

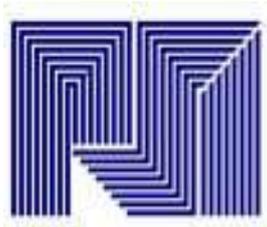
**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA  
EDUCACIÓN UNIVERSITARIA,  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO  
“SANTIAGO MARIÑO”  
EXTENSIÓN PUERTO ORDAZ**

**Evaluación de la ruta de carga extrapesada entre el puerto de Palúa y la  
Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, ubicada en Ciudad Piar,  
estado Bolívar**

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniería Civil

**Autor: Br. Cesar Utrera.**

Puerto Ordaz, Junio de 2018



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA  
EDUCACIÓN UNIVERSITARIA,  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO  
“SANTIAGO MARIÑO”  
EXTENSIÓN PUERTO ORDAZ**

**Evaluación de la ruta de carga extrapesada entre el puerto de Palúa y la  
Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, ubicada en Ciudad Piar,  
estado Bolívar**

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniería Civil

**Autor:** Br. César Utrera.

**Tutor:** Ing. Libardo Herrera.

**Asesor Metodológico:** Lcda. Wilmary Salazar.

Puerto Ordaz, Junio de 2018

## **DEDICATORIA**

Primeramente a **DÍOS**, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, también por haber puesto en mi camino a aquellas personas correctas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de esta meta.

A mis padres, mi esposa e hijos, por su apoyo incondicional en todo momento; ellos son quienes dan razón a mi vida, gracias a su paciencia y consejos he logrado hoy esta meta tan anhelada.

Muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Estoy muy agradecido con **DÍOS** primeramente por darme la fortaleza, sabiduría, paciencia, y todos los valores personales que necesito cada día y por ser la luz que me ilumina mi vida en todo momento.

A mis Padres, Cesar Utrera y Julia Herrera, a mi esposa, Sardis Cadenas, por dedicar gran parte de su vida a ayudarme, motivarme, formarme y encaminar mis pasos para alcanzar cada meta propuesta.

A mis tutores el Ing. Libardo Herrera y Lcda. Wilmary Salazar, por el tiempo y paciencia que tuvieron durante toda la elaboración de mi proyecto.

A mis amigos y amigas que siempre estuvieron apoyándome.

*Cesar Utrera*

## ÍNDICE GENERAL

|   | <b>Pp.</b> |
|---|------------|
| <b>DEDICATORIA</b> .....                                | vii        |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                            | viii       |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....                           | xi         |
| <b>LISTA DE CUADROS</b> .....                           | xviii      |
| <b>LISTA DE ECUACIONES</b> .....                        | xx         |
| <b>RESUMEN</b> .....                                    | xxi        |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                               | 1          |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO</b>   |            |
| <br>  |            |
| <b>I. EL PROBLEMA</b>                                   |            |
| Contextualización del Problema.....                     | 3          |
| Objetivos de la Investigación.....                      | 4          |
| Justificación de la Investigación.....                  | 5          |
| <br>  |            |
| <b>II. MARCO REFERENCIAL</b>                            |            |
| Antecedentes de la Investigación.....                   | 7          |
| Bases Teóricas.....                                     | 9          |
| Puente.....   | 9          |
| Tipos de puentes que existen y sus características..... | 9          |
| Cargas.....   | 15         |
| Tipos de cargas.....                                    | 15         |
| Lowboy.....   | 17         |
| Características del Lowboy.....                         | 17         |
| Partes básica de un Lowboy.....                         | 18         |
| Sistema de Variables.....                               | 20         |
| Operacionalización de la Variable.....                  | 21         |
| Definición de Términos Básicos.....                     | 22         |

|  |     |
|--|-----|
| <b>III. MARCO METODOLÓGICO</b>                         |     |
| Modalidad de la Investigación.....                     | 26  |
| Diseño de la Investigación.....                        | 27  |
| Tipo de Investigación.....                             | 27  |
| Procedimiento de la Investigación.....                 | 28  |
| Técnicas de Análisis de Datos.....                     | 29  |
| Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....   | 30  |
| <b>IV. RESULTADOS</b>                                  |     |
| Presentación y Análisis de Resultados.....             | 33  |
| Presentación y Análisis de Resultados (Puente 7).....  | 122 |
| Estudio de Factibilidad (Puente 7).....                | 126 |
| Presentación y Análisis de Resultados (Puente 11)..... | 127 |
| Estudio de Factibilidad (Puente 11).....               | 130 |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>                  |     |
| Conclusiones.....                                      | 131 |
| Recomendaciones.....                                   | 132 |
| <b>REFERENCIAS</b> .....                               | 133 |
| <b>ANEXOS</b>  |     |
| A.....   | 136 |
| B.....   | 138 |
| B1.....  | 140 |
| C.....   | 142 |
| D.....   | 144 |
| E.....   | 146 |
| F.....   | 148 |

## LISTA DE FIGURAS

| FIGURA   | Pp. |
|--|-----|
| 1 Puente de arco .....   | 10  |
| 2 Puente de arco de tablero superior .....                     | 11  |
| 3 Puente de arco de tablero inferior .....                     | 11  |
| 4 Puente de arco de tablero intermedio .....                   | 12  |
| 5 Puente de Viga.....  | 12  |
| 6 Puente en armadura.....                                      | 13  |
| 7 Puentes cantiléver o voladizos.....                          | 14  |
| 8 Puente colgante.....   | 14  |
| 9 Lowboy.....  | 17  |
| 10 Partes del Lowboy.....                                      | 19  |
| 11 Plano de Ruta.....  | 37  |
| 12 Diagrama de Carga y Transporte.....                         | 38  |
| 13 Detalle de Carga y Transporte.....                          | 39  |
| 14 Modelo Tridimensional (Puente 1).....                       | 41  |
| 15 Tren de Carga Aplicado a la Estructura (Puente 1).....      | 41  |
| 16 Asignación de Cargas Laterales (Puente 1).....              | 42  |
| 17 Asignación de Cargas Laterales por Sobrecarga (Puente 1)... | 42  |
| 18 Máxima Deflexión Vertical en (Puente 1).....                | 43  |
| 19 Momento Máximo Positivo M11 (Puente 1).....                 | 43  |
| 20 Momento Crítico Cara Interna del Muro M11 (Puente 1).....   | 44  |
| 21 Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11 (Puente 1).....  | 44  |
| 22 Momento Crítico Cara Inferior de Losa M11 (Puente 1).....   | 44  |
| 23 Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11 (Puente 1).....  | 45  |
| 24 Momento Máximo Positivo M22 (Puente 1).....                 | 45  |
| 25 Momento Crítico Cara Interna del Muro M22 (Puente 1).....   | 45  |
| 26 Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22 (Puente 1).....  | 46  |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 27 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M22 (Puente 1).....   | 46 |
| 28 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22 (Puente 1).....  | 46 |
| 29 | Fuerza Cortante V13 (Puente 1).....                         | 47 |
| 30 | Fuerza Cortante V23 (Puente 1).....                         | 47 |
| 31 | Refuerzo de Acero en Pórticos (Puente 1).....               | 47 |
| 32 | Imagen 1 Figura 31.....                                     | 48 |
| 33 | Imagen 2 Figura 31.....                                     | 48 |
| 34 | Imagen 3 Figura 31.....                                     | 49 |
| 35 | Imagen 4 Figura 31.....                                     | 50 |
| 36 | Modelo Tridimensional Puente 2 (Modelo 1).....              | 51 |
| 37 | Tren de Carga Aplicada a la Estructura.....                 | 52 |
| 38 | Asignación de Cargas Laterales (Puente 2).....              | 52 |
| 39 | Asignación de Cargas Laterales por Sobrecarga (Puente 2)... | 52 |
| 40 | Máxima Deflexión Vertical Puente 2 (Modelo 1).....          | 53 |
| 41 | Momento Máximo Positivo M11 en Columnas.....                | 53 |
| 42 | Momento Crítico Cara de la Columna M11.....                 | 53 |
| 43 | Momento Crítico Final del Chaflán M11 (Puente 2).....       | 54 |
| 44 | Momento Crítico Cara Interna del Muro M11 (Puente 2).....   | 54 |
| 45 | Momento Crítico Final del Chaflán M11 (Puente 2).....       | 54 |
| 46 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M11 (Puente 2).....   | 55 |
| 47 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M11 (Puente 2).....   | 55 |
| 48 | Momento Máximo Positivo M22 en Columnas.....                | 55 |
| 49 | Momento Máximo Positivo M22 en Losas.....                   | 56 |
| 50 | Momento Crítico Cara de la Columna M22.....                 | 56 |
| 51 | Momento Crítico Final del Chaflán M22 (Puente 2).....       | 56 |
| 52 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M22 (Puente 2).....   | 57 |
| 53 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M22 (Puente 2).....   | 57 |
| 54 | Fuerza Cortante V13 (Puente 2).....                         | 57 |
| 55 | Fuerza Cortante V23 (Puente 2).....                         | 58 |
| 56 | Chequeo de Diseño de Viga.....                              | 58 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 56a | Pórtico de Chequeo y Esquema de Cargas.....                 | 59 |
| 57  | Refuerzo de Acero en Pórticos Puente 2 (Modelo 1).....      | 62 |
| 58  | Imagen 1 Figura 57.....                                     | 63 |
| 59  | Imagen 2 Figura 57.....                                     | 64 |
| 60  | Imagen 3 Figura 57.....                                     | 64 |
| 61  | Imagen 4 Figura 57.....                                     | 65 |
| 62  | Imagen 5 Figura 57.....                                     | 65 |
| 63  | Imagen 6 Figura 57.....                                     | 66 |
| 64  | Modelo Tridimensional Puente 2 (Modelo 2).....              | 67 |
| 65  | Tren de Carga Aplicada a la Estructura.....                 | 67 |
| 66  | Asignación de Cargas Laterales (Modelo 2).....              | 68 |
| 67  | Asignación de Cargas Laterales por Sobrecarga (Modelo 2)... | 68 |
| 68  | Máxima Deflexión Vertical U3.....                           | 68 |
| 69  | Momento Máximo Positivo M11 (Modelo 2).....                 | 69 |
| 70  | Momento Crítico Cara Interna del Muro M11.....              | 69 |
| 71  | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11.....             | 69 |
| 72  | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M11.....              | 70 |
| 73  | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11.....             | 70 |
| 74  | Momento Máximo Positivo M22 (Modelo 2).....                 | 70 |
| 75  | Momento Crítico Cara Interna del Muro M22.....              | 71 |
| 76  | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22.....             | 71 |
| 77  | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M22.....              | 71 |
| 78  | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22.....             | 72 |
| 79  | Fuerza Cortante V13 (Modelo 2).....                         | 72 |
| 80  | Fuerza Cortante V23 (Modelo 2).....                         | 72 |
| 81  | Refuerzo de Acero en Pórticos Puente 2 (Modelo 2).....      | 73 |
| 82  | Imagen 1 Figura 81.....                                     | 73 |
| 83  | Imagen 2 Figura 81.....                                     | 74 |
| 84  | Imagen 3 Figura 81.....                                     | 74 |
| 85  | Imagen 4 Figura 81.....                                     | 75 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 85a | Cargas Aplicadas a la Losa.....                             | 76 |
| 85b | Diagrama de Cargas Aplicadas a la Losa.....                 | 76 |
| 86  | Modelo Tridimensional Puente 3.....                         | 78 |
| 87  | Tren de Carga Aplicada a la Estructura.....                 | 79 |
| 88  | Asignación de Cargas Laterales (Puente 3).....              | 79 |
| 89  | Asignación de Cargas Laterales por Sobrecarga (Puente 3)... | 79 |
| 90  | Máxima Deflexión Vertical en Puente 3.....                  | 80 |
| 91  | Momento Máximo Positivo M11 (Puente 3).....                 | 80 |
| 92  | Momento Crítico Cara Interna del Muro M11.....              | 80 |
| 93  | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11.....             | 81 |
| 94  | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M11.....              | 81 |
| 95  | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11.....             | 81 |
| 96  | Momento Máximo Positivo M22 (Puente 3).....                 | 82 |
| 97  | Momento Crítico Cara Interna del Muro M22.....              | 82 |
| 98  | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22.....             | 82 |
| 99  | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M22.....              | 83 |
| 100 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22.....             | 83 |
| 101 | Fuerza Cortante V13 (Puente 3).....                         | 83 |
| 102 | Fuerza Cortante V23 (Puente 3).....                         | 84 |
| 103 | Refuerzo de Acero en Pórticos Puente 3.....                 | 84 |
| 104 | Imagen 1 Figura 103.....                                    | 84 |
| 105 | Imagen 2 Figura 103.....                                    | 85 |
| 106 | Imagen 3 Figura 103.....                                    | 86 |
| 107 | Imagen 4 Figura 103.....                                    | 86 |
| 108 | Imagen 5 Figura 103.....                                    | 87 |
| 109 | Modelo Tridimensional Puente 4.....                         | 88 |
| 110 | Tren de Carga Aplicada a la Estructura.....                 | 88 |
| 111 | Asignación de Cargas Laterales (Puente 4).....              | 89 |
| 112 | Asignación de Cargas Laterales por Sobrecarga (Puente 4)... | 89 |
| 113 | Máxima Deflexión Vertical en (Puente 4).....                | 89 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 114 | Momento Máximo Positivo M11 (Puente 4).....     | 90  |
| 115 | Momento Crítico Cara Interna del Muro M11.....  | 90  |
| 116 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11..... | 90  |
| 117 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M11.....  | 91  |
| 118 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11..... | 91  |
| 119 | Momento Máximo Positivo M22 (Puente 4).....     | 91  |
| 120 | Momento Crítico Cara Interna del Muro M22.....  | 92  |
| 121 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22..... | 92  |
| 122 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M22.....  | 92  |
| 123 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22..... | 93  |
| 124 | Fuerza Cortante V13 (Puente 4).....             | 93  |
| 125 | Fuerza Cortante V23 (Puente 4).....             | 93  |
| 126 | Refuerzo de Acero en Pórticos Puente 4.....     | 94  |
| 127 | Imagen 1 Figura 126.....                        | 94  |
| 128 | Imagen 2 Figura 126.....                        | 95  |
| 129 | Imagen 3 Figura 126.....                        | 96  |
| 130 | Imagen 4 Figura 126.....                        | 96  |
| 131 | Imagen 5 Figura 126.....                        | 97  |
| 132 | Imagen 6 Figura 126.....                        | 97  |
| 133 | Modelo Tridimensional Puente 5.....             | 98  |
| 134 | Tren de Carga Aplicada a la Estructura.....     | 99  |
| 135 | Asignación de Cargas Laterales (Puente 5).....  | 99  |
| 136 | Máxima Deflexión Vertical en Puente 5.....      | 99  |
| 137 | Momento Máximo Positivo M11 (Puente 5).....     | 100 |
| 138 | Momento Crítico Cara Interna del Muro M11.....  | 100 |
| 139 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11..... | 100 |
| 140 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M11.....  | 100 |
| 141 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11..... | 101 |
| 142 | Momento Máximo Positivo M22 (Puente 5).....     | 101 |
| 143 | Momento Crítico Cara Interna del Muro M22.....  | 101 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 144 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22.....             | 101 |
| 145 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M22.....              | 102 |
| 146 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22.....             | 102 |
| 147 | Fuerza Cortante V13 (Puente 5).....                         | 102 |
| 148 | Fuerza Cortante V23 (Puente 5).....                         | 102 |
| 149 | Refuerzo de Acero en Pórticos (Puente 5).....               | 103 |
| 150 | Imagen 1 Figura 149.....                                    | 103 |
| 151 | Imagen 2 Figura 149.....                                    | 104 |
| 152 | Imagen 3 Figura 149.....                                    | 104 |
| 153 | Imagen 4 Figura 149.....                                    | 105 |
| 154 | Imagen 5 Figura 149.....                                    | 106 |
| 155 | Modelo Tridimensional (Puente 6).....                       | 107 |
| 156 | Tren de Carga Aplicada a la Estructura.....                 | 107 |
| 157 | Asignación de Cargas Laterales (Puente 6).....              | 108 |
| 158 | Asignación de Cargas Laterales por Sobrecarga (Puente 6)... | 108 |
| 159 | Máxima Deflexión Vertical en (Puente 6).....                | 108 |
| 160 | Momento Máximo Positivo M11 (Puente 6).....                 | 109 |
| 161 | Momento Crítico Cara Interna del Muro M11.....              | 109 |
| 162 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11.....             | 109 |
| 163 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M11.....              | 110 |
| 164 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M11.....             | 110 |
| 165 | Momento Máximo Positivo M22 (Puente 6).....                 | 110 |
| 166 | Momento Crítico Cara Interna del Muro M22.....              | 111 |
| 167 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22.....             | 111 |
| 168 | Momento Crítico Cara Inferior de Losa M22.....              | 111 |
| 169 | Momento Crítico Final del Chaflán Muro M22.....             | 112 |
| 170 | Fuerza Cortante V13 (Puente 6).....                         | 112 |
| 171 | Fuerza Cortante V23 (Puente 6).....                         | 112 |
| 172 | Refuerzo de Acero en Pórticos (Puente 6).....               | 113 |
| 173 | Imagen 1 Figura 172.....                                    | 113 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 174 | Imagen 2 Figura 172.....                                   | 114 |
| 175 | Imagen 3 Figura 172.....                                   | 114 |
| 176 | Imagen 4 Figura 172.....                                   | 115 |
| 177 | Imagen 5 Figura 172.....                                   | 116 |
| 178 | Imagen 6 Figura 172.....                                   | 116 |
| 179 | Sección Transversal (Puente 7).....                        | 117 |
| 180 | Tren de Carga Aplicado en (Puente 7).....                  | 118 |
| 181 | Chequeo de Vigas en (Puente 7).....                        | 119 |
| 182 | Viga Compuestas (Puente 7).....                            | 119 |
| 183 | Deflexión Máxima en Resortes en (Puente 7).....            | 120 |
| 184 | Fuerzas de reacción en los apoyos (Puente 7).....          | 121 |
| 185 | Modelo tridimensional de andamios con cargas asignadas.... | 121 |
| 186 | Desplazamiento máximo en andamios.....                     | 121 |
| 187 | Refuerzo de Puente 7 con Puntales (Propuesta).....         | 122 |
| 188 | Tren de Carga Aplicado en la Estructura (Propuesta).....   | 123 |
| 189 | Chequeo de Vigas en Puente 7 con Puntales.....             | 123 |
| 190 | Chequeo de Acero de Andamios (Propuesta).....              | 124 |
| 191 | Esfuerzo en la Losa de Fundación S13.....                  | 124 |
| 192 | Esfuerzo en la Losa de Fundación S23.....                  | 124 |
| 193 | Acero Superior Vertical de la Losa de Fundación.....       | 125 |
| 194 | Acero Inferior Vertical de la Losa de Fundación.....       | 125 |
| 195 | Acero Superior Horizontal de la Losa de Fundación.....     | 125 |
| 196 | Acero Inferior Horizontal de la Losa de Fundación.....     | 125 |
| 197 | Sección Transversal (Puente 8).....                        | 127 |
| 198 | Chequeo de Vigas en (Puente 8).....                        | 128 |
| 199 | Sección Transversal Puente 8 Reforzado (Propuesta).....    | 129 |
| 200 | Tren de Carga Aplicado en Puente 8 Reforzado (Propuesta).. | 129 |
| 201 | Chequeo de Vigas en Puente 8 (Propuesta).....              | 129 |

