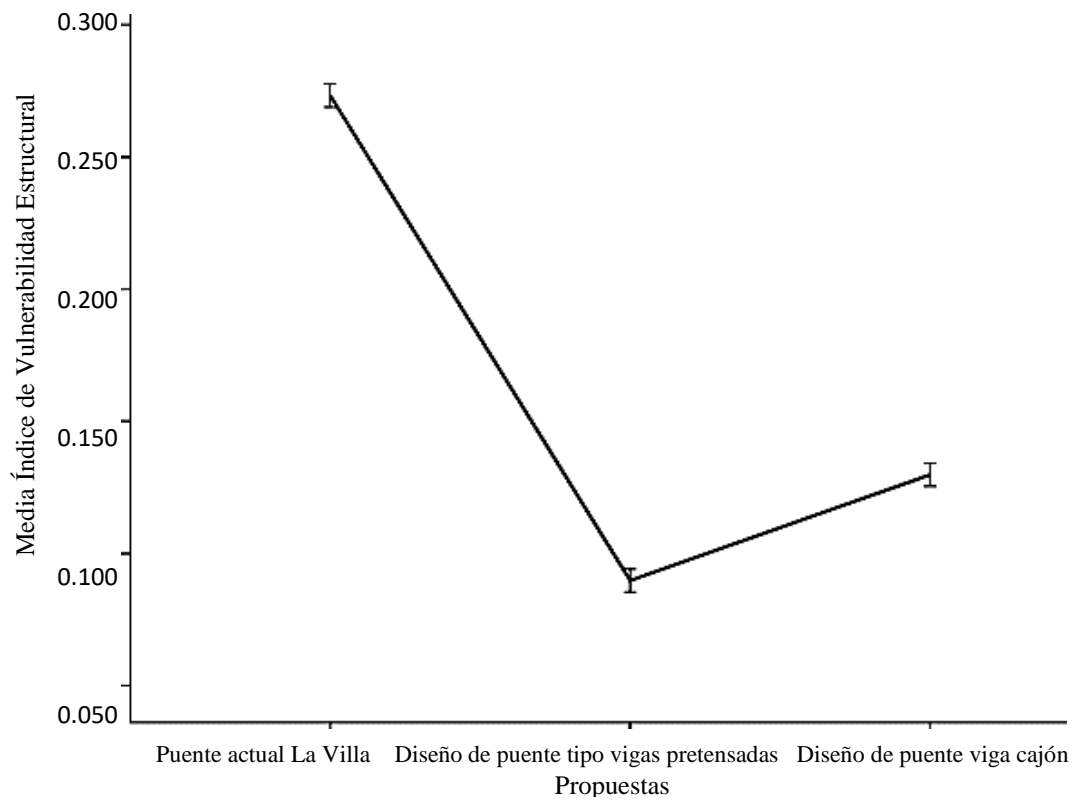


Figura 64. Gráfico de medias estimadas de pesos del parámetro características estructurales de puentes de hipótesis 01.

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

c. Toma de decisión.

Se observa en tabla 91 que el p-valor del ANOVA (Sig.) = 0,000 es menor a 0,05 de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyese que las características estructurales de la propuesta alternativa de puente reducen las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

El análisis de las pruebas posteriores de Tukey de la tabla 92 y la figura 64 de medias a un nivel de significancia del 5% muestran que características estructurales en un puente de tipo vigas pretensadas y en un puente viga cajón reducen en mayor proporción el IVEP “La Villa”. Además, las características estructurales en el puente de tipo vigas pretensadas reduce en mayor proporción el IVEP “La Villa”.

5.2.2.2. Hipótesis específica 02.

La mejora de la transitabilidad de la propuesta de puente como línea de transporte, conforme a la importancia que representa, reduce las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

a. Formulación de hipótesis.

H_0 : La mejora de la transitabilidad de la propuesta de puente como línea de transporte (x_2), conforme a la importancia que representa (y_2), no reduce las condiciones de vulnerabilidad estructural del Puente “La Villa”.

H_a : La mejora de la transitabilidad de la propuesta de puente como línea de transporte (x_2), conforme a la importancia que representa (y_2), reduce las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

b. Estadístico de prueba.

El estadístico de prueba utilizado es el análisis de varianza de un factor, cuyos resultados se muestran en las tablas 93 al 95 y la figura 65.