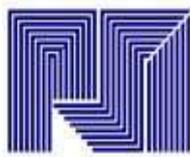
## LISTA DE CUADROS

| CUADRO |  | Pp. |
|--------|--|-----|
| 1      | Sistema de Variables.....                                | 20  |
| 2      | Operacionalización de las Variables.....                 | 21  |
| 3      | Factores de Carga de Diseño.....                         | 34  |
| 4      | Características Generales de Puentes Analizados.....     | 37  |
| 5      | Comparación de Fuerzas Imagen 1 (Puente 1).....          | 48  |
| 6      | Comparación de Fuerzas Imagen 2 (Puente 1).....          | 49  |
| 7      | Comparación de Fuerzas Imagen 3 (Puente 1).....          | 49  |
| 8      | Comparación de Fuerzas Imagen 4 (Puente 1).....          | 50  |
| 9      | Comparación de Fuerzas Imagen 1 (Puente 2 - M1).....     | 63  |
| 10     | Comparación de Fuerzas Imagen 2 (Puente 2 - M1).....     | 64  |
| 11     | Comparación de Fuerzas Imagen 3 y 4 (Puente 2 - M1)..... | 65  |
| 12     | Comparación de Fuerzas Imagen 5 (Puente 2 - M1).....     | 66  |
| 13     | Comparación de Fuerzas Imagen 6 (Puente 2 - M1).....     | 65  |
| 14     | Comparación de Fuerzas Imagen 1 (Puente 2 - M2).....     | 73  |
| 15     | Comparación de Fuerzas Imagen 2 (Puente 2 - M2).....     | 74  |
| 16     | Comparación de Fuerzas Imagen 3 (Puente 2 - M2).....     | 75  |
| 17     | Comparación de Fuerzas Imagen 4 (Puente 2 - M2).....     | 78  |
| 18     | Comparación de Fuerzas Imagen 1 (Puente 3).....          | 85  |
| 19     | Comparación de Fuerzas Imagen 2 (Puente 3).....          | 85  |
| 20     | Comparación de Fuerzas Imagen 3 (Puente 3).....          | 86  |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 21 | Comparación de Fuerzas Imagen 4 (Puente 3).....     | 87  |
| 22 | Comparación de Fuerzas Imagen 5 (Puente 3).....     | 87  |
| 23 | Comparación de Fuerzas Imagen 1 (Puente 4).....     | 95  |
| 24 | Comparación de Fuerzas Imagen 2 (Puente 4).....     | 95  |
| 25 | Comparación de Fuerzas Imagen 3 (Puente 4).....     | 96  |
| 26 | Comparación de Fuerzas Imagen 4 (Puente 4).....     | 97  |
| 27 | Comparación de Fuerzas Imagen 5 y 6 (Puente 4)..... | 98  |
| 28 | Comparación de Fuerzas Imagen 1 (Puente 5).....     | 103 |
| 29 | Comparación de Fuerzas Imagen 2 (Puente 5).....     | 104 |
| 30 | Comparación de Fuerzas Imagen 3 (Puente 5).....     | 105 |
| 31 | Comparación de Fuerzas Imagen 4 (Puente 5).....     | 105 |
| 32 | Comparación de Fuerzas Imagen 5 (Puente 5).....     | 106 |
| 33 | Comparación de Fuerzas Imagen 1 (Puente 6).....     | 113 |
| 34 | Comparación de Fuerzas Imagen 2 (Puente 6).....     | 114 |
| 35 | Comparación de Fuerzas Imagen 3 (Puente 6).....     | 115 |
| 36 | Comparación de Fuerzas Imagen 4 (Puente 6).....     | 115 |
| 37 | Comparación de Fuerzas Imagen 5 y 6 (Puente 6)..... | 116 |

## LISTA DE ECUACIONES

| <b>ECUACIÓN</b> |  | <b>Pp.</b> |
|-----------------|--|------------|
| 1               | Combinación para el Cálculo de Momentos..... | 33         |
| 2               | Combinación para el método LRFR.....         | 35         |
| 3               | Verificación de Puentes de Concreto.....     | 36         |
| 4               | Presión de Tierra.....                       | 40         |
| 5               | Sobrecarga en Muro.....                      | 40         |
| 6               | Método de Rotura.....                        | 58         |
| 7               | Momento Resistente.....                      | 59         |
| 8               | Momento Flector.....                         | 60         |
| 9               | Fuerza Cortante.....                         | 60         |
| 10              | Bloque Rectangular.....                      | 61         |
| 11              | Verificación de Cedencia del Acero.....      | 61         |
| 12              | Verificación de Resistencia Nominal.....     | 62         |
| 13              | Verificación de Deformación del Acero.....   | 62         |
| 14              | Cálculo de Carga Distribuida.....            | 76         |
| 15              | Deformación del Acero.....                   | 77         |
| 16              | Chequeo de Corte en Losas.....               | 118        |
| 17              | Esfuerzo del Suelo.....                      | 123        |
| 18              | Chequeo de Corte.....                        | 128        |



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO  
“SANTIAGO MARIÑO”  
EXTENSIÓN PUERTO ORDAZ**

**ESCUELA: INGENIERÍA CIVIL**

**Evaluación de la ruta de carga extrapesada entre el puerto de Palúa y la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, ubicada en Ciudad Piar, estado Bolívar**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Registros y reducción de desastres naturales-  
Evaluación de estructuras existentes.  
Trabajo de Grado.

**Autor:** Br. César Utrera.

**Tutor:** Ing. Libardo Herrera.

**Asesor Metodológico:** Lcda. Wilmary Salazar.

**Mes, Año:** Junio, 2018

**RESUMEN**

Una vía es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Las carreteras forman parte de la infraestructura económica del país y contribuyen a determinar su desarrollo. En el presente estudio, el objetivo principal de la investigación consiste en evaluar y analizar las estructuras existentes en la ruta, para tomar previsiones en el traslado de cargas extrapesadas de equipos y piezas de la Siderúrgica, esto debido a su vieja data de construcción y usos de las mismas. La modalidad de la investigación científica tendrá un diseño de campo y será de tipo exploratoria; la problemática presente en la investigación se basó, en el estudio y análisis de la trayectoria o ruta que se cubrió desde el puerto fluvial de Palúa hasta la Siderúrgica; la antigüedad y uso de la vialidad, puentes, etc., es la razón por la cual se debió evaluar dichas estructuras para dar a conocer si el diseño original de dichos elementos resistió o no el paso de un tren de carga nuevo, y de manera contraria en esta investigación se presentara las posibles soluciones para su reforzamiento. Esto con el fin, de prevenir un accidente o desastre debido al colapso de algunas de las estructuras antes mencionadas; se recabara datos cualitativos siguiendo 4 fases de actividades y cuantitativas calculando y proyectando los costos de soluciones y/o alternativas que presentara en el desarrollo de este proyecto.

**Descriptores:** Infraestructura, Siderúrgica, Puerto Fluvial, Estructura.

## INTRODUCCIÓN

En la historia humana siempre ha existido la necesidad de trasladarnos de un lugar a otro, y a medida que el hombre se ha civilizado y ha enriquecido nuestra tecnología y conocimientos, también ha evolucionado nuestra manera de movernos en el mundo. Así mismo es necesario desarrollar diferentes tipos de traslado, y a su vez inventar ciertas maquinarias y herramientas que nos permitan trasladarnos y movilizar objetos de uso personal, profesional y de desarrollo humano.

Por consiguiente el objetivo del siguiente trabajo es el estudio y/o análisis de una ruta para el traslado de piezas y equipos que pertenecen al proyecto denominado "Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima"; piezas que a su vez llegan vía marítima al puerto fluvial de Palúa, ubicado en Puerto Ordaz, estado Bolívar que se necesitan trasladar hasta el sitio de la obra.

Esta ruta, está conformada por una serie de estructura que tienen vieja data de construcción y por lo cual, se estudiarán para ver si es posible el traslado a través de ellos; esto se hará por medio de un análisis estructural de las mismas simulando un nuevo tren de carga sobre la estructura existente para verificar si son aptos o no, y dar respuesta al solicitante.

Registraremos datos de la situación actual, de cada una de las estructuras existentes y verificaremos con el caso más desfavorable cada una de ellas y al final de esta investigación daremos recomendaciones y/o alternativas a la ruta de estudio, basándonos en los requerimientos del solicitante, como la normativa vigente y la factibilidad de la investigación en relación a la situación económica actual de nuestro País.

Esta investigación, se basa en el estudio de la viabilidad, puentes y rutas existentes desde el puerto fluvial de Palúa hasta Ciudad Piar; esto nos permitirá conocer si la ruta se encuentra en óptimas condiciones para ser transitada por transportes con equipos extra pesados y de manera contraria poder realizar las recomendaciones necesarias para su mejora o el trazado de

nuevas rutas de acceso que permita el fácil tránsito de las maquinarias necesarias.

Este trabajo de grado está estructurado de la siguiente manera:

El capítulo I, consta de los aspectos referidos al título del problema y planteamiento del mismo, el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación de la investigación.

En el capítulo II, se presentan los antecedentes de la investigación y las bases teóricas en las cuales se destacan y profundizan las teorías que sustentan la investigación.

El capítulo III, referido al marco metodológico, donde se describe y analiza los aspectos tales como: el diseño metodológico, el cual destaca el tipo de investigación aplicada, las técnicas utilizadas para la recolección de los datos, al igual que las técnicas de análisis y los procedimientos referentes a la investigación que se deben tomar en cuenta.

El capítulo IV, referido a los resultados, es donde se harán los levantamientos, análisis estructurales y se propondrá las alternativas y/o soluciones en caso de ser necesario, para poder realizar el traslado por la ruta de estudio del nuevo tren de cargas extrapesada, también se evaluará los costos de las propuestas para ver la factibilidad de la misma.

Conclusiones, referido al resumen de los resultados obtenidos y propuestas realizadas en el desarrollo de la investigación dando respuesta al problema planteado en el objetivo general.

Recomendaciones, se refiere a las acciones o aplicaciones prácticas derivadas de la investigación realizada las cuales aconsejan implementar y ejecutar, también se incluirán las precauciones o cuidados que hay que realizar para trabajos o investigaciones similares.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **Contextualización del Problema**

En el mundo, una vía es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

Las carreteras forman parte de la infraestructura económica del país y contribuyen a determinar su desarrollo; e intervienen en planes y programas a través de los proyectos. El proyecto de la siderúrgica Nacional “José Inácio Abreu é Lima”, es de gran importancia, porque permitirá dar valor agregado al mineral de hierro que se produce en los yacimientos ubicados en las cercanías de Ciudad Piar, debido a la necesidad del traslado de equipos y piezas pertenecientes al proyecto en ejecución de la siderúrgica, y que dichos equipos son de dimensiones y pesos especiales, surge la investigación de comprobar si la ruta en estudio es apta para los traslados; el equipo de transporte que se utilizara para el traslado de los equipos está compuesto por un tractor principal de 30 toneladas y tres ejes (un eje delantero de 2 ruedas y dos ejes traseros de 4 ruedas cada uno), dicho tractor remolca a un tráiler de 18 ejes y 67 toneladas de peso, al cual se le asignó una carga correspondiente a la más desfavorable que se debe transportar a la siderúrgica en Ciudad Piar, como es

el bastidor de 303 toneladas de peso, ¿Cómo desarrollaremos esta investigación?

El objetivo principal de la investigación consiste en evaluar y analizar las estructuras existentes en la ruta para tomar previsiones en el transporte de Cargas extrapesadas de equipos y piezas de la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima; ¿Por qué hacer este trabajo de investigación?; considerando los diversos elementos que constituyen el transporte así como la reglamentación, señalización y determinación de la zona donde pasara la carga sobre las estructuras; que deben tenerse en cuenta durante la operación del mismo.

Debido a lo anteriormente expuesto, la problemática presente en la investigación se basa, en el estudio y análisis de la trayectoria o ruta que se debe cubrir desde el puerto fluvial de Palúa hasta la Siderúrgica ubicada en Ciudad Piar; la antigüedad y uso de la vialidad, puentes y obras, es la razón por la cual responderemos la interrogante de ¿para que realizamos este trabajo de grado?

Con el fin de prevenir un accidente o un desastre debido al colapso de algunas de las estructuras antes mencionadas y la cual son materia de este estudio al paso de un nuevo tren de carga mayor al original del diseño; para conocer si al paso del mismo no existen problemas de resistencias y resistencia o de dimensiones según sea el elemento. La investigación presentará, de ser necesario, la solución o soluciones más eficaces, posibles y económicas ajustándose a la realidad económica actual del País.

## **Objetivos de la Investigación**

### ***Objetivo General***

Evaluar la ruta de carga extrapesada entre el puerto de Paula y la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, ubicada en Ciudad Piar, estado Bolívar.

### **Objetivos Específicos**

Levantar la ruta de estudio, incluyendo los pasos de puentes, distribuidores, tendidos de alta y baja tensión, entre otros; para conocer la situación actual de la ruta existente.

Ubicar las reseñas y antecedentes de construcción de puentes, distribuidores, etc., existentes en la ruta para conocer sus datos y características originales.

Analizar las estructuras de los puentes, distribuidores, etc., existentes en la ruta de estudios sometidos a las nuevas cargas para conocer la operacionalidad ante estas nuevas solicitudes de uso.

Presentar soluciones y/o alternativas de reforzamiento en los casos o caso que lo amerite para mejorar las estructuras existentes en la ruta evaluada.

Evaluar los costos de los reforzamientos propuestos (cálculos métricos, APU y presupuesto), para su factibilidad.

### **Justificación de la Investigación**

A nivel nacional se encuentra cantidad de infraestructuras con viejas datas de construcción; que se encuentran paralizadas por diversos motivos; al retomar la construcción es de carácter importante la evaluación de los puentes, rutas, distribuidores, entre otros; para conocer si aún se encuentran habilitadas para su utilidad.

En esta investigación, se evaluó la ruta de carga extrapesada entre el puerto de Paula y la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, ubicada en Ciudad Piar, estado Bolívar; por qué se necesita realizar un estudio independiente del transporte de las piezas extrapesadas desde el puerto de Palúa hasta ciudad Piar. Se estudió cómo se comporta la vialidad, puentes y obras de arte durante su transporte a la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu e Lima en ciudad Piar. Esto tomando en consideración un informe

presentado por la empresa de transporte FAPCO, el cual consta con la vialidad, puentes y diferentes obras de que se encuentran en la ruta analizada. Igualmente, en dicho informe se solicitó colocar las diferentes acciones a ser tomadas durante el transporte de los equipos extrapesados.

Teniendo en mano dicho informe, surge la necesidad de realizar un estudio independiente que sirva de punto de comparación y control de calidad, para así presentar las soluciones de reforzamiento (de ser necesario) o la propuesta de un cambio de ruta de no poder corregir algunos de los problemas que surjan con la ruta de estudio.

La importancia de este estudio realizado es conocer si las estructuras presentes en dicha ruta, se encuentra en completa accesibilidad y puedan resistir el paso de transporte con piezas y/o equipos, algunos de estos equipos tienen un peso tal que exceden las capacidades de los camiones normales y pueden exceder las capacidades de peso de la vialidad, puentes y obras de la vía.

Cabe destacar que esta investigación también tiene como propósito servir de guía o mecanismo de consulta para posibles traslados similares que se pudieran necesitar en la ejecución de la obra antes mencionada como de otras que se proveen realizar en el entorno del sector donde está ubicada la Siderúrgica, y así tener un antecedente en el futuro.

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### Antecedentes de la Investigación

**Cardozo, M. (2015).** Universidad de El Salvador facultad de ingeniería y arquitectura escuela de Ingeniería Civil. Trabajo de graduación previo a la opción al Grado de: ingeniero civil. Título: **“Evaluación Estructural de un Puente Mediante la Realización de una Prueba de Carga Estática”**. La metodología usada está estructurada de la siguiente manera: Descriptiva y aplicada, su diseño es de campo, la revisión documental y la técnica de recolección de datos. Según los datos obtenidos, se afirma que el puente no se encuentra en condiciones óptimas de utilidad, el deterioro del puente puede causar una repentina inhabilidad, provocando pérdidas económicas e inclusive humanas. Por estas razones es que el objeto de estudio de esta investigación son las anomalías en el comportamiento estructural de la obra.

Para llevar a cabo el estudio de la evaluación de la ruta de carga extrapesada entre el puerto de Palúa y la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, ubicada en ciudad Piar, estado Bolívar; es necesaria la revisión de diversos trabajos de grado que servirán de apoyo en nuestra investigación, en este caso la información recolectada por Cardozo, apporto el cómo se debe evaluar el comportamiento estructural de obras tomando en cuenta las pruebas cargas estáticas.

**Muñoz, E. (2015).** Pontificia universidad javeriana facultad de ingeniería carrera de ingeniería civil Bogotá d.c. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de: Ingeniero Civil. **“Propuesta Metodológica**

**para Evaluar la Capacidad de Carga de Tableros de Puentes Existentes de Concreto Reforzado Basada en Pruebas Estáticas de Carga”**. Se observó la existencia de factores externos que influyen en el comportamiento de la estructura en la obtención de resultados, durante las etapas de medición, y en la ejecución de la prueba de carga. Estos factores varían dependiendo del entorno y de las características de la estructura, entre los encontrados están: vibraciones dadas por estructuras continuas (el caso de una doble calzada), zonas de altas temperaturas, estructuras inclinadas, tiempo de servicio del puente, etc.

La metodología utilizada es una investigación científica de campo, se tomaron en cuenta la observación directa, recolectando la información necesaria para el proyecto.

El aporte obtenido, el sistema de cálculo de la capacidad de carga de los tableros, como se comporta al efecto de cargas extra pesadas.

**Minota, Y. (2014)**. Monografía para optar el título de especialista en ingeniería de pavimentos. Universidad militar Nueva Granada facultad de ingeniería programa de ingeniería civil especialización en ingeniería de pavimentos Bogotá. **“Control de Carga Extrapesada y Extradimensional en Colombia”**. Los pasos realizados y objetivos para poder avanzar en esta investigación fueron:

Analizar las normas de control de carga extra pesada y extra dimensional en Colombia, resoluciones y decretos que la entidad competente haya generado para conservar y generar economía a la construcción, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura vial.

Analizar un caso específico de trámite de permiso de carga extra pesada y extra dimensional, que incluya procedimiento, tipo de carga, tipo de vehículo y número de ejes utilizados.

Su metodología fue tipo documental y aplicada, este proyecto dará una visualización tanto a nivel físico como a nivel de ley, de las restricciones y del grado de infracción que se comete al violarlas normas que controlan este tema.

Llevar a cabo la investigación de dicho tema, genera la obligación de recopilar documentos, normas, decretos etc., en diferentes entidades como lo son INVIAS, el Ministerio de Transporte y una empresa privada permita colaborar con ello. El conocimiento de los pesos máximos por eje que pueden transitar por las diferentes rutas en el país ha permitido generar resoluciones y decretos que se encuentran en la normatividad Colombiana y que han permitido disminuir en gran manera los daños a nivel estructural en las vías, pero todavía queda mucho por mejorar.

Minota, aporta a nuestro proyecto de investigación como se deben recaudar la información y las diferentes normativas que se deben tomar en cuenta al momento de la redacción y búsqueda de soluciones a los objetivos planteados.

## **Bases Teóricas**

### ***Puente***

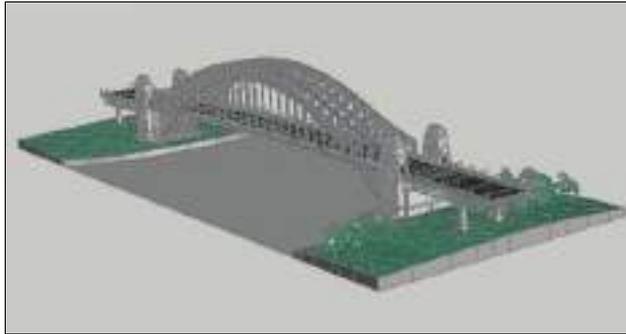
La infraestructura de un puente está formada por los estribos o pilares extremos, las pilas o apoyos centrales y los cimientos, que forman la base de ambos. La superestructura consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas y las armaduras, constituidas por vigas, cables, o bóvedas y arcos que transmiten las cargas del tablero a las pilas y los estribos.

### ***Tipos de puentes que existen y sus características***

Los diferentes tipos de puentes que existen pueden distribuir cargas de distintas maneras y se adaptan a diferentes tipos de ambientes. Por ejemplo, los puentes de vigas simples pueden abarcar sólo distancias limitadas si no tienen algún apoyo adicional. Pero vamos a ver qué tipos son estos y cuáles son sus características principales.

- *Puentes de arco:*

Estos puentes utilizan como principal componente estructural el arco. El número de arcos que se necesitan varía dependiendo de qué tipo de carga y fuerzas de estrés deben soportar.



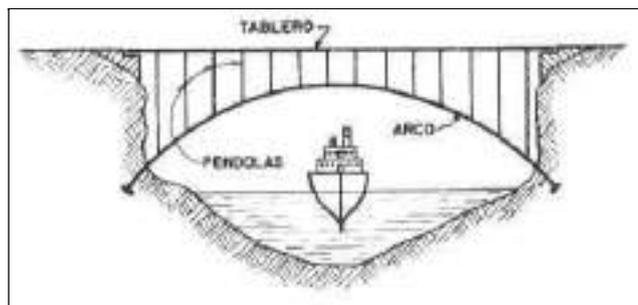
*Figura 1. Puente de arco.*

Los puentes en arco también se clasifican según su grado de articulación. Un arco empotrado, en el cual la construcción impide la rotación en los extremos de la luz, es estáticamente indeterminado de tercer grado en lo que respecta a las reacciones externas. Si la luz está articulada en los extremos, se convierte en un arco biarticulado, y es estáticamente indeterminado de primer grado. En los años recientes, la mayor parte de los puentes en arco se han construido empotrados o con dos articulaciones. A veces se incluye una articulación en la clave, adicional a las articulaciones de los extremos. En todos estos casos es requisito importante que el terreno de fundación sea de muy buena calidad para garantizar su resistencia a las reacciones verticales y fundamentalmente a los empujes horizontales.

Además los puentes en arco se pueden clasificar según la ubicación del tablero. El tablero se puede ubicar en distintas posiciones con relación al arco, por lo que estos puentes pueden ser:

- *Arcos de tablero superior.*

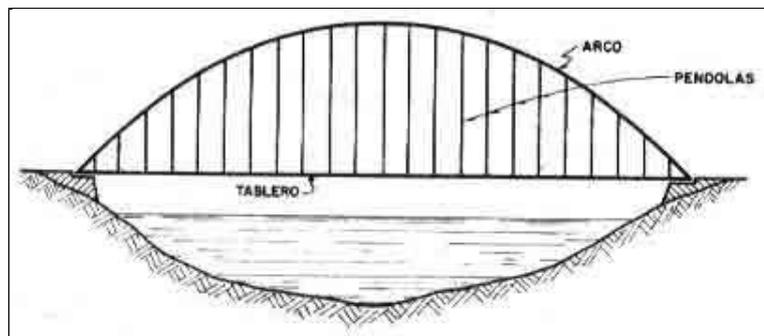
Los arcos de tablero superior o de paso superior, son cuando los arcos están por debajo del tablero. Éste es el tipo más usual de arcos verdaderos y se emplean cuando la quebrada que se desea salvar es profunda y otras veces cuando se desea ganar gálibo para permitir el paso de los barcos si el río es navegable.



*Figura 2. Puente de arco de tablero superior.*

- *Arcos de tablero inferior.*

Los arcos de tablero inferior o de paso inferior, son usados especialmente cuando la rasante del camino es muy baja y por razones de estética se desea construir un arco.



*Figura 3. Puente de arco de tablero inferior*

- *Arcos de tablero intermedio.*

Los arcos de tablero intermedio o de paso intermedio, tienen ubicado a media altura su tablero, en algún punto intermedio entre los arranques y la clave y son de buen aspecto arquitectónico. Se los emplea en quebradas

no muy profundas o en pasos superiores porque en su parte central se consigue el gálibo necesario para el paso vehicular.

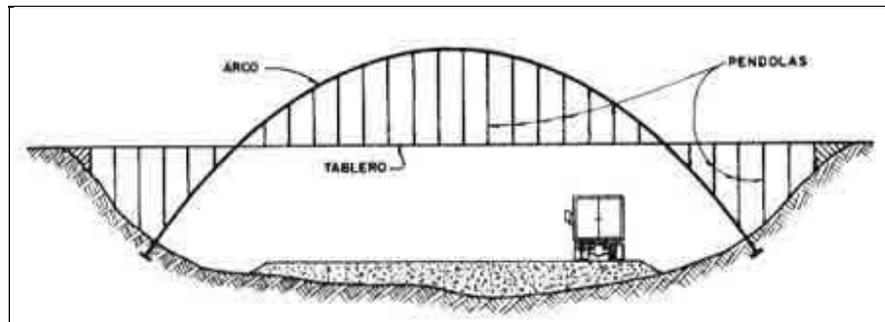


Figura 4. Puente de arco de tablero intermedio

- *Puentes viga:*

Es básicamente una estructura rígida horizontal que descansa sobre dos muelles, uno a cada extremo. El peso del puente y cualquier tráfico sobre él, está directamente apoyado en los muelles. El peso viaja directamente hacia abajo.



Figura 5. Puente de Viga

- *Puentes de armadura.*

Es una especie de puente basado en diferentes tensiones en madera o metal tirando juntamente cuando se aplica peso en él. El puente no tiene muchos elementos de soporte inferiores, y mucho del apoyo proviene de la

colocación de diferentes piezas de metal por encima de él. Este tipo de puente está diseñado para sostenerse cuando se aplica peso mediante la tensión de cada una de sus piezas, causando que pueda sostener la carga.

Todos los puentes de armadura están contruidos sobre el mismo principio básico. Un puente plano se coloca sobre la abertura y soportes en disposición horizontal y diagonal se agregan a cada lado del puente para que tenga apoyo. Luego se construye una estructura sobre el puente en el mismo patrón horizontal y diagonal para apoyar el puente desde arriba. De esta manera cuando se aplica peso, todas las piezas del puente se sostienen juntamente, lo cual causa que éste pueda soportar casi cualquier peso.



Figura 6. Puente en armadura

- *Puentes cantiléver o voladizos.*

Tienen especial aplicación en tramos muy largos. Reciben su nombre de los brazos voladizos (cantiléver) que se proyectan desde las pilas. Los brazos voladizos también pueden proyectarse hacia las orillas para sustentar los extremos de dos tramos suspendidos. Es posible realizar combinaciones variadas como las que incorpora el puente del Forth, ya que pueden utilizarse todos los sistemas de armaduras a excepción de la Howe. El principio del puente cantiléver puede aplicarse fácilmente a los puentes de armadura de acero y tablero superior. Existen viaductos de hormigón armado o de vigas armadas metálicas en cantiléver; puentes de armadura de hierro que

combinan el principio cantiléver con el arco para formar el sistema conocido con el nombre de puente de arco cantiléver. El arco puede estar articulado en las pilas; en tal caso se asemeja a un puente de doble articulación, que puede convertirse en triple añadiendo otra articulación a la clave.



Figura 7. Puentes cantiléver o voladizos

- *Puentes colgantes.*

Un puente colgante es un puente cuyo tablero, en vez de estar apoyado sobre pilas o arcos se sujeta mediante cables o piezas atirantadas desde una estructura a la que van sujetas. Una de sus variantes más conocidas es el que tiene una catenaria formada por numerosos cables de acero, de la que se suspende el tablero del puente mediante tirantes verticales. La catenaria cuelga de dos torres de suficiente altura, encargadas de llevar las cargas al suelo.

Desde la antigüedad este tipo de puentes han sido utilizados por la humanidad para salvar obstáculos. Con el paso de los siglos y la introducción y mejora de distintos materiales de construcción, este tipo de puentes son capaces en la actualidad de soportar el tráfico rodado o líneas de ferrocarril.

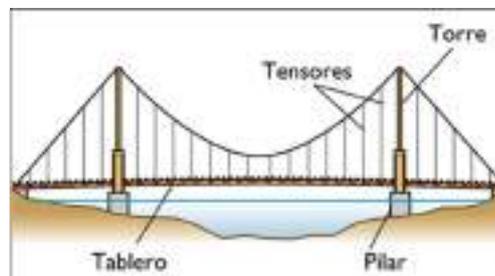


Figura 8. Puente colgante

### **Cargas**

Las cargas estructurales son definidas como la acción directa de una fuerza concentrada o distribuida actuando sobre el elemento estructural y la cual produce estados tensionales sobre la estructura.

Las cargas se expresan en unidades de peso, en unidades de peso por longitud o en unidades de peso por superficie unitaria, o sea, kg; kg/m y kg/m<sup>2</sup>, según el Sistema Métrico Decimal.

Estas cargas son aplicadas a los diferentes elementos de las estructuras de las edificaciones, los que constituyen a su vez, un conjunto de miembros estructurales. Cada uno de estos miembros está constituido por un material con determinada forma volumétrica y sujeto a realizar uno o varios esfuerzos, cuando forman parte de la estructura. Como los esfuerzos son consecuencias de las cargas, es necesario conocer o suponer las cargas a que va a estar sometido cada uno de esos miembros.

### ***Tipos de cargas***

Las cargas, según su naturaleza pueden ser: estáticas, de repetición o cíclicas, y de impacto; según su disposición pueden ser distribuidas y concentradas.

- ***Según su naturaleza:***

**Estáticas:** Son las que se aplican gradualmente y se consideran constantes después de aplicadas. Para estudiarlas se dividen en cargas vivas o accidentales y en cargas muertas o permanentes.

**Cargas vivas:** Son aquellas que algunas veces pueden estar aplicadas a los miembros y otras no. Ejemplo de esto puede ser un aula, que en ocasiones puede estar vacía y en otras están todos los estudiantes; o las graderías de un estadio, que estarán llenas de público cuando se exhibe un evento y en otras no.

Cargas muertas: Son las que tienen carácter de permanente sobre el miembro que actúan. Ejemplo, el peso de una placa que soporta el piso, el relleno debajo de ese piso, y el piso.

Cargas de repetición: Se aplican un gran número de veces a un miembro produciéndose efectos variables que motivan desgaste y/o rotura del material. Ejemplo, cuando se aplica un doblado alternativo a un alambre hasta que se produce la fatiga y este se rompe.

Cargas de impacto: Se aplican en un relativamente corto tiempo, es decir, súbitamente, siendo generalmente aplicadas por un cuerpo en movimiento al ponerse en contacto con un cuerpo resistente. Ejemplos serían: un tren o automotor pasando sobre un puente; efectos de un terremoto; la fuerza del viento en un ciclón, etc.

- *Según su disposición:*

Cargas distribuidas: Son las que se encuentran repartidas en determinada área. Estas pueden ser uniformemente distribuidas, uniformemente variables y variables.

Uniformemente distribuidas: Son las que se reparten de forma uniforme. Ejemplo: si se esparce arena sobre una cubierta en cantidades tales que tenga una misma altura en toda el área; el peso de los pisos también es una carga distribuida.

Uniformemente variable: Usando el ejemplo anterior, si esa arena tiene una altura en un lado de la cubierta, y en el lado opuesto una altura diferente, siempre que su variación sea lineal, esto nos dará una carga que varía uniformemente, o sea, una carga uniformemente variable.

Variable: Si la arena de los ejemplos anteriores se regara en montones, sin orden en cuanto a su altura y área de ocupación, se dice que estamos frente a una carga variable.

**Cargas concentradas:** Son las que se aplican en un área pequeña, en comparación con la total del miembro resistente. Ejemplo: el peso de una máquina herramienta en una esquina del taller.

### ***Lowboy***

También es conocido como remolque de plataforma baja y básicamente nos referimos a una herramienta que nos ayuda a transportar, o como su nombre lo dice, a remolcar objetos pesados fácilmente, gracias a su especial forma. El primer lowboy fue utilizado en 1920. Este tipo de remolque es adecuado para cargas pesadas y de gran tamaño.



*Figura 9. Lowboy*

### ***Características del Lowboy***

Una de las características que diferencia a los remolques de plataforma baja es la altura de la cama del remolque, que a diferencia de una plataforma estándar, cuya altura es uniforme a lo largo de 60 a 62 pulgadas, una plataforma baja tiene dos secciones superiores, junto con una zona media-baja. La sección media de una plataforma baja sólo puede ser de 22 a 24 pulgadas de altura.

La mayoría de los remolques de plataforma baja tienen un sistema hidráulico que opera un pistón hidráulico que levanta el remolque para enganchar la unidad de remolque después de que se ha cargado. Todos los lowboy son remolcados por un camión, todos tienen frenos de aire; hay remolques de dos ejes con 8 neumáticos, los grandes remolques tienen tres ejes con 12 neumáticos; también hay algunos remolques especiales de alta resistencia con cuatro ejes y hay incluso tráiler de gran volumen con más de 4 ejes; tienen una gran capacidad de carga, soportan desde 10 toneladas hasta 100 toneladas.

En algunos lowboy el cuello de cisne tiene un radio de giro para acomodar un tractor de doble tornillo. El bastidor principal del remolque está construido de material de alta resistencia a la tracción que es hasta 38% más fuerte que el acero en otros remolques.

### ***Partes básica de un lowboy***

- ***Vigas principales:*** En perfil prefabricado en "I", con alma en Lamina estructural A36 de 1/2", patín superior en láminas estructural A36 de 7/8", patín inferior en láminas estructural A36 de 1", que garantiza una alta resistencia como soporte principal de toda la estructura.
- ***Puentes intermedios:*** En perfil estructural original IPE200, solidarios a la viga principal, genera un entramado estructural que garantiza soportar altas cargas y fuertes impactos, comunes en el transporte de carga.
- ***Marco Lateral:*** Perfil estructural original en "C" de 10", completa la estructura de la superficie de carga útil, generando un marco rígido al cuerpo del Lowboy.
- ***Cuello Desmontable:*** Compuesta por una doble alma fabricada en acero A36 de 1/2", con patines de lámina acero A36 figurada de 3/4", amarradas entre si por un travesaño en perfil estructural original IPE 270 y canales de 6" y 3", conectando de una manera segura el cabezote con la carga que se

transporta. Con un sistema de enganche hidráulico que permite el anclaje y desmonte del cuello de manera eficiente.

- *Piso:* En madera Sapan de 40mm de altura a lo largo de la cama cuna.
- *Acoplador:* Placa de desgaste en acero al carbón en 1/2", reforzado con puentes en acero estructural A-36. Este conjunto esta soldado a las vigas principales formando una sección resistente a las cargas transmitidas por la quinta rueda en el cuello.

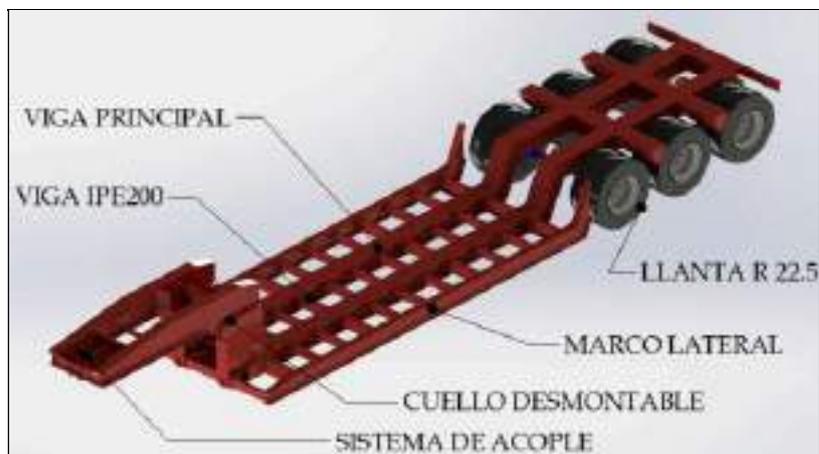


Figura 10. Partes del lowboy

**Cuadro 1**  
**Sistema de Variables**

| <b>Objetivos Específicos</b>   | <b>Variable</b>              | <b>Definición de las Variables</b>   |
|--|------------------------------|--|
| Levantar la ruta de estudio, incluyendo los pasos de puentes, distribuidores, tendidos de alta y baja tensión, entre otros; para conocer la situación actual de la ruta existente.                     | Ruta de estudio              | Análisis completo que se hace a una o varias vías con el fin de conocer a fondo la ruta.   |
| Ubicar las reseñas y antecedentes de construcción de puentes, distribuidores, etc., existentes en la ruta para conocer sus datos y características originales.   | Antecedentes de construcción | Los antecedentes son la data de las estructuras que se conocieron para saber el tiempo que tienen las estructuras existentes.  |
| Analizar las estructuras de los puentes, distribuidores, etc., existentes en la ruta de estudios sometidos a las nuevas cargas para conocer la operacionalidad ante estas nuevas solicitaciones de uso | Análisis estructural         | Se refiere a uso de las ecuaciones de la resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura existente. |
| Presentar soluciones y/o alternativas de reforzamiento en los casos o caso que lo amerite para mejorar las estructuras existentes en la ruta evaluada  | Soluciones y/o alternativas  | Son las respuestas o propuestas de reforzamientos y mejoras que daremos para las estructuras existentes.   |
| Evaluar los costos de los reforzamientos propuestos (cómputos métricos, APU y presupuesto), para su factibilidad   | Costos                       | Son los gastos económicos que representan la producción de dichos mejoramientos o reforzamientos que daremos para las estructuras existentes.                                  |

**Cuadro 2**  
**Operacionalización de las Variables.**

| Objetivo General  | Objetivos Específicos   | Variables                     | Indicadores  | Dimensión  |
|---|---|-------------------------------|--|--|
| Evaluar la ruta de carga extrapesada entre el puerto de Paula y la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, ubicada en Ciudad Piar, estado Bolívar. | Levantar la ruta de estudio, incluyendo los pasos de puentes, distribuidores, tendidos de alta y baja tensión, entre otros; para conocer la situación actual de la ruta existente.                | Ruta de estudio.              | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ubicación</li> <li>○ Condiciones</li> <li>○ Utilidad</li> </ul>   | Puerto fluvial de Palúa hasta Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, en Ciudad Piar, estado Bolívar. |
|   | Ubicar las reseña y antecedentes de construcción de puentes, distribuidores, para conocer los datos existentes  | Antecedentes de construcción. | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Dimensiones</li> <li>○ Data</li> <li>○ Características</li> </ul> | Cantidad de años de ejecutado y vida útil de las estructuras existentes.                                     |
|   | Analizar las estructuras de los puentes, distribuidores, etc., existentes en la ruta de estudios sometidos a las nuevas cargas para conocer la operabilidad ante estas nuevas solicitudes de uso. | Análisis estructural.         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Solicitaciones</li> <li>○ Condiciones</li> </ul>                  | Momentos máximos resistentes.  |
|   | Presentar soluciones y/o alternativas de reforzamiento en los casos o caso que lo amerite para mejorar la ruta de carga.  | Soluciones y/o alternativas.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reforzamientos</li> <li>○ Mejoramientos</li> </ul>                | Detallado de las soluciones y/o alternativas.  |
|   | Evaluar los costos de los reforzamientos propuestos (cálculos métricos, APU y presupuesto), para su factibilidad  | Costos.                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Factibilidad</li> <li>○ Costos</li> </ul>                         | APU y cálculos métricos.   |

## Definición de Términos Básicos

**Aditivos:** Son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánicas, cuya inclusión tienen como objeto modificar las propiedades de los materiales conglomerado en estado fresco.

**Aglomerado:** Es el material obtenido por el moldeado de una sustancia granulada, con la ayuda de un aglomerante.

**Arco:** Es el elemento constructivo lineal de forma curvada, que salva el espacio entre dos pilares o muros.

**Armado:** Es el acomodo de cabillas o barras de acero en una construcción, de manera que funciones como un sistema en conjunto con el concreto que se colocara posteriormente.

**Basa:** Pedestal sobre el que se asienta una columna.

**Basamento:** Arte inferior del conjunto formado por la base y pedestal de una columna.

**Bastidores:** Es una estructura compuesta por largueros (vigas longitudinales) y travesaños (vigas transversales) que de una forma u otra se deben fijar todos los elementos y grupos mecánicos que conforman un automóvil como lo podría ser el motor, grupos de transmisiones, ejes de carrocerías.

**Cargas:** Son las fuerzas externas ejercidas a los elementos resistentes o también a su propio peso. Un edificio soporta cargas vivas, muertas y accidentales.

**Cemento:** Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua o alguna otra sustancia, formando una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire; se emplea para rellenar o tapar huecos y como componente aglutinante en bloques de hormigón y en argamasa.

**Columna:** Es una pieza arquitectónica vertical y de forma alargada que sirve, en general, para sostener el peso de una estructura, aunque también puede tener fines decorativos.

**Concreto:** Elemento deformable, formado por cemento, grava, arena y agua, en estado plástico toma la forma del recipiente, ocurre una reacción química entre el cemento y el agua, esto hace que la mezcla fragüe y se convierta en un elemento rígido.

**Contrafuerte:** Refuerzo saliente de un muro.

**Deformabilidad:** Capacidad de los materiales de agarrarse de sufrir deformaciones sin llegar a romperse y provocar su desprendimientos.

**Desmante:** Acción subsiguiente al despalme en donde se nivela el terreno para así comenzar con la construcción, se usa maquinarias para realizar cortes de terreno y así alcanzar el nivel deseado.

**Despalmar:** Extracción y retiro de la capa superficial de terreno natural en forma manual o mecánica.

**Dintel:** Es el elemento horizontal que apoyado en su extremo permite soportar una carga; suele estar en la parte superior de puertas, ventanas y algunos huecos.

**Encofrados:** Es un molde hecho de tablas de madera, chapas metálicas, plásticos u otro material que se rellena de concreto.

**Esfuerzo Cortante:** Es una fuerza externa que es aplicada en forma vertical a la sección que se esté tratando, puede ser una viga, columna o cualquier elemento estructural, el esfuerzo aplicado intenta cortar el elemento en la zona donde se esté aplicando.

**Especificaciones:** Conjunto de disposiciones, requisitos e instrucciones particulares para una obra determinada, que modifican, adicionan y sustituyen a las normas correspondientes en lo que a ejecución, equipamiento y puesta en servicio de la obra que se refiere.

**Estructura:** Es el conjunto de elementos resistentes, convenientemente vinculados entre sí, que accionan y reaccionan bajo los efectos de las cargas.