Tabla 93
Estadísticos descriptivos de hipótesis 02.

Propuestas	N	Media	Desviación
Puente actual La Villa	4	0,17200	0,012275
Diseño de puente tipo vigas pretensadas	4	0,05875	0,004924
Diseño de puente viga cajón	4	0,06300	0,007789
Total	12	0,09792	0,055328

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Tabla 94
ANOVA de hipótesis 02.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Propuestas	0,033	2	0,016	209,901	0,000
Error	0,001	9	0,000		
Total	0,034	11			

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Tabla 95
Pruebas post hoc, HSD Tukey^a de la hipótesis 02.

Propuestas	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Diseño de puente tipo vigas pretensadas	4	0,05875	
Diseño de puente viga cajón	4	0,06300	
Puente actual La Villa	4	0,17200	
Sig.		0,782	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

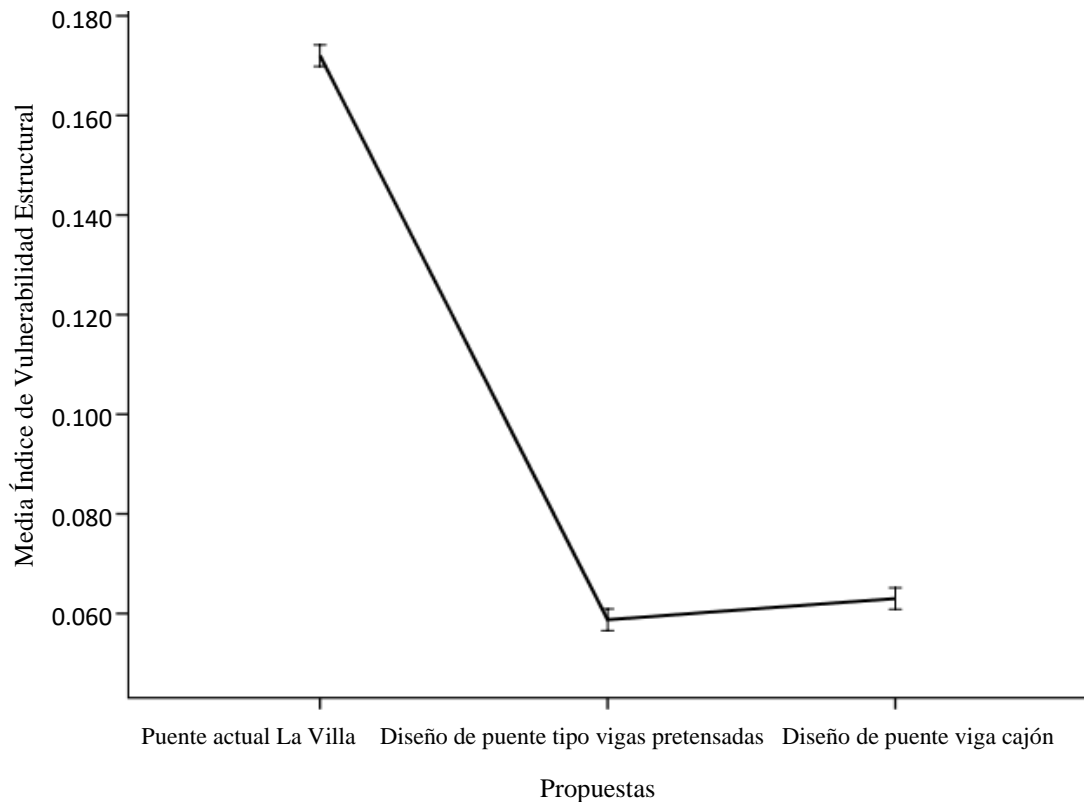


Figura 65. Gráfico de medias estimadas de pesos, parámetro importancia del puente de hipótesis 02.

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

c. Toma de decisión.

Se observa en tabla 94 que el p-valor del ANOVA (Sig.) = 0,000 es menor a 0,05 de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, se concluye que la mejora de la transitabilidad de la propuesta de puente como línea de transporte, conforme a la importancia que representa, reduce las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

El análisis de las pruebas posteriores de Tukey en la tabla 95 y figura 65 del gráfico de medias a un nivel de significancia del 5% muestran que conforme a la importancia que representa, reduce en mayor proporción las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” en la propuesta de un puente de tipo losa y vigas pretensadas y en un puente viga cajón, concluyéndose según la

importancia que representa, el diseño de un puente de tipo vigas pretensadas reduce en mayor proporción el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

5.2.2.3. Hipótesis específica 03.

Las características de la zona presentes en el puente “La Villa” influyen en la idealización de modelos de análisis.

a. Formulación de hipótesis.