**Estribo:** Elemento estructural formado con varilla o alambre, que sirven para unir el armado de cabillas dentro de una estructura, su función es confinar el concreto que se cuele en el interior de este elemento y así evitar la expansión del mismo evitando una falla estructural.

**Losa:** Elemento estructural formado de concreto y cabilla, están colocados en forma horizontal en edificaciones, y forman el piso de niveles superiores, existen varios tipos de losa.

**Memoria Descriptiva:** Es un documento informativo que debe contener la descripción y justificación de las soluciones técnicas adoptadas, con tantos capítulos y apartados como divisiones y subdivisiones se hayan adoptados para la realización.

**Muro:** Construcción vertical para encerrar un espacio, retener tierra o almacenar materiales, comúnmente formados de mamposterías o concreto reforzados, son elementos rígidos y deben soportar fuerzas laterales menores para garantizar su estabilidad, destinados para soportar cargas verticales.

**Nervio:** Es un elemento constructivo, que también puede ser decorativo, sobresaliente del intradós de una bóveda o de un arco.

**Nicho:** Hueco de pared, por lo general semicilíndrico y rematado por un cuarto de esfera, donde se colocan elementos ornamentales como estatuas o jarrones, etc.

**Pilar:** Soporte de fuste cuadrado.

**Pórtico:** Galería abierta al exterior, sostenida por columnas o pilares.

**Precio Unitario:** Importe de la remuneración o pago total que debe cubrirse al contratista por unidad de medida de trabajo terminado, ejecutado conforme al proyecto ejecutivo, especificaciones y normas.

**Presupuesto:** Documento donde se indican los trabajos a ejecutar, así como la cantidad, la unidad de medida y precio unitario de los mismos, integrando estos últimos al fin de determinar, mediante importes parciales y el total, el monto de contratación de la obra.

**Puente:** Construcción que se levanta sobre una depresión del terreno (río, canal, foso, etc.) o en otro sitio para comunicar dos lados.

**Puerto:** Área acuática encerrada parcialmente y protegida de esta forma de las tormentas y de las fuertes mareas para proporcionar alojamiento seguro y adecuado a los barcos que los necesiten.

**Resistencia:** Es una de las cuatro capacidades físicas básicas, particularmente aquellas que nos permiten llevar a cabo una actividad o esfuerzo durante el mayor tiempo posible.

**Tensión:** Es una fuerza que intenta estirar un componente, el acero es un material que resiste grandes fuerzas de este tipo, en cambio el concreto no resiste este tipo de fuerzas.

**Tensores:** Son aquellas constituidas fundamentalmente por materiales que únicamente tienen rigidez a tracción y que antes de recibir las cargas exteriores, para las que se proyectan, desarrollan internamente un fuerte estado de esfuerzos debido a pretensados iniciales.

**Tirantes:** Pieza destinada a impedir el aumento de distancia entre dos elementos de una construcción.

**Unidad de Medida:** La que se usa convencionalmente para cuantificar cada concepto de trabajo, para fines de medición y pago.

**Vigas:** Es una serie de miembros estructurales que se extienden desde el borde hasta el perímetro, diseñada para soportar la cubierta del techo o el tipo de carga, asociados con los elementos que componen el techo de un edificio.

**Zapatas:** Elementos estructurales, comúnmente de concreto armado, de gran empleo en las cimentaciones.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

La metodología del trabajo de grado, está constituida por todas aquellas técnicas y procedimientos que se utilizan para llevarla a cabo. El fin esencial del marco metodológico es precisar, a través de un lenguaje claro y sencillo, los métodos, técnicas, estrategias, procedimientos e instrumentos utilizados por el investigador para lograr los objetivos.

Según la concepción de Arias (2006), “el marco metodológico es el cómo se realizó el estudio para responder al problema planteado” (p. 118). La metodología de un trabajo especial de grado incluye el tipo o tipos de investigación, así como las técnicas y los procedimientos serán utilizados para llevar a cabo la investigación. En este capítulo, se presentara el enfoque metodológico que se empleó para realizar el estudio.

#### **Modalidad de la Investigación**

##### ***Investigación Científica***

Según Arias (2006), “La investigación es considerada una actividad orientada a la obtención de nuevos conocimientos y su aplicación para la solución a problemas o interrogantes de carácter científico” (p. 45); la Investigación científica es el nombre general que obtiene el complejo proceso en el cual los avances científicos son el resultado de la aplicación del método científico para resolver problemas o tratar de explicar determinadas observaciones.

## **Diseño de la Investigación**

### ***De campo***

Según Arias (2006) una investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna” (p. 31).

Este trabajo de grado se basara en una investigación de campo, ya que los datos obtenidos se habrán hecho de forma directa de la realidad; en este caso se habrían hecho inspecciones y levantamiento de información directa del cómo se comporta la vialidad, puentes y obras durante su transporte a la Siderúrgica Nacional José Inácio De Abreu E Lima en Ciudad Piar.

### **Tipo de Investigación**

#### ***Exploratoria***

Para Arias (2006) una investigación recibe este nombre, debido a “que se realiza con el propósito de destacar los aspectos fundamentales de una problemática determinada y encontrar los procedimientos adecuados para elaborar una investigación posterior” (p. 24). Es útil desarrollar este tipo de investigación porque, al contar con sus resultados, se simplifica abrir líneas de investigación y proceder a su consecuente comprobación.

El proyecto presentado se caracteriza por ser exploratorio, ya que se debió evaluar la ruta de carga extrapesada entre el Puerto de Palúa y la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima, ubicada en Ciudad Piar, estado Bolívar, para conocer todas las fallas que puedan existir en la ruta planteada y de igual forma se presentan las soluciones o mejoras que se realizaran en el trayecto.

## **Procedimiento de la Investigación**

### ***Fase 1***

En esta fase es donde se han hecho las visitas y recorridos de la ruta de estudio desde el puerto de Palúa hasta el sitio de la obra, y se recabaran los datos visuales y físicos de las estructuras existentes, se revisaran la documentación existentes de dichas estructuras y de la ruta en sí, así, como los documentos descriptivos de las nuevas cargas a transportar para la cual se hizo este trabajo de grado.

Se detallara e ubicara en espacio y tiempo las diferentes estructuras y señalizaciones existentes en la ruta de estudio y se medirá y levantara cada una de ellas para así conocer la situación actual, operacional y la vida útil de las mismas.

### ***Fase 2***

En esta fase, es donde usando la información y datos que se recabaran en la fase anterior para realizar un análisis estructural de cada una de las estructuras existentes por medio de modelos tridimensionales matemáticos de cada estructura para conocer las solicitaciones y las capacidades de resistencia al ser expuestas a un nuevo tren de carga.

Mediante los cálculos que se realizaron, se obtendrán los resultados que se usaran para dar las soluciones y/o alternativas que se presentaran en este trabajo, por medio de planos detallados de dichas soluciones.

### ***Fase 3***

En esta fase, teniendo el resultado de los cálculos que se realizaron en la fase anterior, se procederá a realizar un estudio de costos por medio de un análisis de precio unitario (APU), y la realización de cómputos métricos con el fin de conocer la factibilidad económica de este trabajo.

### ***Fase 4***

En esta fase, es en donde se realizara el estudio comparativo de la factibilidad de nuestro proyecto en conjunto con la realidad económica del país, con el presupuesto inicial determinado para el desarrollo de estas actividades.

## **Técnicas de Análisis de Datos**

### ***Análisis cualitativo***

Se refiere a los estudios que tienen como objetivo comprender los pensamientos y sentimientos de las personas sobre cualquier fenómeno de interés. Los investigadores cualitativos recogen datos en lenguaje natural o datos cualitativos (palabras), en comparación con los datos cuantitativos, que son numéricos, para iluminar los hallazgos sobre cualquier tema de interés. Los fenómenos que se estudian en la investigación cualitativa son muy variados y dependen en gran medida del investigador y su disciplina de experiencia.

Según Sabino Sampieri, Fernández y Baptista (2003), el análisis cualitativo se define como “un método que busca obtener información de sujetos, comunidades, contextos, variables o situaciones en profundidad,

asumiendo una postura reflexiva y evitando a toda costa no involucrar sus creencias o experiencia” (p. 451-452).

Este trabajo presentara una serie de datos recopilados a través y por medio de lo ya expresado en la fase 1 de actividades que se realizaron y con ellas clasificamos los datos en situaciones existentes y situaciones debido a una nueva carga de diseño; con esto buscamos conocer la trabajabilidad de las estructuras existentes en la ruta de estudio desde el puerto de Palúa hasta la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima.

### ***Análisis cuantitativo***

Hasta el latín hay que marcharse, simbólicamente hablando, para poder encontrar el origen etimológico de la palabra cuantitativo que ahora nos ocupa. Deriva de la suma de dos partes claramente diferenciadas, “*Quantum*”, que significa “cuanto” y el sufijo “-*tivo*”, que se usa para indicar una relación pasiva o activa. Cuantitativo es un adjetivo que está vinculado a la cantidad, este concepto, por su parte, hace referencia a una cuantía, una magnitud, una porción o un número de cosas.

Según Rodríguez Peñuela (2010), señala que “el método cuantitativo se centra en los hechos o causas del fenómeno social, con escaso interés por los estados subjetivos del individuo” (p. 32).

Este trabajo presentara la cuantía en valor económico de las soluciones y/o alternativas que se presentan por medio de los cálculos métricos de los mismos y el análisis de costo que realizamos por medio de los APU (análisis de precio unitario).

### **Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

Las técnicas de recolección de datos pueden considerarse como la forma o procedimiento que utiliza el investigador para recolectar la información

necesaria en el diseño de la investigación. Así lo expresa Arias (2006) “son las distintas formas o maneras de obtener la información” (p. 53). Entre las técnicas de recolección de información están la observación en sus distintas modalidades, la entrevista, el análisis documental, entre otras. Dada la naturaleza de esta investigación, y en función de los datos que se requerían, las técnicas que se utilizaron fueron:

### ***Observación Directa***

Según (Puente: 2009), “La observación directa es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, sin intervención, con el fin de tomar información y registrarla para su posterior análisis” (p. 23). La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos.

La observación directa, permitirá conocer las condiciones actuales de las rutas de carga extrapesada existente entre el puerto de Palúa y la Siderúrgica Nacional José Inácio Abreu é Lima. Se realizaron visitas técnicas, donde se pudo visualizar cada una de las estructuras en el levantamiento de información pertinente en la investigación.

### ***Revisión Documental***

Según el autor (Santa Paella y Feliberto Martins (2010)), define: “La investigación documental se concreta exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos-escritos u orales- uno de, los ejemplos más típicos de esta investigación son las obras de historia” (p. 90).

La revisión documental fue fundamental en este trabajo, debido a que el estudio se basa en estructuras existentes, por ende existen ya documentaciones y planos de estudios anteriores, que fueron de utilidad para

reforzar la información necesaria al momento de plantear el problema y los objetivos presentes en este trabajo.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

En Venezuela no existe normativa respecto a los camiones y sus cargas, puentes cajones de paso, etc. Normalmente para el diseño de puentes se toma la Norma AASHTO (American Association of State High Way Transportation and Officials), para diseño y otras funciones.

El primer método de análisis de cargas especiales surge en la normativa del 2005 Bridge Design Specifications emitida por la AASHTO. Bajo sus requisitos de diseño y/o revisión de cargas especiales. En su normativa, emite los requerimientos bajo los cuales se deben realizar estos trabajos de diseño o revisión. Bajo este esquema de cálculo es requerido el conocer los datos del puente existente y bajo las combinaciones de carga adecuadas, calcular su capacidad y los momentos actuantes.

En este caso específico, para el cálculo de los momentos actuantes se usaría la guía de construcción de combinaciones de carga siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Group (N)} = & \gamma[\beta_D D + \beta_L (L + I) + \beta_C CF + \beta_E E + \beta_B B \\ & + \beta_S SF + \beta_W W + \beta_{PS} PS + \beta_{WL} WL + \beta_L LF \quad + \\ & + \beta_R (R + S + T) + \beta_{EQ} EQ + \beta_{ICE} ICE + \beta_{CT} CT] \end{aligned} \quad (3-10)$$

*Ecuación 1. Combinaciones para el cálculo de momentos actuantes.*

Los factores están dados por el cuadro siguiente:

**Cuadro 3.**  
**Factores para Cargas de Diseño**

| Group            | Gamma  |           | Beta Factors |        |    |           |   |    |   |    |    |      |       |    |     |    |
|------------------|--------|-----------|--------------|--------|----|-----------|---|----|---|----|----|------|-------|----|-----|----|
|                  | Factor | D         | (L+DH)       | (L+DP) | CF | E         | B | SF | W | WL | LF | PS   | R+S-T | EQ | ICE | CT |
| I <sub>H</sub>   | 1.30   | $\beta_D$ | 1.67         | 0      | 1  | $\beta_E$ | 1 | 1  | 0 | 0  | 0  | 0.77 | 0     | 0  | 0   | 0  |
| I <sub>PC</sub>  | 1.30   | $\beta_D$ | 0            | 1      | 1  | $\beta_E$ | 1 | 1  | 0 | 0  | 0  | 0.77 | 0     | 0  | 0   | 0  |
| I <sub>PW</sub>  | 1.30   | $\beta_D$ | 1            | 1.15   | 1  | $\beta_E$ | 1 | 1  | 0 | 0  | 0  | 0.77 | 0     | 0  | 0   | 0  |
| I <sub>P3D</sub> | 1.30   | $\beta_D$ | 1            | 1.25   | 1  | $\beta_E$ | 1 | 1  | 0 | 0  | 0  | 0.77 | 0     | 0  | 0   | 0  |

Dónde:

H denotes H loads.

PC denotes P loads on closely spaced girders used only for superstructures.

PW denotes P loads on widely spaced girders and substructures.

P3D denotes P loads only on superstructures when three-dimensional analysis is used for load distribution.

$\beta_D$  = 0.75 when checking columns for maximum moment or maximum eccentricities and associated axial load; and when Dead Load effects are of opposite sign to the net effects of other loads in a Group.

$\beta_D$  = 1.00 when checking columns for maximum axial load and associated moment.

$\beta_D$  = 1.00 for flexural and tension members and for culverts.

$\beta_E$  = 0.50 for checking positive moments in rigid frames.

$\beta_E$  = 1.00 for vertical earth pressure and for rigid culverts.

$\beta_E$  = 1.30 for lateral earth pressure. (Not for culverts.)

$\beta_E$  = 1.50 for flexible culverts.

H = denota carga.

PC = denota cargas en vigas poco espaciadas utilizadas solo para superestructuras.

PW = denota cargas en vigas y estructuras ampliamente espaciadas.

P3D = denota cargas solo en superestructuras cuando se utiliza análisis tridimensional en la distribución de cargas.

$\beta_D = 0.75$  Cuando se verifica la columna para el máximo momento o las excéntricas máximas y la carga axial asociada, y cuando los efectos de la carga muerta son opuestos a los efectos netos de su carga en grupo.

$\beta_D = 1.00$  Cuando se verifica la columna para la máxima axial y el momento asociado.

$\beta_D = 1.00$  Para miembros a tensión y flexión para alcantarillas.

$\beta_E = 0.50$  Para verificar el momento positivo en un marco rígido.

$\beta E = 1.00$  Para presión de tierra vertical y alcantarillas rígidas.

$\beta E = 1.30$  Para presión de tierra lateral (no para alcantarillas).

$\beta E = 1.50$  Para alcantarillas flexibles.

En este caso la carga viva H está definida como P3D, que son cargas cuando se toma el efecto tridimensional de las estructuras. Por otro lado, AASHTO recientemente en su publicación del 2007 Load and Resistance Factor Design, emitió un tipo nuevo de vehículo de diseño para tomar en cuenta los nuevos camiones que circulaban por Estados Unidos. Este tipo de vehículo lo denominó HL93.

Para revisar el inventario de puentes y obras de arte de todo Estados Unidos, se realizó un trabajo de investigación por académicos e industria de dicho país. Este trabajo dio origen a dos métodos el LRFR “Load and Resistance Factor Rating of Highway Bridges” y el LRFD “Load and Resistance Factor Design”.

$$RF = \frac{\phi_C \cdot \phi_S \cdot \phi \cdot R - \gamma_{DC} \cdot DC - \gamma_{DW} \cdot DW}{\gamma_L(LL + IM)}$$

$$\phi_C \cdot \phi_S \geq 0.85$$

*Ecuación 2. Combinaciones para el método LRFR.*

Dónde:

RF = Rating factor

$\phi_C$  = Factor por redundancia del sistema

$\phi_S$  = Factor por la condición del miembro

LL = Carga viva (vehículo)

IM = Impacto (vehículo)

DC = Carga muerta debido a los componentes estructurales y accesorios

DW = Carga muerta debido a las superficies de desgaste y accesorios

$\gamma_{DC}$  = Factor de mayoración por carga muerta DC

$\gamma_{DW}$  = Factor de mayoración por carga muerta DW

$\gamma_L$  = Factor de mayoración de carga viva (vehículos)

El método LRFD se basa en chequear las capacidades de los elementos y compararlas con las fuerzas actuantes. Por otro lado la Norma AASHTO (Manual for Condition Evaluation of Bridges 2003), establece una forma alternativa de verificación de puentes de concreto, acero estructural y acero pos-tensado, siguiendo la siguiente formulación:

$$\text{Capacidad elemento} \cdot \text{FS} = \text{Cargas actuantes} \cdot \text{FS}$$

*Ecuación 3. Verificación de Puentes de Concreto.*

Dónde:

FS = Factor de seguridad.

Ésta formulación es denominada LFR o ASR, según el tipo de combinaciones de carga que se utilicen, ya sean combinaciones mayoradas (LFR) o combinaciones de servicio (ASR). Para el desarrollo de este trabajo se siguió la formulación dada por el método LRFD, según se especifica en la norma AASHTO del 2007, es decir, que las fuerzas actuantes son menores que las capacidades de los elementos.

### **Alcance de este informe**

En el siguiente cuadro se muestra la ubicación de los puentes estudiados según lo descrito en el informe de FAPCO y los planos de la vía expresa suministrados por CVG.

**Cuadro 4.**  
**Características Generales de los Puentes Analizados.**

| Informe FAPCO        |            | Planos Vía Expresa (CVG) |            |                     |   |
|----------------------|------------|--------------------------|------------|---------------------|---|
| Número               | Progresiva | Número                   | Progresiva | Estructura          | Servicio                                      |
| 001                  | 3+900      | 9                        | 1+189,2 PN | Puente,<br>L=6m     | Cruce de vía férrea por encima                |
| 002                  | 4+000      | 16                       | 1+059,0 PN | Puente, L=32m       | Cruce de vía férrea por encima                |
| No citado en informe |            | 18                       | 9+042,0    | Puente, L=30m       | Cruce por encima vialidad interna FERROMINERA |
| No citado en informe |            | 6                        | 8+813,0    | Puente, L=10m       | Cruce por encima vialidad interna FERROMINERA |
| 004                  | 9+100      | 15                       | 0+315,0 PN | Puente, L=45m       | Cruce de vía férrea por encima                |
| No citado en informe |            | 11                       | 5+563,0    | Puente, L=13m       |   |
| PUENTE 7             | 73+200     |                          |            | Puente,<br>L=78,8 m |   |
| PUENTE 11            | 81+100     |                          |            | Puente,<br>L= 21 m  |   |

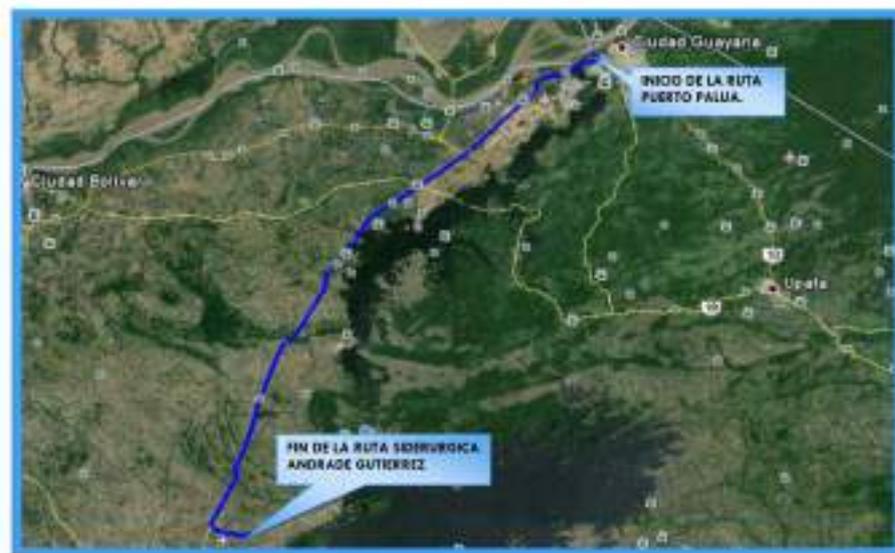


Figura 11. Plano de Ruta

### Definición del patrón de carga.

El patrón de carga de vehículo especial es el que se utilizará para el transporte de las cargas extrapesadas. El patrón de cargas consta de un vehículo remolque y de un tráiler motorizado. La configuración para este transporte fue suministrado por la empresa FAPCO.

### Características de la carga y equipo de transporte

El equipo de transporte está compuesto por un tractor principal de 30 toneladas y tres ejes (un eje delantero de 2 ruedas y dos ejes traseros de 4 ruedas cada uno), dicho tractor remolca a un tráiler de 18 ejes y 67 toneladas de peso, al cual se le asignó una carga correspondiente a la más desfavorable que se debe transportar a la siderúrgica en Ciudad Piar, como es el bastidor de 303 toneladas de peso. La distribución de cargas en cada uno de los ejes del tráiler se muestra en las figuras 12 y 13, el detalle del patrón de carga se incluirá en el Anexo A.

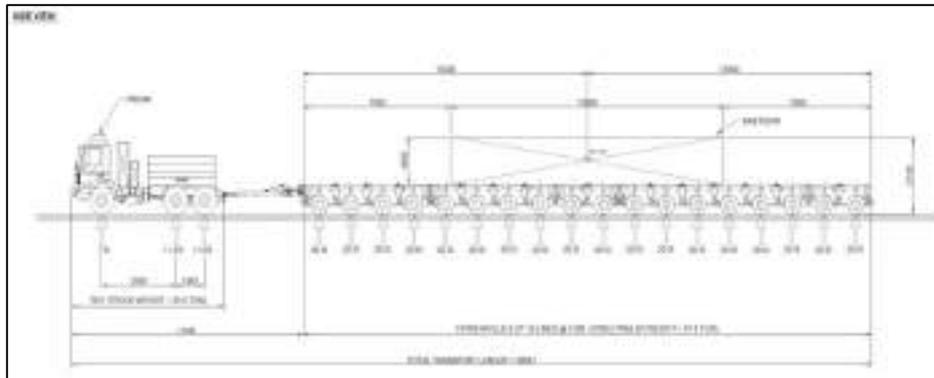


Figura 12. Diagrama de la carga y el equipo de transporte (vista de perfil).

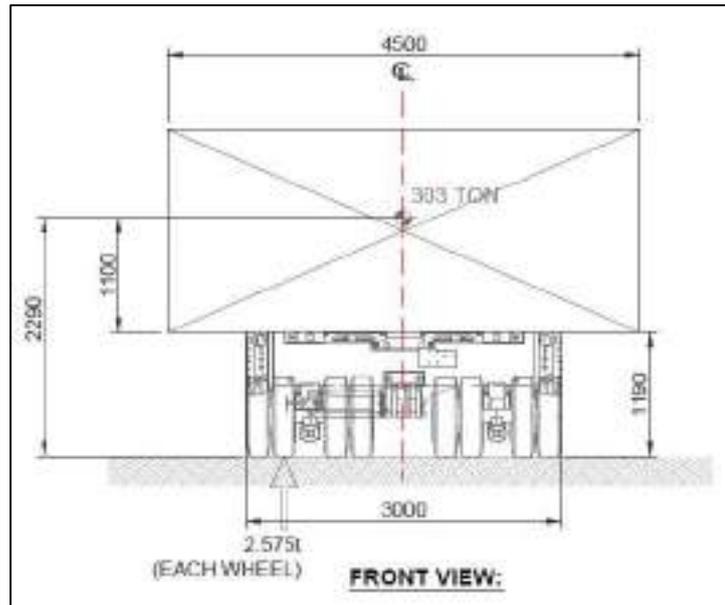


Figura 13. Detalle de la carga y el equipo de transporte (vista frontal).

### Descripción del modelo para puentes tipo cajón

La modelación de los puentes tipo cajón consistió en el uso de elementos Shell para la idealización de los muros y de la losa, mientras que los apoyos se consideraron empotrados en sus dos extremos. En cuanto a las cargas aplicadas, se asignaron cargas puntuales de 2,58 Tf. cada una, correspondientes al paso del equipo de transporte, para ello se consideró en cada puente sus dimensiones y se determinó qué cantidad de ruedas se podía asignar a cada tablero.

Los puentes modelados serán evaluados bajo la combinación de cargas denominada GRUPO1\_PC, la cual posee los siguientes factores de mayoración:

$$\gamma_D = 1.30 \text{ (Carga muerta)}$$

$$\gamma_L = 1.30 \text{ (Carga viva)}$$

$$\gamma_E = 0.65 \text{ (Empuje de tierra)}$$

$$\gamma_s = 0.65 \text{ (Sobrecarga por paso del trailer)}$$

También se tomó en cuenta la presión de la tierra sobre los muros del puente, la cual aumenta de manera lineal a medida que aumenta la profundidad del muro, fue idealizada mediante una carga distribuida perpendicular a la superficie de contacto, según la siguiente expresión:

$$\text{Presión} = \gamma_{\text{suelo}} \times H \times K_o$$

*Ecuación 4. Presión de Tierra.*

Dónde:

$\gamma_{\text{suelo}} = 1850 \text{Kg/m}^3$  (Asumido ya que no se posee estudio de suelo).

H = Altura del muro.

$K_o = 0,5$ ; Coeficiente de presión.

Se toma en cuenta el empuje de presión neutro, ya que se estima que el cajón no se deformará lo suficiente para permitir la aparición del estado límite activo del suelo. De igual forma, al aproximarse el tráiler al cajón o estructura origina una presión en el relleno bajo el tráiler que afecta el cajón. Esta sobrecarga por el paso del tráiler se consideró como una carga distribuida de forma rectangular, correspondiente a la sobrecarga generada en el muro. Para ello se usó la siguiente ecuación:

$$\text{Sobrecarga} = \frac{\sum Q}{\frac{S}{2} \times b} \times K_o = h_e \times \gamma_{\text{suelo}} \times K_o$$

*Ecuación 5. Sobrecarga en Muros.*

Dónde:

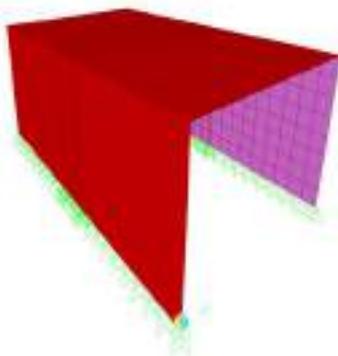
$\sum Q$  = Sumatoria de las cargas por ejes.

S = Separación entre ejes.

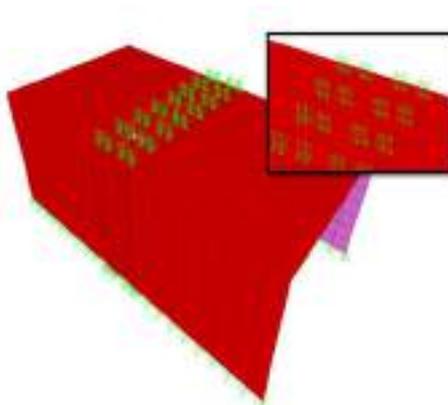
b = Ancho del eje.

### **Puente N° 1 Informe FAPCO (Puente 9 según variante de vía expresa)**

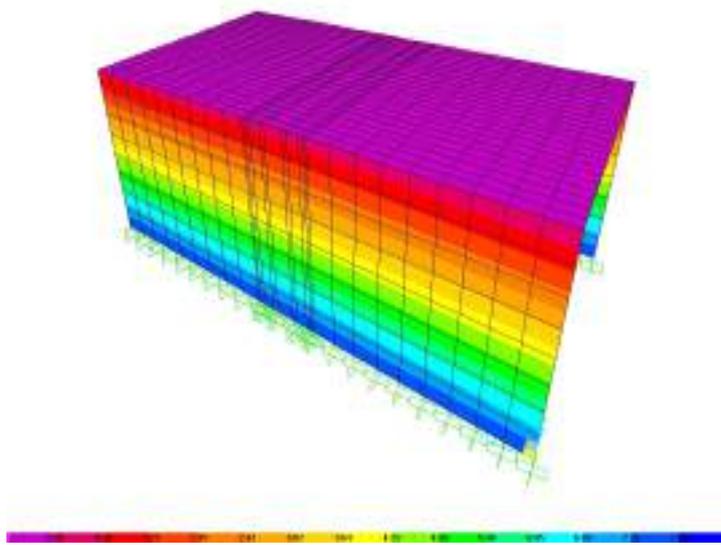
Puente de Concreto Armado tipo cajón ubicado en la avenida Guayana-San Félix, antiguo uso debajo del puente para el paso de ferrocarriles, actualmente está siendo usado como acceso a las viviendas del sitio. Es un cajón de paso para tránsito vehicular por su carpeta superior, aproximadamente perpendicular a la vía, carretera con muros y losas de sesenta centímetros (60cm) de espesor. La luz del cajón es de diez metros (10m) y tiene una altura de siete metros y medio (7,50m) aproximadamente. (Ver anexo A).



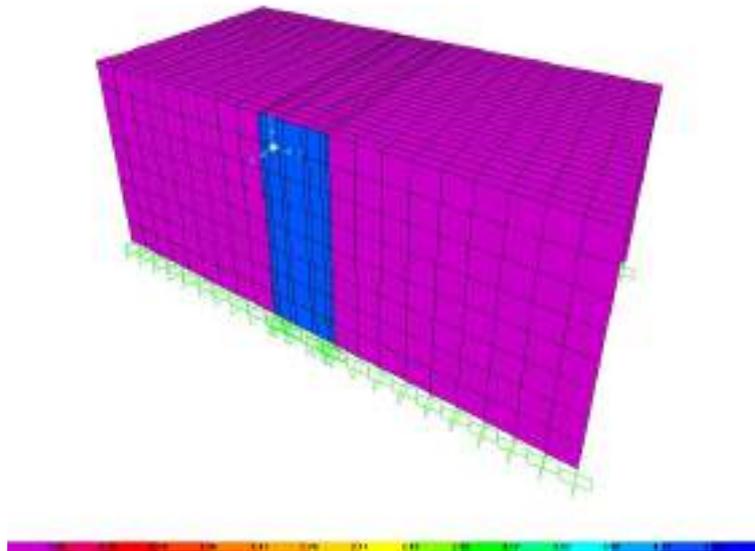
*Figura 14. Modelo tridimensional del puente N°9. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 15. Tren de carga aplicado a la estructura, 64 ruedas con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)*

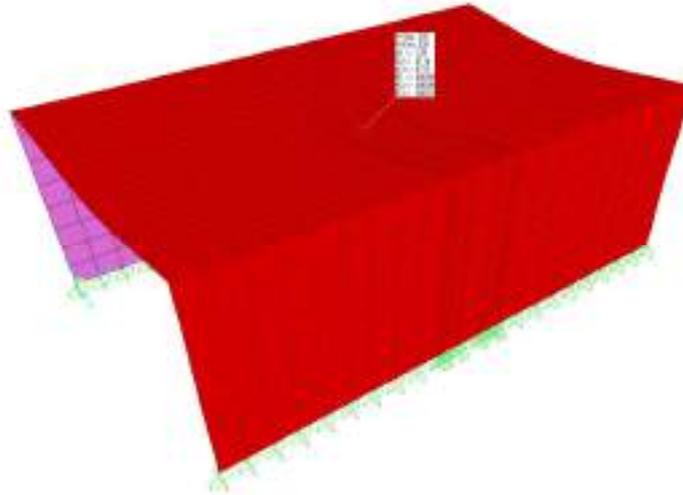


*Figura 16. Asignación de cargas laterales debido al empuje de tierra ( $\gamma_{\text{suelo}} = 1850 \text{ Kgf/m}$ ). (SAP 2000 V.14.2.4)*

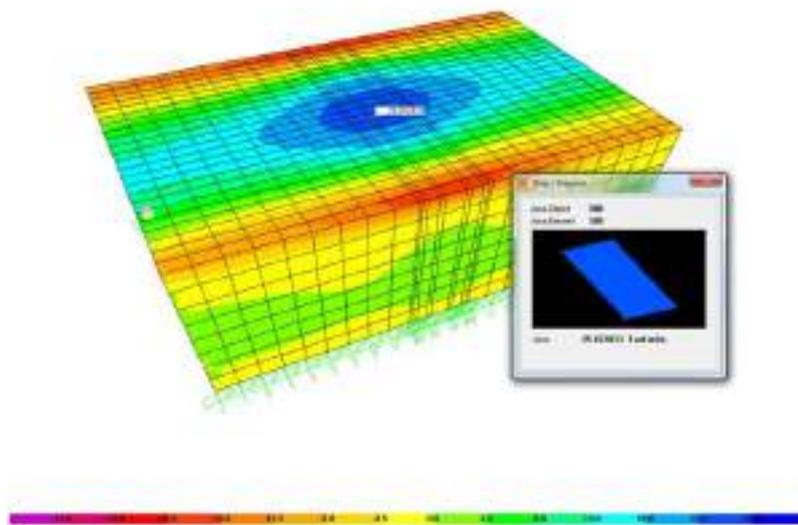


*Figura 17. Asignación de carga lateral debido a sobrecarga del eje (4,58 Tf/m). (SAP 2000 V.14.2.4)*

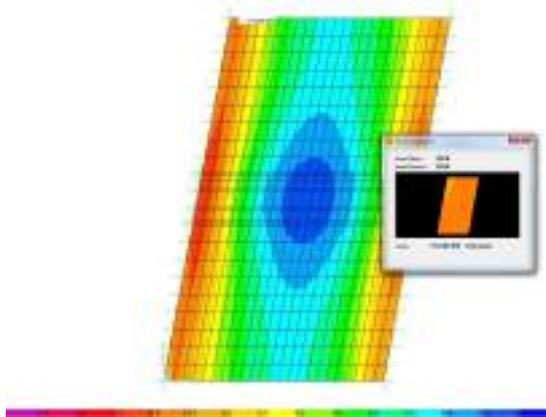
**Puente N° 9 según variante de vía expresa, fuerzas internas actuantes en la estructura**



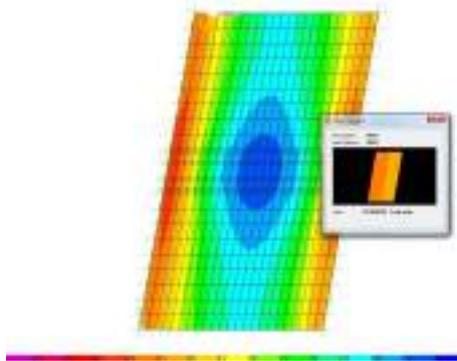
*Figura 18. Máxima deflexión vertical U3 (0,57cm). (SAP 2000 V.14.2.4)*



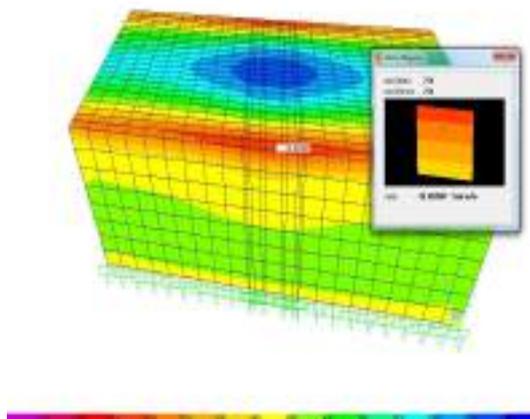
*Figura 19. Momento M11 máximo positivo (25,87 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



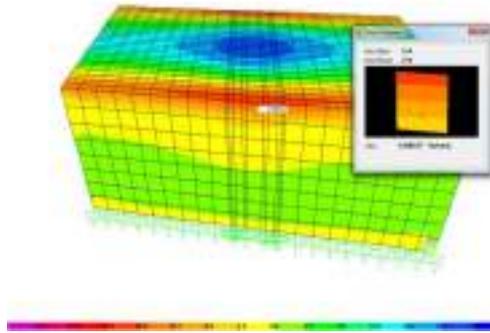
**Figura 20. Momento crítico M11 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,30m del centroide del muro (-15,68 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (Vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4.)**



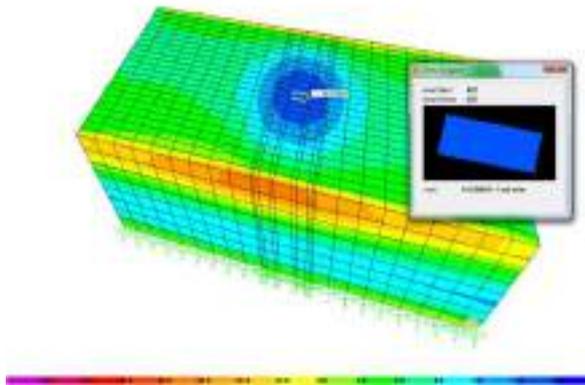
**Figura 21. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,60m del centroide del muro (-13,50 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (Vista en planta). (SAP2000 V.14.2.4.)**



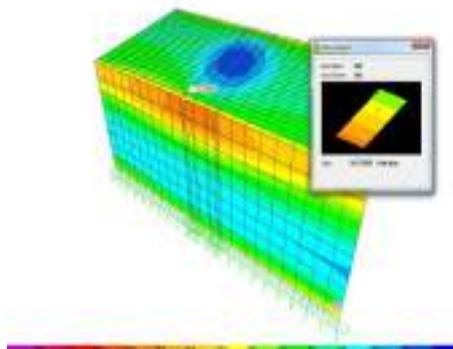
**Figura 22. Momento crítico M11 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,30m del centroide de la losa (-16,49Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC.(SAP 2000 V.14.2.4)**



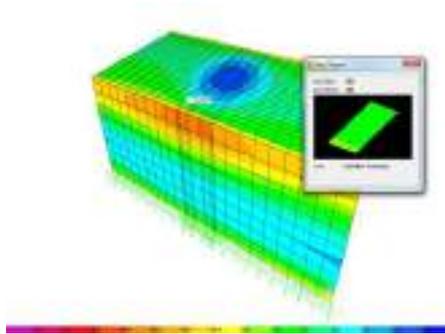
**Figura 23. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,60m del centroide de la losa. (-9,59 Tf-m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



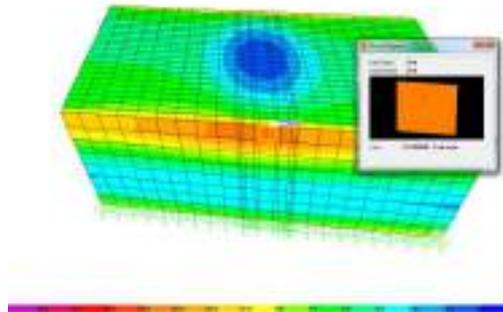
**Figura 24. Momento M22 máximo positivo (14,53 Tf-m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



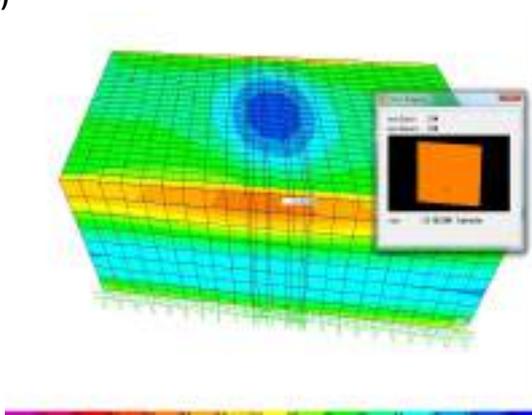
**Figura 25. Momento crítico M22 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,30m del centroide del muro (-10,13 Tf-m/m), combinación GRUPO1\_PC.(SAP 2000 V.14.2.4)**



**Figura 26. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,60m del centroide del muro (-3,91 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP2000 V.14.2.4)**



**Figura 27. Momento crítico M22 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,30m del centroide de la losa (-21,56 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



**Figura 28. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,60m del centroide de la losa (-21,76Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP2000 V.14.2.4)**

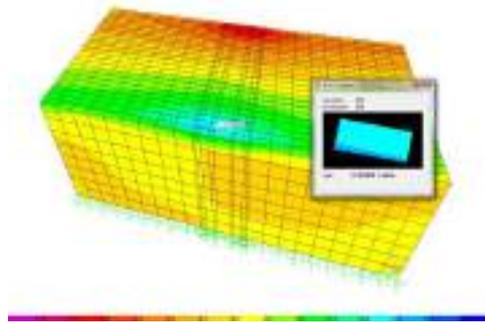


Figura 29. Fuerza cortante V13 máxima (23,33 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC.(SAP 2000 V.14.2.4)