H_0 : Las características de la zona (y_3) presentes en el puente “La Villa” no influyen en la idealización de modelos de análisis (x_3).

H_a : Las características de la zona (y_3) presentes en el puente “La Villa” influyen en la idealización de modelos de análisis (x_3).

b. Estadístico de prueba.

El estadístico de prueba utilizado es el análisis de varianza de un factor, cuyos resultados se muestran en las tablas del 96 al 98 y la figura 66.

Tabla 96

Estadísticos descriptivos de hipótesis 03.

Propuestas	N	Media	Desviación
Puente actual La Villa	4	0,21275	0,011529
Diseño de un puente tipo vigas pretensadas	4	0,13175	0,012285
Diseño de puente viga cajón	4	0,14775	0,013451
Total	12	0,16408	0,038278

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Tabla 97

ANOVA de hipótesis 03.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Propuestas	0,015	2	0,007	47,518	0,000
Error	0,001	9	0,000		
Total	0,016	11			

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

Tabla 98 Pruebas post hoc, HSD Tukey^a de la hipótesis 03.

Propuestas	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Diseño de puente tipo vigas pretensadas	4	0,13175	
Diseño de puente viga cajón	4	0,14775	
Puente actual La Villa	4	0,21275	
Sig.		,218	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

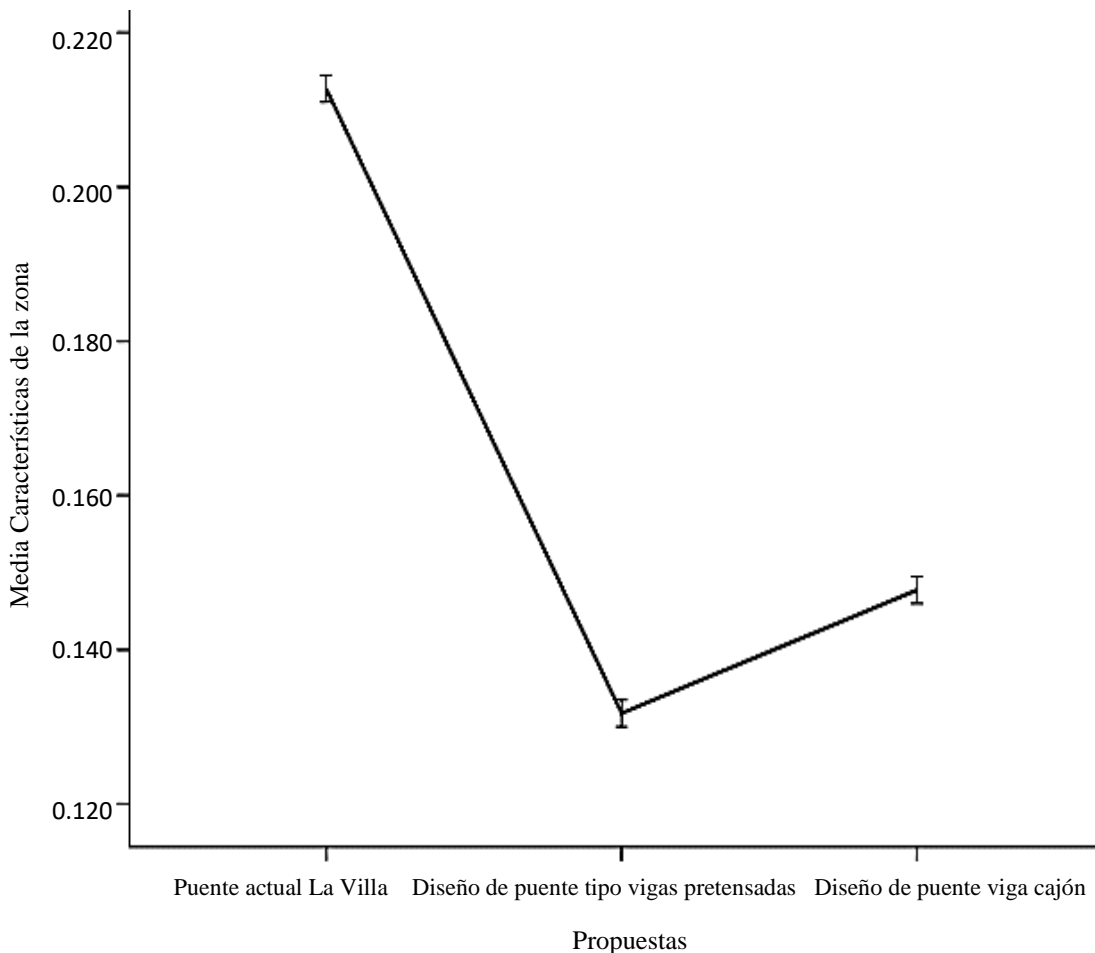


Figura 66. Gráfico de medias estimadas de pesos del parámetro características de la zona de hipótesis 03.

Fuente: IBM SPSS Statistics 24

c. Toma de decisión.

Se observa en la tabla 97 que el p-valor del ANOVA (Sig.) = 0,000 es menor a 0,05

de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde

se concluye que las características de la zona presentes en el puente “La Villa” influyen en la idealización de modelos de análisis. El análisis de las pruebas posteriores de Tukey en la tabla 98 y según la figura 66 del gráfico de medias a un nivel de significancia del 5% muestran que conforme características de la zona presentes en el puente “La Villa” influyen en mayor proporción la propuesta de un puente de tipo losa y vigas pretensadas y un puente viga cajón, además se observa que según las características de la zona presentes en el puente “La Villa”, el diseño de un puente de tipo losa y vigas pretensadas reduce en mayor proporción el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”.

5.3. Discusión de resultados

Para la propuesta de puente alternativo se verificó el Índice de vulnerabilidad estructural en puente o IVEP tipo cuestionario, realizado a partir de una extensa investigación, revisión de otros modelos o índices y factores que determinan la vulnerabilidad estructural del puente existente, para finalmente determinarse sus pesos a escala de 0 a 1 a partir de una evaluación cuantitativa-cualitativa desglosada en indicadores a partir de parámetros y dimensiones, según corresponda; de la hipótesis general se acepta que la propuesta alternativa de puente, reduce el índice de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa” ubicado en el distrito Moquegua, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua, 2017. El análisis de las pruebas posteriores de Tukey en la tabla 89 y figura 63 del gráfico de medias a un nivel de significancia del 5% muestran que el diseño de un puente de tipo vigas pretensadas y el puente viga cajón reducen en mayor proporción el IVEP “La Villa”, además se observa que el diseño de un puente de tipo vigas pretensadas reduce en mayor proporción el IVEP “La Villa”.

Los resultados de los ítems 5.1 y 5.2, responden los problemas específicos planteados, donde las hipótesis fueron aceptadas; referente a las características estructurales, estas son determinantes en la elección y diseño de la propuesta alternativa de puente debido a que reducen las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”, este argumento se fundamenta en los factores de resistencia y respuesta estructural bajo condiciones de carga y diseño detallados en manuales de diseño de puentes como el del MTC; en esta investigación respecto a la importancia del puente “La Villa” como línea de transporte, se verificó que con la mejora de la transitabilidad de la propuesta de puente, conforme a la importancia que representa, reduce las condiciones de vulnerabilidad estructural del puente “La Villa”, corroborándose las especificaciones del manual de diseño de puentes del MTC; se llega a la concordancia que las características de la zona presentes en el puente “La Villa” influyen en la idealización de modelos de análisis, esto se refleja en las condiciones de diseño diferenciadas respecto a investigaciones de referencia detallados en antecedentes de la investigación del capítulo II.

Se diseñó la propuesta alternativa al puente existente “La Villa” como un puente vigas pretensadas con un índice de vulnerabilidad en puentes - IVEP de 0.281 reduciendo el índice de 0.658 del puente actual “La Villa”, minimizando la valoración de vulnerabilidad estructural en puentes de “crítica” a “media”.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Primera. Se diseñó la propuesta alternativa al puente existente “La Villa” a partir del análisis post hoc HSD Tukey donde el puente vigas pretensadas tiene índice de vulnerabilidad en puentes - IVEP de 0.281 reduciendo el índice de 0.658 del puente actual “La Villa”.