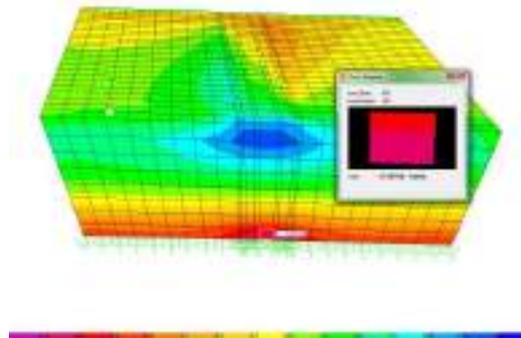


Figura 30. Fuerza cortante V23 máxima negativa (-17,59 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)

**Puente N°9 según variante de vía expresa, fuerzas resistentes internas en la estructura**

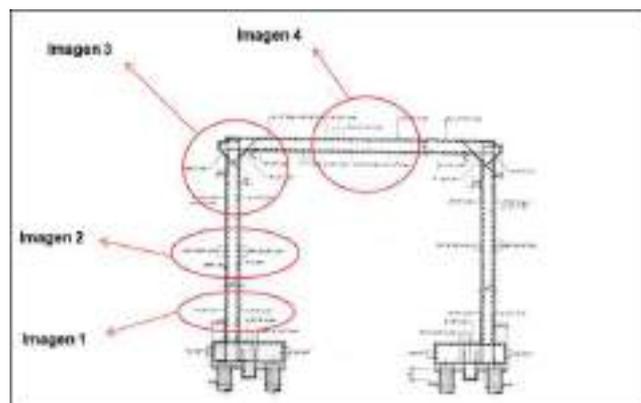


Figura 31. Refuerzo de acero en pórtico

- Acero en el muro en su conexión con la fundación

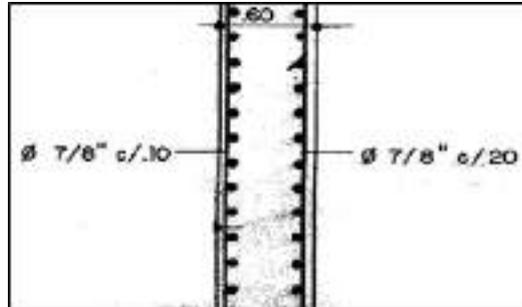


Figura 32. Imagen 1 de figura 31

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 5.**  
**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 1 del puente N° 9.**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 75,32 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción externa)   | $M_u = 15,68 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción externa) | OK         |
| $M_u = 38,44 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interna)   | N/A (tracción interna)  | OK         |
| $M_u = 20,61 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 10,13 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$                       | OK         |
| $V_u = 29,57 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 17,59 \text{ Tf/m}$                                    | OK         |

- Acero en el tramo central del muro

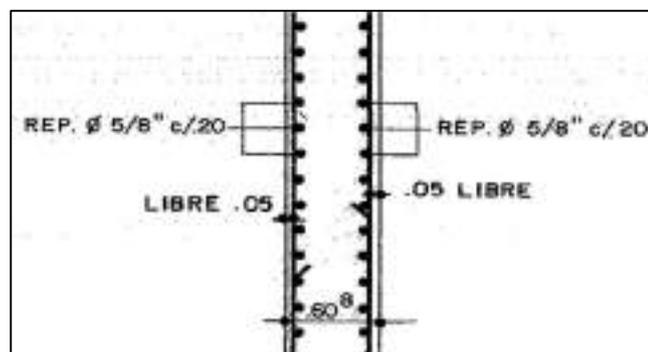


Figura 33. Imagen 2 de figura 31

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 6.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 2 del puente N° 9.**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                       | Comentario |
|---|---|------------|
| Mu = 38,70 Tf·m/m<br>(tracción externa)   | Mu = 15,68 Tf·m/m<br>(tracción externa) | OK         |
| Mu = 38,70 Tf·m/m<br>(tracción interna)   | N/A (tracción interna)                  | OK         |
| Mu = 20,61 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 10,13 Tf·m/m                       | OK         |
| Vu = 29,57 Tf/m                           | Vu = 0,00 Tf/m                          | OK         |

- Acero en la unión de la losa con el muro.

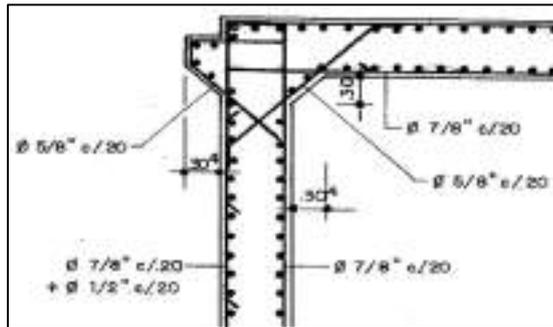


Figura 34. Imagen 3 de figura 31

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 7.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen3 del puente N° 9.**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                       | Comentario |
|---|---|------------|
| Mu = 50,74 Tf·m/m<br>(tracción externa)   | Mu = 16,49 Tf·m/m<br>(tracción externa) | OK         |
| Mu = 38,62 Tf·m/m<br>(tracción interna)   | N/A (tracción interna)                  | OK         |
| Mu = 20,61 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 10,13 Tf·m/m                       | OK         |
| Vu = 29,57 Tf/m                           | Vu = 23,96 Tf/m                         | OK         |

- Acero en el tramo central de la losa

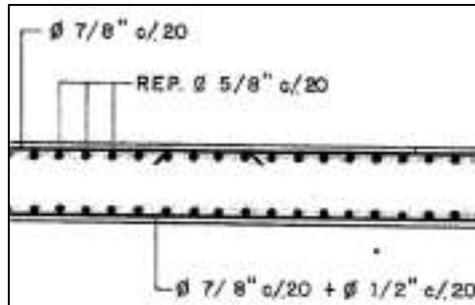


Figura 35. Imagen 4 de figura 31

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 8.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 4 del puente N° 9.**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes  | Comentario |
|---|--|------------|
| $M_u = 50,74 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción inferior)  | $M_u = 25,87 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción inferior) | OK         |
| $M_u = 38,62 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción superior)  | N/A (tracción superior)  | OK         |
| $M_u = 20,61 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 14,54 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$                        | OK         |
| $V_u = 29,57 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 0 \text{ Tf/m}$   | OK         |

Este puente es capaz de soportar el paso por su parte superior de las cagas extrapesadas planteadas.

**Puente N° 2 Informe FAPCO (puente 16 según variante de vía expresa)**

Puente de Concreto Armado tipo cajón, ubicado en la avenida Guayana – San Félix. Es un cajón de paso para tránsito vehicular por su carpeta superior y para paso de ferrocarril por su parte inferior, aproximadamente perpendicular a la vía, carretera con muros y losas de setenta centímetros (70cm) de espesor. La luz del cajón es de once metros (11,00m) y tiene una altura de doce metros (12,00m) aproximadamente. (Ver anexo B)

## Descripción del modelo del puente N° 2

Para la evaluación del puente número 2 fue necesaria la elaboración de dos modelos, el primero para analizar el comportamiento de la sección compuesta por un fragmento de losa unida a vigas y columnas, y el segundo modelo que permite analizar el comportamiento del cajón central de la estructura, el cual posee once metros (11,00m) de longitud y veintiocho metros (28,00m) de ancho.

### Modelo N°1 (Losa unida a vigas y columnas - Puente 2)

El modelo número 1 del puente 2 (#16 según la variante de vía expresa) consistió en elementos tipo Shell para idealizar la losa, el muro y las vigas que unen la losa con las columnas. Para la viga transversal que se encuentra ubicada paralela al muro, se usó un elemento tipo Frame (marco), como se muestra en la figura 36.

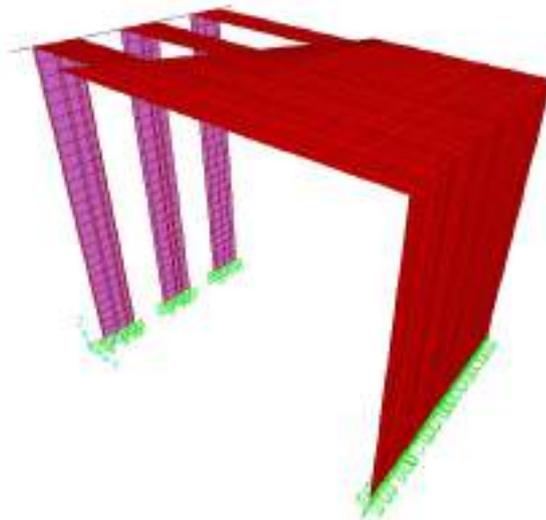
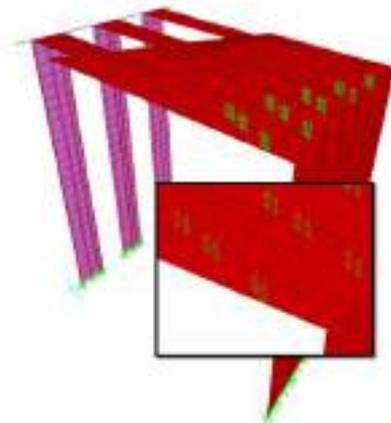
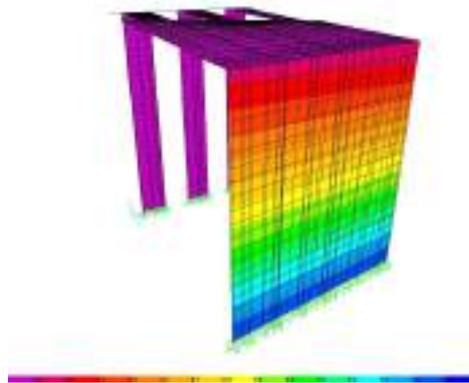


Figura 36. Modelo tridimensional del puente 2 - modelo 1. (SAP 2000 V.14.2.4)



**Figura 37. Tren de carga aplicado a la estructura, 21 ruedas con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)**

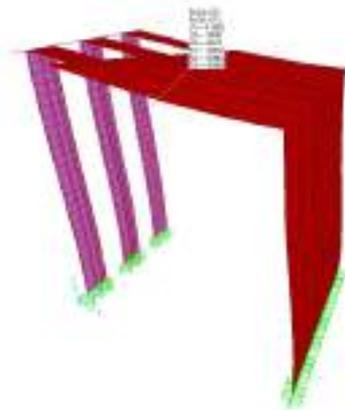


**Figura 38. Asignación de cargas laterales debido al empuje de tierra ( $\gamma_{\text{suelo}} = 1850 \text{Kg/m}$ ). (SAP 2000 V.14.2.4)**

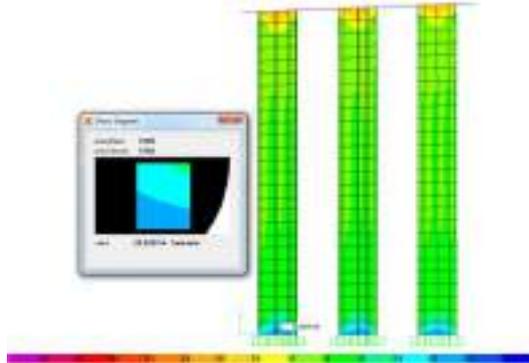


**Figura 39. Asignación de carga lateral debido a sobrecarga del eje (4,58Tf/m). (SAP 2000 V.14.2.4)**

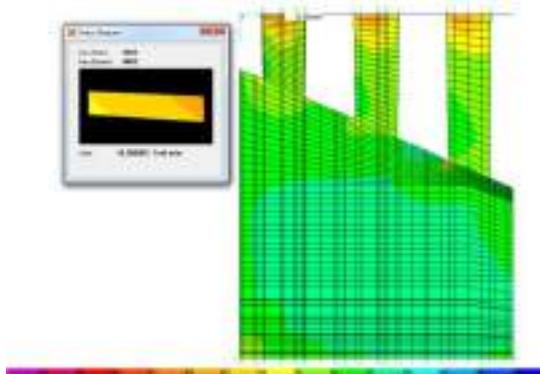
**Puente N°2, Modelo N°1, fuerzas actuantes internas en la estructura.**



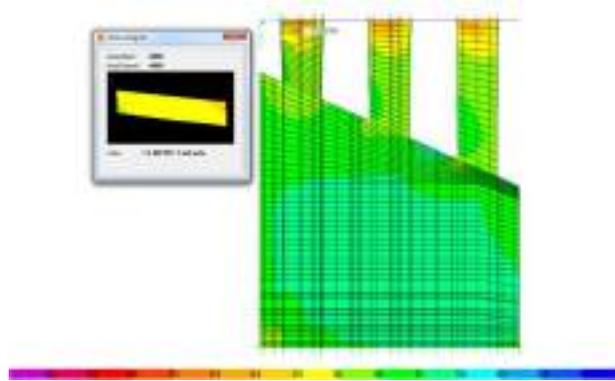
*Figura 40. Máxima deflexión vertical U3 (0,66cm) (SAP 2000 V.14.2.4)*



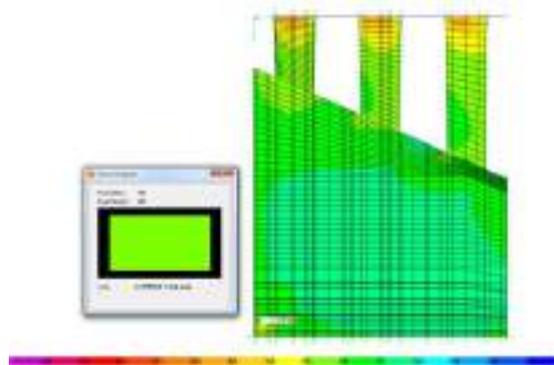
*Figura 41. Momento M11 máximo positivo en columnas (20,92Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



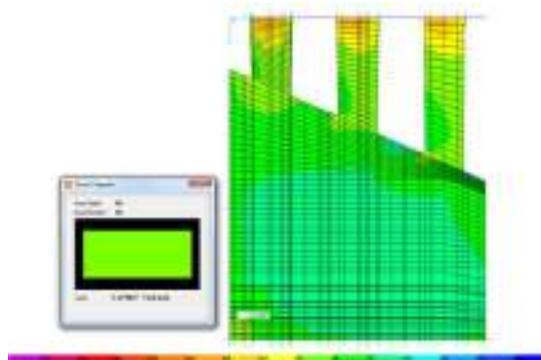
*Figura 42. Momento crítico M11 en la cara de la columna, aproximadamente a 0,35 m del centroide del muro (-16,58Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



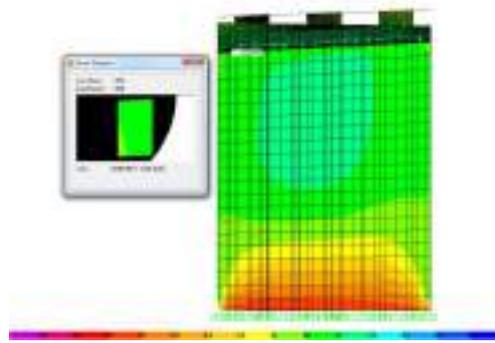
*Figura 43. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65 m del centroide de la columna (-11,60 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



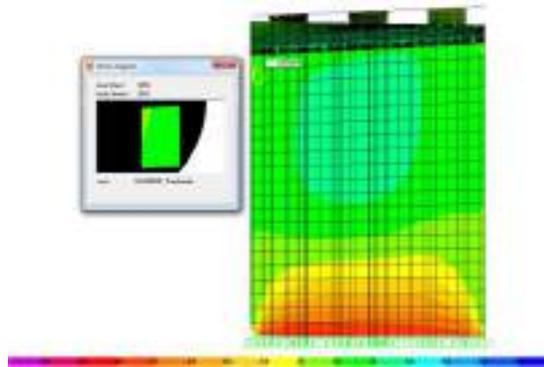
*Figura 44. Momento crítico M11 en la cara del muro, aproximadamente a 0,35 m del centroide del muro (-2,37Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



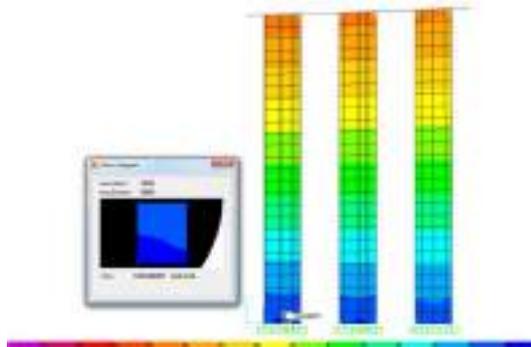
*Figura 45. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65 m del centroide del muro (-1,27 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



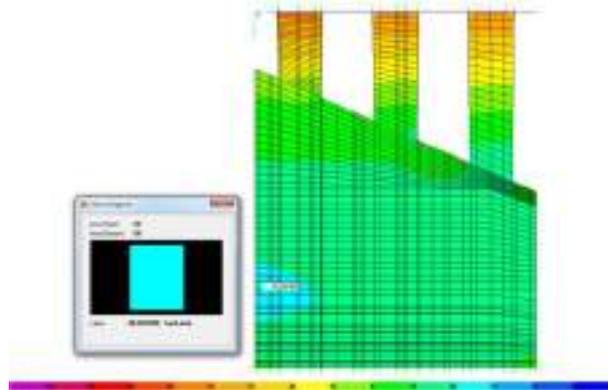
*Figura 46. Momento crítico M11 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35 m del centroide de la losa (0,50 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



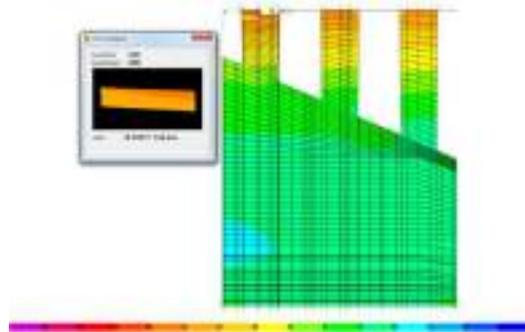
*Figura 47. Momento crítico M11 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,65 m del centroide de la losa (0,57 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



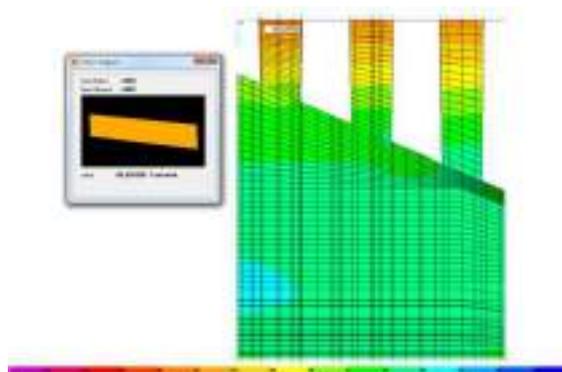
*Figura 48. Momento M22 máximo positivo en la columna (104,64 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



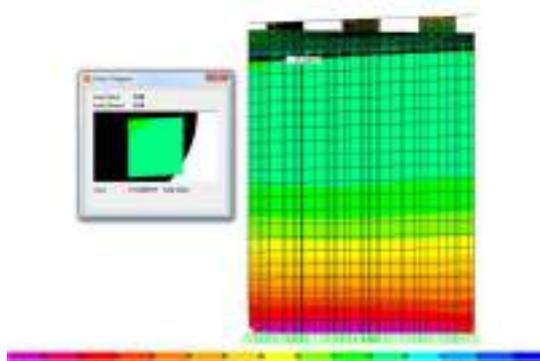
**Figura 49. Momento M22 máximo positivo en la losa (40,69 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



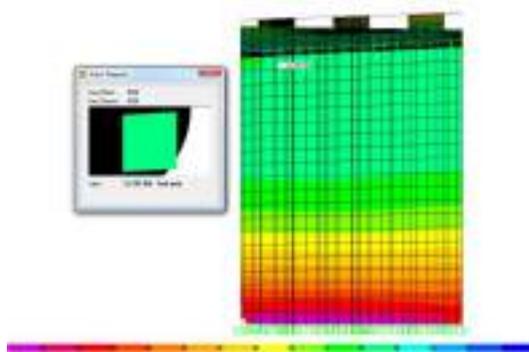
**Figura 50. Momento crítico M22 en la cara de la columna, aproximadamente a 0,35 m del centroide de la columna (-76,37 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



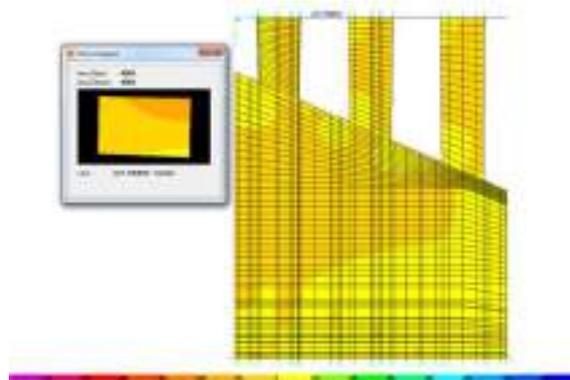
**Figura 51. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65 m del centroide de la columna (-68,69 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



**Figura 52. Momento crítico M22 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35m del centroide de la losa (21,63 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



**Figura 53. Momento crítico M22 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,65m del centroide de la losa (23,75 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



**Figura 54. Fuerza cortante V13 máxima negativa (-227,75 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC (SAP 2000 V.14.2.4)**

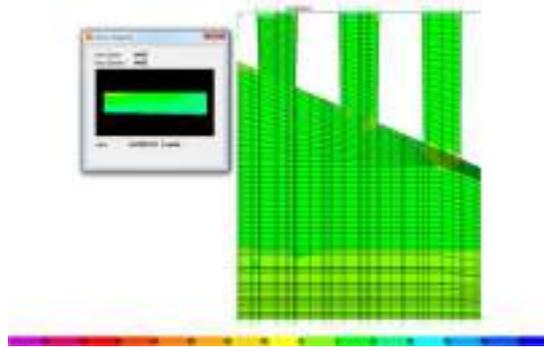


Figura 55. Fuerza cortante V23 máxima positiva (64,50 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)

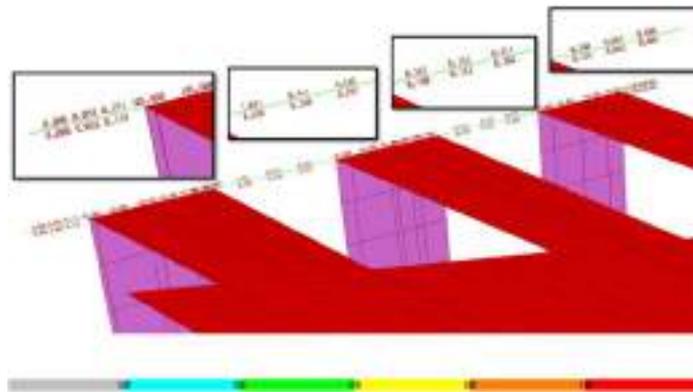


Figura 56. Chequeo del diseño de la viga (SAP 2000 V.14.2.4)

### Chequeo del Diseño de Viga.

Se realiza por el método de rotura:

$$Mu \leq \phi \times Mn$$

Ecuación 6. Método de Rotura.