Segunda. Las características estructurales expuestas a condiciones vulnerables en puentes suponen parámetros de superestructura, subestructura y muros de encauzamiento; como dimensión del IVEP para el puente tipo vigas pretensadas con 0.0898 (23.05%), grado de vulnerabilidad estructural media; el puente existente “La Villa” con 0.273(70.18%), grado crítico.

Tercera. La importancia del puente “La Villa” por la demanda de tránsito, carretera de 2da clase-uso múltiple, vehicular-peatonal; importancia operativa crítica, IMDA alto, volumen de tráfico nivel D; capacidad de maniobra severamente restringida. La transitabilidad como línea vital de transporte de la propuesta puente vigas pretensadas, es de 21.42% como dimensión y vulnerabilidad estructural “media”, menor comparado al puente “La Villa” existente, “Crítica” con 62.70%.

Cuarta. Las características de zona presentes en el puente “La Villa” representa el 33.63% del IVEP, algunos parámetros consideraron en los modelos de evaluación y diseños son, geotécnicos, clase de sitio es C, suelo rígido tipo GP, GW grava malo bien graduada, compuesto de material granular y cantos rodados de diámetro mayor a 5”, ángulo de fricción 33.35° y peso específico de suelo 1902 kgf/m^3 , capacidad portante 5 kg/cm^2 ; sísmicos, puente regular clasificado como esencial, diseño sísmico alternativo por ser isostático; la zona sísmica es 3, factor de modificación de respuesta $R=1.5$ y coeficiente de aceleración $0.48g$; hidrológicos e hidráulicos: en su diseño original el período de retorno es desconocido, el diseño actual considera 250 años de período de retorno; el área de inundación representa la capacidad del cauce del río, profundidad de socavación 5.40m , estabilidad relativa en las fundaciones del puente.

6.2. Recomendaciones

- Primera.** Se recomienda a ingenieros del área de inspección, mantenimiento y supervisión, aplicar la herramienta Índice de vulnerabilidad estructural en puentes-IVEP, considerando los alcances y limitaciones del mismo, para verificar el grado de vulnerabilidad relativa de la estructura.
- Segunda.** A futuros investigadores se recomienda profundizar en otros factores además de los considerados en esta investigación, para identificar la influencia de estos sobre la determinación del Índice de vulnerabilidad en puentes y aplicarlos a modelos absolutos.
- Tercera.** Se recomienda identificar al personal a cargo de la aplicación de la herramienta planteada, considerándose a profesionales que tengan conocimiento y experiencia en la especialidad de puentes y estructuras.
- Cuarta.** Se recomienda a entidades encargadas del mantenimiento y supervisión de obras, implementar un área exclusiva a puentes, para optimizar la especialización de profesionales responsables de efectuar mantenimientos, reforzamientos y renovación de estas estructuras previa evaluación y análisis estructural.
- Quinta.** La herramienta tipo cuestionario IVEP formulada a partir de otros modelos, criterios del autores y validada por opinión de ingenieros expertos, debe ser revisado por un equipo mayor de ingenieros expertos a nivel nacional e internacional aportando un mayor criterio técnico a partir de la experiencia profesional que tengan.
- Sexta.** Las características estructurales de la propuesta de puente alternativa, son a criterio del investigador, estos varían conforme la experiencia que tenga

el ingeniero diseñador y alternativas de solución que considere puedan optimizar aún más la alternativa de solución, sea un reforzamiento, plan de mantenimiento o reemplazo total de la estructura. Las características de la zona presentes en el puente “La Villa” influyen en la idealización de modelos de análisis.

Séptima. La importancia del puente existente “La Villa” como línea vital de transporte según la demanda de tránsito es un puente para carretera de 2da clase, debido al volumen de tráfico registrado y el índice medio diario determinado con el estudio de tráfico.

Octava. Las características de la zona son las mismas para el puente existente como para la propuesta alternativa de puente, la variación de las características hidrológicas e hidráulicas se debe a la presencia de elementos de protección lateral y transversal que modifican el área inundable y la erosión y socavación.

Novena. Independientemente de la construcción de un nuevo puente, por las condiciones y evaluación estructural realizada, es urgente efectuar un mantenimiento, reforzamiento estructural que prevenga cualquier deficiencia de falla estructural producto de pandeo, fatiga o sobreesfuerzos.

Décima. Debido a la importancia como línea de transporte debe darse solución a estos problemas, por el servicio de comunicación que desempeña para el transporte entre poblaciones de Los Ángeles y Moquegua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, M. A. (2013). *Evaluación del puente "El Quilo" ubicado en el Km 17+200 de la vía puyo - baños por del método AASTHO-LRFD y su incidencia en la seguridad estructural y vial*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de ingeniería civil y mecánica, carrera de ingeniería civil.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2014). *AASHTO LRFD BRIDGE. Desing Specifications*. Washington DC.: AASHTO.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Estudio de propuesta de delimitación de faja marginal de los ríos Moquegua, Osmore, Tumilaca, Huaracane y la quebrada Montalvo*. Lima: ANA.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Reglamento para la Delimitación y mantenimiento de Fajas Marginales en cursos fluviales y cuerpos naturales y artificiales_ANA*. Lima: ANA.
- Borja Juarez Manuel. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres (2003). *Plan Director de Moquegua - Samegua 2003 - 2010, Zonificación de Riesgos*. Moquegua: Municipalidad Provincial Mariscal Nieto.
- Cisneros Luciano Benjamin . (1868). *Informe del Ministro de Beneficiencia de Comisión*. Moquegua.

- Corona Castro, J., Meza Mar, C., & Ovando Buenrostro, C. (1996). *Evaluación y Propuesta de la estructura metálica del puente Cazonas Psa Rica, Ver.* Poza Rica, Ver.: Universidad Veracruzana-Facultad de Ingeniería.
- Gobierno Regional de Moquegua. (2001). *Plan regional de prevención y atención de desastres.* Moquegua: GRM.
- Gobierno Regional de Moquegua (2011). *Plan Regional de Educación comunitaria en Gestión del riesgo desastres.* Moquegua.
- Gómez C., Barbat A., Oller S. (2000). *Vulnerabilidad de Puentes de autopista, Un estado de arte.* Barcelona: CIMNE.
- Gomez Soberón M. (2010). *Vulnerabilidad de puentes carreteros por irregularidad de la subestructura.* Mexico: UNAM-Universidad Autónoma Metropolitana.
- Hernan Tavera, Instituto Geofísico del Perú. (2002). *El Terremoto de la región Sur del Perú del 23 de Junio de 2001.* Lima: Centro nacional de Datos Geofísicos.
- Hernan Tavera: Instituto Geofísico del Perú. (2014). *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú.* Lima: IGP-Biblioteca Nacional del Perú.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill Education.

Instituto Nacional de Defensa Civil, Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres. (2006). *Sismos ocurridos en el Perú, Sismos Ocurridos en el Perú a través del Tiempo*. Lima: INDECI.

Instituto Nacional de Defensa Civil (2006). *Manual Básico para la Estimación del Riesgo*. Lima: INDECI.

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2009). *Informe Final de Presupuesto Evaluado*. Lima: INDECI.

Instituto Nacional de Estadística e Informática y Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional (2017). *Flujo Vehicular por Unidades de Peaje*. Lima: INEI.

Instituto Vial Mariscal Nieto, Municipalidad Provincial Mariscal Nieto. (2016a). *Estudio de geología del proyecto: "Rehabilitación y mejoramiento de la Av. Mariscal Domingo Nieto, Tramo: Puente el Tucumán-Puente el Rosal-Puente la Villa-Puente el Rayo-Puente peatonal Estopacaje, Dist. de Moquegua y Samegua, Provincia Mariscal Nieto"*. Moquegua: IVP.

Instituto Vial Provincial Mariscal Nieto, Municipalidad provincial Mariscal Nieto. (2016b). *Estudio de tráfico del proyecto: "Rehabilitación y mejoramiento de la Av. Mariscal Domingo Nieto, Tramo: Puente el Tucumán-Puente el Rosal-Puente la Villa-Puente el Rayo-Puente peatonal Estopacaje, Dist. de Moquegua y Samegua, Provincia Mariscal Nieto"*. Moquegua: IVP.

Instituto Vial Provincial Mariscal Nieto, Municipalidad Provincial Mariscal Nieto. (2015). *FICHA TECNICA: "Rehabilitación y mejoramiento de la Avenida Mariscal Domingo Nieto, Tramo: Puente el Tucumán - Puente el Rosal -*

Puente la Villa – Puente el Rayo – Puente peatonal Estopacaje, Distritos de Moquegua y Samegua, Provincia Mariscal Nieto – Moq. Moquegua: IVP-MPMN.