Dónde:

Mu = Momento Mayorado.

$\phi = 0,90$

Mn = Momento Resistente de la Sección.

$$Mn = As \times \sigma_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Ecuación 7. Momento Resiste.

Dónde:

$As$  = Área de Acero colocado en la Sección.

$\sigma_y$  = Tensión de Fluencia del Acero.

$d$  = Altura Útil de la Viga.

$a$  = Bloque Rectangular Resistente de la Viga.

Esta viga es de sección 0.70 x 0.70 m, y esta armada con 10#6+4#5 y con estribos de #3 a cada 20 cm. Esta viga esta simplemente apoyada sobre 3 columnas de sección 1.50 x 0.70 m, y soporta una carga variable puntual en cada apoyo de 3,8 Ton., estas columnas están separadas a 3.125 m entre sus ejes.

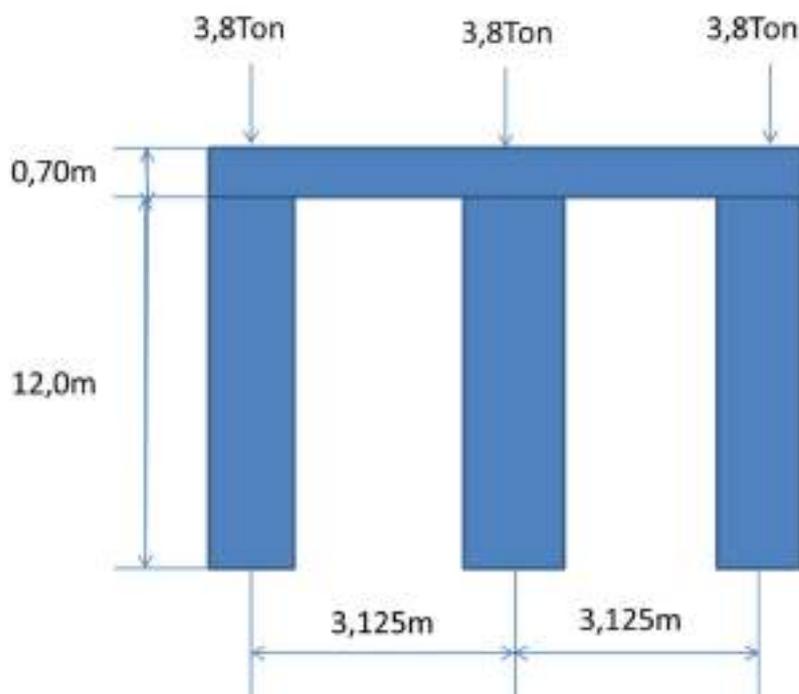


Figura 56a. Pórtico de Chequeo y Esquema de Cargas.

- Calculamos el momento y la cortante en este pórtico para verificar la viga.

### *Momento Flector*

CM o Pp = Carga Muerta o Peso Propio de la Viga = CM = 7.65Ton.

CV = Carga Viva = CV = 3.8Ton.

$$M_{pp} = \frac{q * l^2}{8} = 7.65 \text{ Ton} * \frac{(3.125)^2}{8}$$

$$M_{pp} = 9.33 \text{ Ton} - m^2$$

$$M_{cv} = \frac{q * l^2}{8} = 3.8 \text{ Ton} * \frac{(3.125)^2}{8}$$

$$M_{cv} = 4.64 \text{ Ton} - m^2$$

$$M = M_{pp} + M_{cv} \rightarrow M = 14.0 \text{ Ton} - m^2$$

*Ecuación 8. Momento Flector.*

### **Fuerza Cortante**

$$V_{pp} = \frac{q * l}{2} = 7.65 \text{ Ton} * 3.125/2$$

$$V_{pp} = 12.00 \text{ Ton} - m$$

$$V_{cv} = \frac{q * l}{2} = 3.8 \text{ Ton} * 3.125/2$$

$$V_{cv} = 6.00 \text{ Ton} - m$$

*Ecuación 9. Fuerza Cortante.*

- Calculamos el Bloque Rectangular de la Viga (a):

$$0.85 * f'c * a * d = A_s * F_y$$

$$0.85 * 250 * a * 70 = 36.42 * 4200 \rightarrow 14875 * a = 152964$$

$$a = \frac{152964}{14875} \rightarrow a = 10.28$$

**Ecuación 10. Bloque Rectangular.**

- Verificamos si el Acero esta Cedencia, es decir, si  $F_s = F_y$ , cuando  $E_{cu} = 0.003$

$$\frac{ab}{dt} = \beta_1 * (0.003 * E_s) / (0.003 * E_s + F_y)$$

$$\frac{ab}{dt} = 0.85 * (0.003 * 2100000) / (0.003 * 2100000 + 4200)$$

$$\frac{ab}{dt} = 0.51 ; \text{ Esto se compara con la relación } \frac{a}{dt} \text{ con } \frac{ab}{d * f'c}$$

$$dt = d = h - rd$$

$$rd = r + \emptyset be + A_s / 2$$

**Ecuación 11. Verificación de Cedencia del Acero.**

Dónde:

$r$  = Recubrimiento.

$\emptyset be$  = Diámetro de la barra del estribo o ligadura

$A_s$  = Área de Acero longitudinal de refuerzo

$$rd = 4 + 0.953 + \frac{2.85}{2} \rightarrow rd = 6.378 \text{ cm}$$

$$dt = 70 - 6.378 \rightarrow dt = 63.622 \text{ cm}$$

$$\frac{a}{dt} = \frac{10.28}{63.622} = 0.16$$

Como  $0.16 \leq 0.51$ , se considera que el acero a tracción esta a cedencia

- Determinamos la resistencia nominal a flexión  $M_n$  y la de diseño  $\emptyset * M_n$ :

$$M_n = 36.42 * 4200 \left( 64.057 - \frac{10.28}{2} \right) \rightarrow M_n = 152964 * (58.917)$$

$$Mn = 90121780 \text{ Kg} - \text{cm} \rightarrow Mn = 90.12 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$\emptyset * Mn = 0.90 * 90.12 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$\emptyset * Mn = 81.11 \text{ Ton} - \text{m}$$

**Ecuación 12. Verificación de Resistencia Nominal.**

En conclusión la fuerza resistente de la viga existente es mayor a la de la actuante nominal de flexión y el de diseño con la nueva carga extrapesada, por tanto, la viga resistirá el paso del nuevo tren de carga como ya se comprobó con el modelo matemático antes mostrado y corroborado por este método.

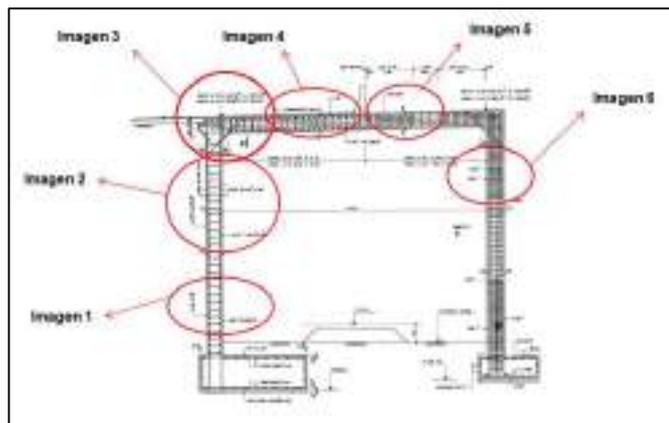
- Chequeamos la deformación del acero

$$Es = \frac{0.003 * (d - c)}{c} \rightarrow Es = 0.003 * \left( \left( \beta_1 * \frac{d}{a} \right) - 1 \right)$$

$$Es = 0.003 * \left( \left( 0.85 * \frac{64.057}{10.28} \right) - 1 \right) \rightarrow Es = 0.013$$

**Ecuación 13. Verificación de Deformación del Acero.**

**Puente N°2, Modelo N°1, fuerzas resistentes internas en la estructura**



**Figura 57. Refuerzo de acero en pórtico.**

- Acero de refuerzo en zona cercana a la fundación

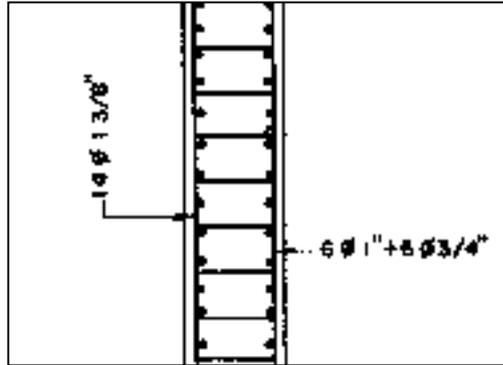


Figura 58. Imagen 1 de figura 57.

En el muro, en el contacto con la fundación hay refuerzo de corte. Existe una zona reforzada al lado de la fundación hasta 1,65 m de altura con estribos #4 c/0,20m horizontal y c/0,40m.

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 9.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 1 del modelo N°1 del puente N° 2.**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario   |
|---|---|--|
| $M_u = 200,10 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior) | $M_u = 160,71 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior) | OK   |
| $M_u = 72,67 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | N/A (tracción interior)   | OK   |
| $M_u = 28,87 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 33,42 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$                         | Ocurre por la forma como esta discretizado el soporte (no está de manera continua) |
| $V_u = 55,52 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 54,98 \text{ Tf/m}$                                      | OK   |

- Acero de refuerzo en zona central del muro

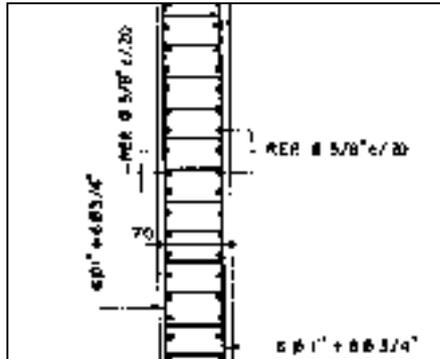


Figura 59. Imagen 2 de figura 57.

En el muro, en el tramo del muro existen refuerzos de corte. Existe una zona reforzada con ganchos #4 c/0,40m horizontal y c/0,80m.

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 10.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 2 del modelo 1 del puente N° 2.**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes  | Comentario |
|---|--|------------|
| $M_u = 97,39 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Tracción exterior)  | N/A<br>(Tracción exterior)                                     | OK         |
| $M_u = 97,39 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Tracción interior)  | $M_u = 32,70 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Tracción interior) | OK         |
| $M_u = 28,72 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 10,42 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$                        | OK         |
| $V_u = 34,69 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 12,40 \text{ Tf/m}$                                     | OK         |

- Acero de refuerzo en unión de la losa y muro

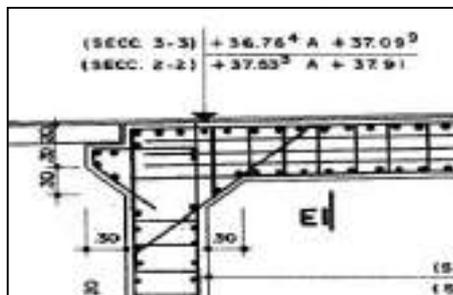


Figura 60. Imagen 3 de figura 57.

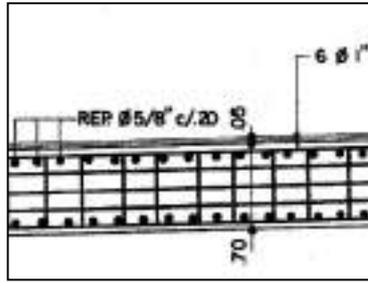


Figura 61. Imagen 4 de figura 57.

Losa de concreto. Está reforzada con estribos de 6 ramas #3 c/0,30m.

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 11.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen3 y 4 del modelo N°1 del puente N° 2.**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes  | Comentario |
|---|--|------------|
| $M_u = 97,66 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Tracción inferior)  | $40,90 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Tracción inferior) | OK         |
| $M_u = 70,71 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Tracción superior)  | N/A<br>(Tracción superior)                               | OK         |
| $M_u = 28,72 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Momento secundario) | $M_u = 8,80 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$                   | OK         |
| $V_u = 49,25 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 31,40 \text{ Tf/m}$                               | OK         |

- Acero de refuerzo en vigas de concreto

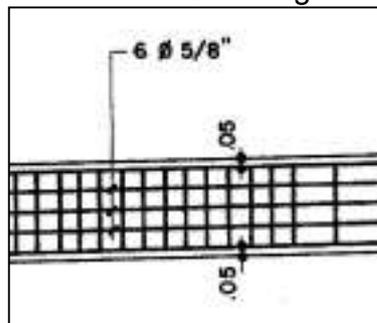


Figura 62. Imagen 5 de figura 57.

Viga de concreto. Está reforzada con estribos de 6 ramas #3 c/0,30m.

**Cuadro 12.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen5 del modelo N°1 del puente N° 2.**

| Fuerzas resistentes                     | Fuerzas actuantes                  | Comentario |
|---|------------------------------------|------------|
| Mu = 112,10 Tf·m<br>(Tracción inferior) | 103,82 Tf·m<br>(Tracción inferior) | OK         |
| Mu = 112,10 Tf·m<br>(Tracción superior) | N/A<br>(Tracción superior)         | OK         |
| N/A<br>(Momento secundario)             | N/A                                |            |
| Vu = 31,09 Tf/m                         | Vu = 25,73 Tf/m                    | OK         |

- Acero de refuerzo en columnas de concreto

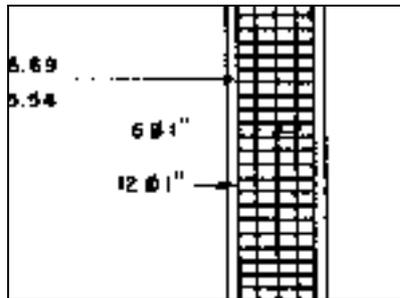


Figura 63. Imagen 6 de figura 57.

Columna de concreto. Está reforzada con estribos de 6 ramas #3 c/0,30m.

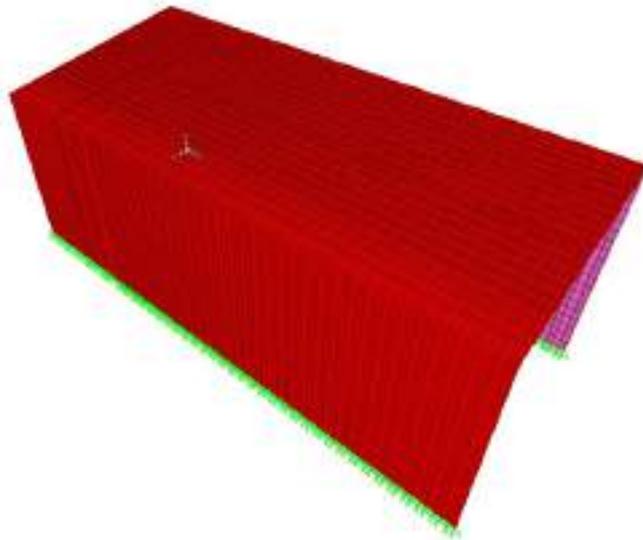
**Cuadro 13.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 6 del modelo N°1 del puente N° 2.**

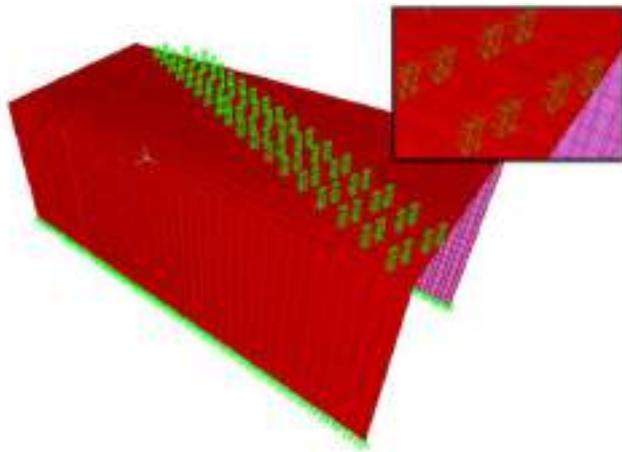
| Fuerzas resistentes                     | Fuerzas actuantes                  | Comentario |
|---|------------------------------------|------------|
| Mu = 140,40 Tf·m<br>(Tracción interior) | 139,82 Tf·m<br>(Tracción interior) | OK         |
| Mu = 140,40 Tf·m<br>(Tracción exterior) | 138,87 Tf·m<br>(Tracción exterior) | OK         |
| N/A<br>(Momento secundario)             | N/A                                |            |
| Vu = 130,90 Tf/m                        | Vu = 72,84 Tf/m                    | OK         |
| Vu = 37,90 Tf/m                         | Vu = 19,64 Tf/m                    | OK         |

Este puente es capaz de soportar el paso por su parte superior de las cargas extrapesadas planteadas.