Instituto Vial Provincial Mariscal Nieto, Municipalidad Provincial Mariscal Nieto.

(2016c). *Estudio de geofísica del proyecto: “Rehabilitación y mejoramiento de la Av. Mariscal Domingo Nieto, Tramo: Puente el Tucumán-Puente el Rosal–Puente la Villa–Puente el Rayo–Puente peatonal Estopacaje, Dist. de Moquegua y Samegua, Provincia Mariscal Nieto”.* Moquegua.

Instituto Vial Provincial Mariscal Nieto, Municipalidad Provincial Mariscal Nieto.

(2016d). *Estudio de geotécnica del proyecto: “Rehabilitación y mejoramiento de la Av. Mariscal Domingo Nieto, Tramo: Puente el Tucumán-Puente el Rosal–Puente la Villa–Puente el Rayo–Puente peatonal Estopacaje, Dist. de Moquegua y Samegua, Provincia Mariscal Nieto”.* Moquegua.

Instituto vial provincial Mariscal Nieto, Municipalidad Provincial Mariscal Nieto.

(2016e). *Estudio de hidráulica del proyecto: “Rehabilitación y mejoramiento de la Av. Mariscal Domingo Nieto, Tramo: Puente el Tucumán-Puente el Rosal–Puente la Villa–Puente el Rayo–Puente peatonal Estopacaje, Dist. de Moquegua y Samegua, Provincia Mariscal Nieto”.* Moquegua: IVP.

Kuon Cabello, L. E. (1981). *Retazos de la Historia de Moquegua. Archivo Departamental Moquegua.* Moquegua.

- Maldonado E., Casas y Canas J. (2000). *Modelo de vulnerabilidad sísmica de puente basado en "Conjunto Difusos"*. Barcelona: CIMNE.
- Martin J., Universidad Politécnica de Catalunya. (2003). *Ingeniería de Ríos*. Barcelona: Alfaomega- Edicions UPC.
- Ministerío de Agricultura Instituto Nacional de Recursos Naturales, Universidad Agraria La Molina. (1998). *Estudio sobre el Clima, Hidrología, Sequía e Inundaciones en los departamentos de Tacna, Moquegua y Puno. Período 1945-1998*. Lima: INRENA.
- Ministerío de Transportes y Comunicaciones (2018). *Manual de Carreteras, Diseño Geométrico DG 2018*. Lima: DGCF.
- Ministerío de Transportes e Infraestructura- División general de planificación. (2008). *Manual para la revisión de Diseño de Puentes y Cajas*. Nicaragua: MTI- Corea y Asociados S.A. (CORASCO).
- Ministerío de Transportes y Comunicaciones. (2006). *Guía de inspección de Puentes*. Lima - Peru: DGCF.
- Ministerío de Transportes y Comunicaciones. (2017). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras*. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Lima: MTC.
- Ministerío de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Carreteras: Mantenimiento o conservación Vial*. Lima: MTC.
- Ministerío de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de Puentes*. Lima: DGCF.

- Minnesota Department of Transportation. (2000). *Drainage Manual*. Minnesota: Office of bridges and Structures.
- Municipalidad Provincial Mariscal Nieto. (2006). *Estudio hidrológico, Puente Samegua-Los ángeles*. Moquegua: MPMN.
- Palma J. (2012). *Análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos de carreteras*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala-Facultad de Ingeniería-Escuela de Ingeniería Civil.
- Pinto Vargas Ismael. (1987). *Pequeña Antología de Moquegua*. Moquegua.
- Rodríguez A. (2016). *PUENTES Con AASHTO-LRFD 2014 (7th Edition)*. Lima.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, L.A. Arneson, L.W. Zevenbergen, P.F. Lagasse, P.E. Clopper. (2012). *Evaluating Scour at Bridges -Fifth Edition*. Washington, D.C.: Hydraulic Engineering Circular .
- Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (2001). *Evaluación de Peligros de La ciudad de Moquegua*. Arequipa : INDECI.
- Ventura E. (2004). “*Análisis y Diseño de intercambio Vial – Paso a Desnivel-Salida Norte de la ciudad de Tacna*”. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Facultad de Ingeniería, Tacna-Peru.
- Washington State Department of Transportation (2015). *Geotechnical Design Manual*. Washington State: Construction Office, Geotechnical Office-WSDOT.