**Modelo N°2: (Cajón central - Puente 2)**



*Figura 64. Modelo tridimensional del puente N°2 - Modelo 2 (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 65. Tren de carga aplicado a la estructura, 138 ruedas con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)*

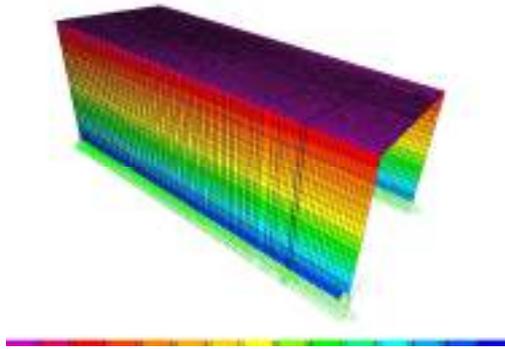


Figura 66. Asignación de cargas laterales debido al empuje de tierra ( $\gamma_{\text{suelo}} = 1850 \text{ Kg/m}$ ). (SAP 2000 V.14.2.4)

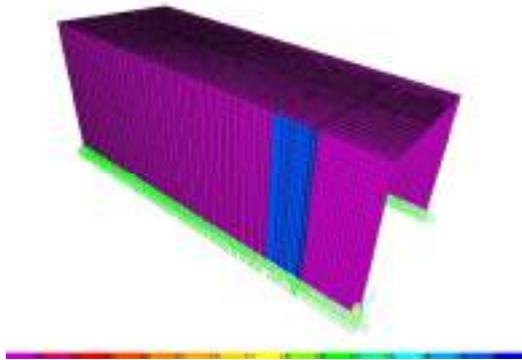


Figura 37. Asignación de carga lateral debido a sobrecarga del eje (4,58 Tf/m). (SAP 2000 V.14.2.4)

**Puente N°2, modelo N°2, fuerzas internas actuantes en la estructura**

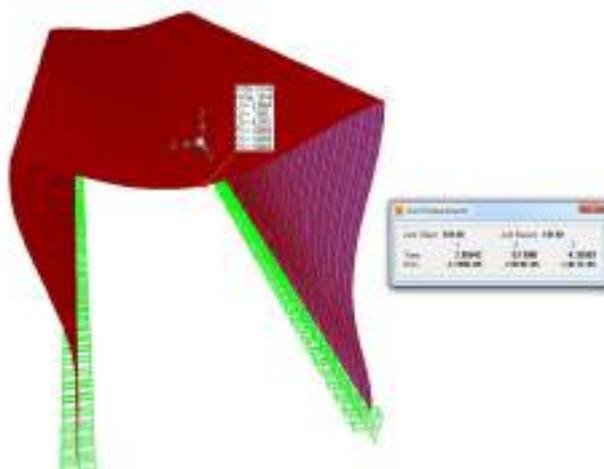
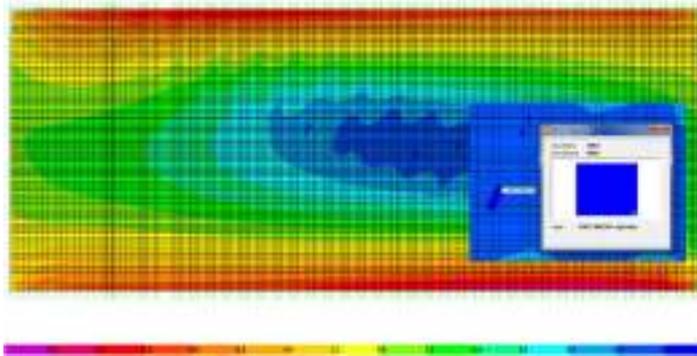
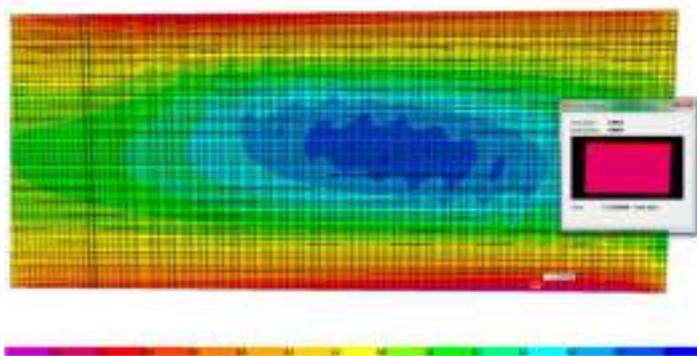


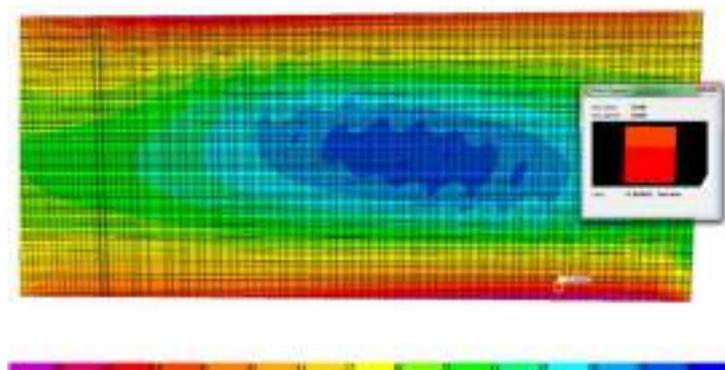
Figura 68. Máxima deflexión vertical U3 (0,44cm) (SAP 2000 V.14.2.4)



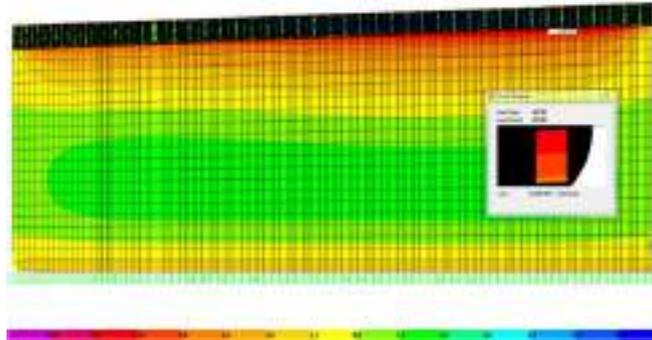
**Figura 69. Momento M11 máximo positivo (13,44 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



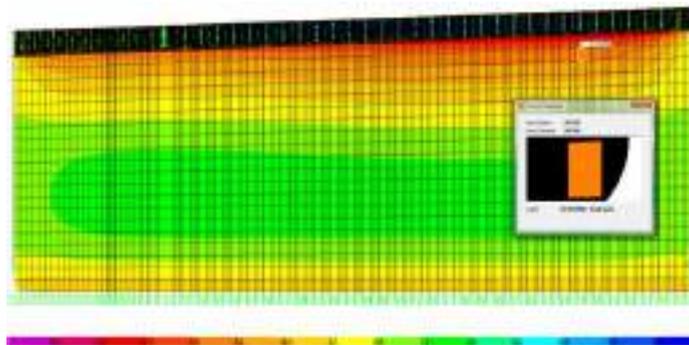
**Figura 70. Momento crítico M11 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,35m del centroide del muro (-13,09 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



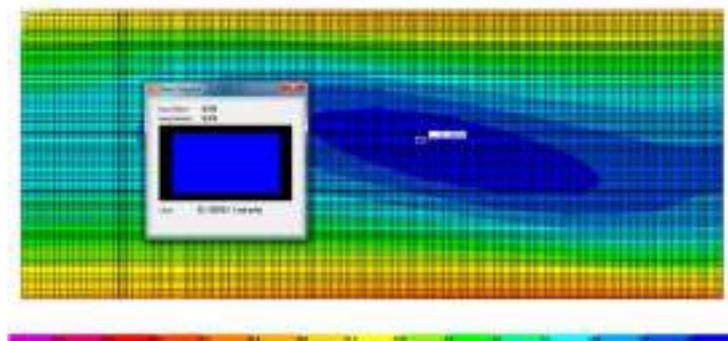
**Figura 71. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65 m del centroide del muro (-11,00 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)**



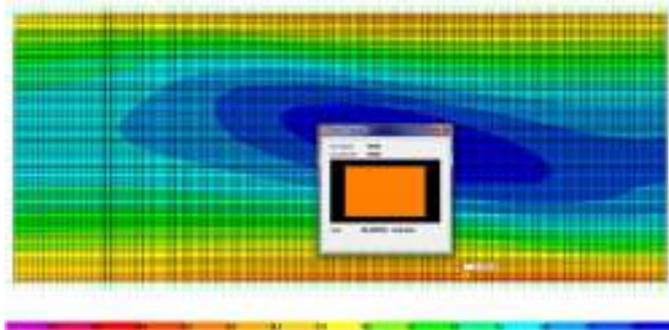
*Figura 72. Momento crítico M11 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35 m del centroide de la losa (-9,98 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



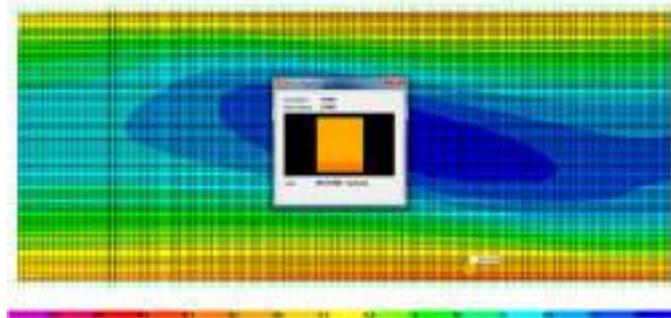
*Figura 73. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide de la losa (-8,10Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP2000 V.14.2.4)*



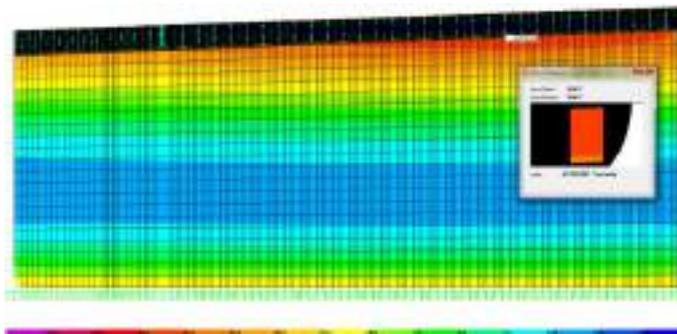
*Figura 74. Momento M22 máximo positivo (33,13 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



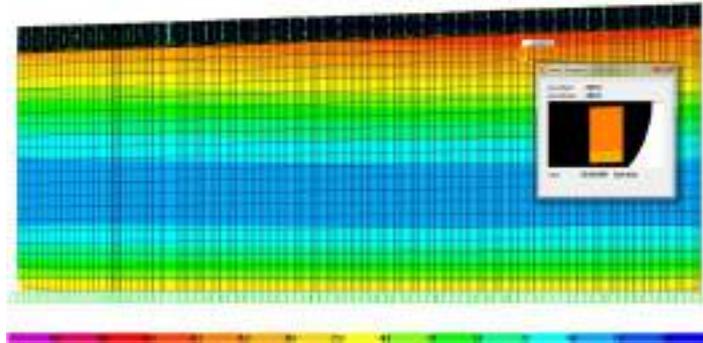
*Figura 75. Momento crítico M22 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,35m del centroide del muro (-36,46Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



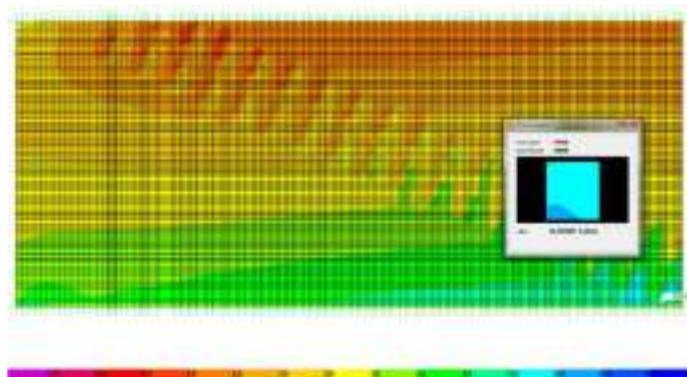
*Figura 76. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide del muro (-30,61Tf·m/m), combinación GRUPO 1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



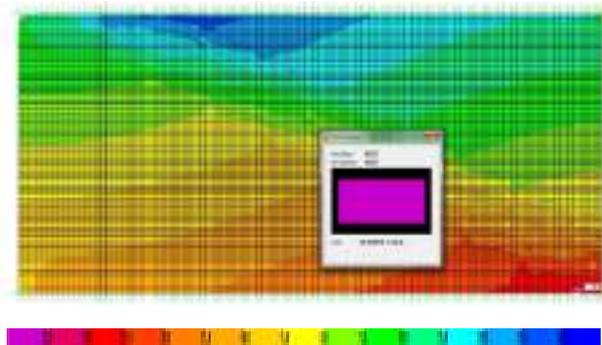
*Figura 77. Momento crítico M22 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35 m del centroide de la losa (-43,57 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 78.* Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide de la losa (-39,95 Tf·m/m), combinación GRUPO 1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



*Figura 79.* Fuerza cortante V13 máxima positiva (16,01 Tf/m), combinación GRUPO 1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



*Figura 80.* Fuerza cortante V23 máxima negativa (-36,36 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)

**Puente N°2, modelo N°2, fuerzas resistentes internas en la estructura**

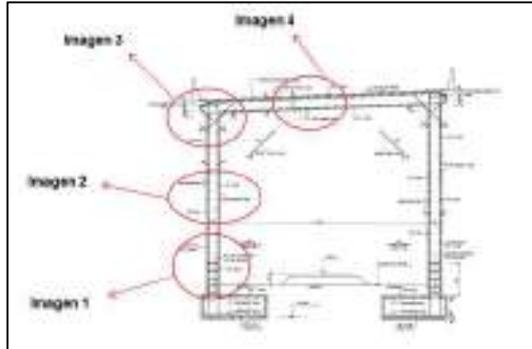


Figura 81. Refuerzo de acero en pórtico

- Acero de refuerzo en muro en zona cercana a la fundación

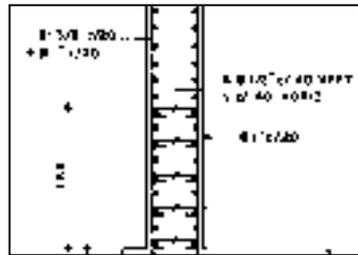


Figura 82. Imagen 1 figura 81

Ésta sección posee estribos ganchos #4 cada 0,40 m en sentido vertical y horizontal.

**Cuadro 14.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 1 del modelo N°2 del puente N° 2.**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                         | Comentario |
|---|---|------------|
| Mu = 200,40 Tf·m/m<br>(Tracción exterior) | 67,10 Tf·m<br>(Tracción exterior)         | OK         |
| Mu = 70,95 Tf·m/m<br>(Tracción interior)  | N/A<br>(Tracción interior)                | OK         |
| Mu = 29,64 Tf·m/m<br>(Momento secundario) | Mu = 13,44 Tf·m/m<br>(Momento secundario) | OK         |
| Vu = 68,99 Tf/m                           | Vu = 34,65 Tf/m                           | OK         |

- Acero de refuerzo en zona central del muro

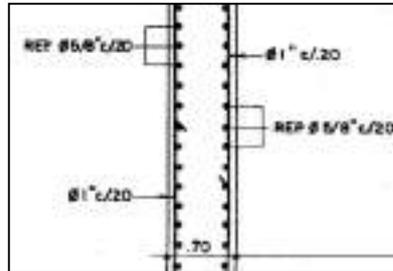


Figura 83. Imagen 2 figura 81

Muro en zona central. Tiene estribos ganchos #4 cada 0,40 m en sentido vertical y horizontal. Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 15.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen2 del modelo N°2 del puente N° 2.**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes  | Comentario |
|---|--|------------|
| $M_u = 59,40 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Tracción exterior)  | N/A<br>(Tracción exterior)                                     | OK         |
| $M_u = 59,40 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Tracción interior)  | 23,99 Tf·m<br>(Tracción interior)                              | OK         |
| $M_u = 29,64 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Momento secundario) | $M_u = 8,70 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(Momento secundario) | OK         |
| $V_u = 34,95 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 16,75 \text{ Tf/m}$                                     | OK         |

- Acero de refuerzo en muro en zona de unión con losa de techo.

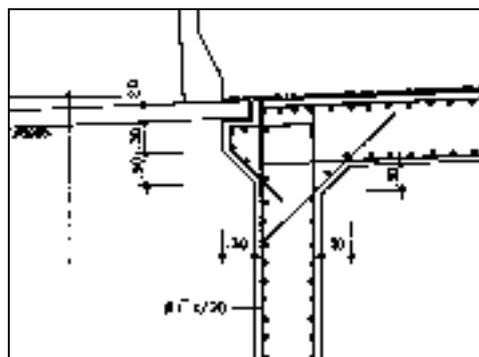


Figura 84. Imagen 3 figura 81.

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 16.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 3 del modelo N°2 del puente N° 2.**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                         | Comentario |
|---|---|------------|
| Mu = 59,40 Tf·m/m<br>(Tracción exterior)  | 37,99 Tf·m<br>(Tracción exterior)         | OK         |
| Mu = 59,40 Tf·m/m<br>(Tracción interior)  | N/A<br>(Tracción interior)                | OK         |
| Mu = 29,64 Tf·m/m<br>(Momento secundario) | Mu = 10,99 Tf·m/m<br>(Momento secundario) | OK         |
| Vu = 34,95 Tf/m                           | Vu = 28,99 Tf/m                           | OK         |

- Losa de techo en zona central.

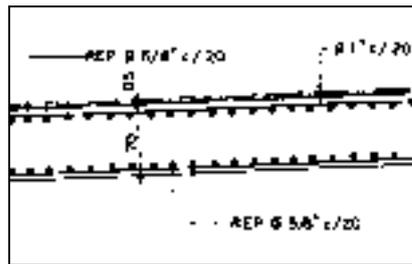


Figura 85. Imagen 4 figura 81.

**Verificación de la Losa de Techo Central (Puente N°2 – Cajón Central).**

Tenemos una losa de espesor igual a 70 cm, armada en una dirección según los planos existente de la misma y como se muestra en la (Fig. 85), donde el acero colocado es:

#8 @ 20 cm en c/c. (Acero Longitudinal Principal).

#5 @ 20 cm en c/c. (Acero de Repartición).

La carga aplicada sobre la losa es la de 138 ruedas del Lowboy q= 2.575Ton. Por rueda. (Chequeamos una franja de 1,0m de espesor por el largo de la losa y asumimos que estará en contacto por lo menos el 30% de las ruedas en dicha franja)

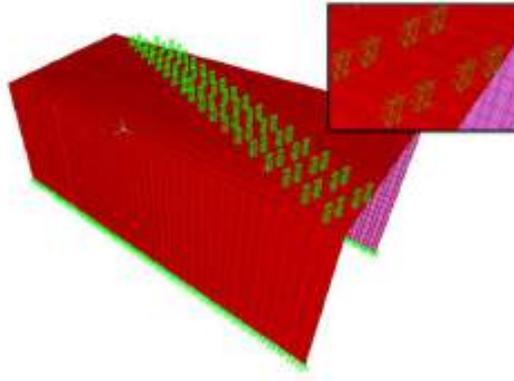


Figura 85a. Cargas Aplicadas a la Losa.

$$CV = 42 * 2.575 \text{ Ton.} \rightarrow CV = 108 \text{ Ton.}$$

$$CM = e * A * 2500 \rightarrow CM = 0.70 * 1 * 2500 \rightarrow CM = 1.75 \text{ Ton.}$$

- Calculamos la carga distribuida total sobre la franja

$$Q = 1.3CM + 1.6CV \rightarrow Q = 1.3(1.75) + 1.6(108)$$

$$Q = 175 \text{ Ton./m}^2$$

Ecuación 14. Cálculo de Carga Distribuida.

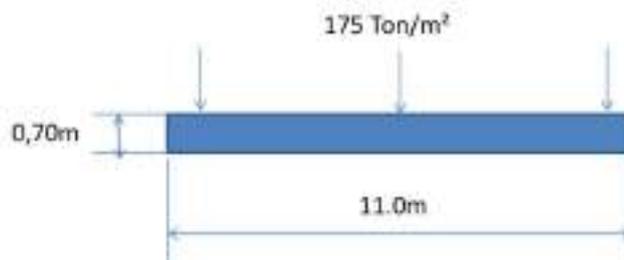


Figura 85b. Diagrama de Cargas Aplicadas a la Losa.

- Calculamos el Área de Acero colocado un área de 1.0 m<sup>2</sup>

$$As = \# \emptyset = 5 * (5.07 \text{ cm}^2) = As = 25.35 \text{ cm}^2$$

$$rd = r + \emptyset be + As/2$$

$$rd = 4 + 0.953 + \frac{5.07}{2} \rightarrow rd = 7.488 \text{ cm.}$$

- Calculamos el Rectángulo de la franja (a)

$$0.85 * f'c * a * d = As * Fy$$

$$0.85 * 250 * a * 70 = 25.35 * 4200$$

$$14875 * a = 106470 \rightarrow a = \frac{106470}{147875}$$

$$a = 7.16$$

$$dt = 70 - 7.488 \rightarrow dt = 62.512 \text{ cm}$$

$$\frac{a}{dt} = \frac{7.16}{62.512} = 0.11$$

Como  $0.16 \leq 0.51$ , se considera que el acero a tracción esta a cedencia

- Determinamos la resistencia nominal a flexión Mn y la de diseño  $\phi * Mn$ :

$$Mn = 25.35 * 4200 \left( 62.512 - \frac{7.16}{2} \right) \rightarrow Mn = 106470 * (58.932)$$

$$Mn = 6274490.04 \text{ Kg} - \text{cm} \rightarrow Mn = 62.75 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$\phi * Mn = 0.90 * 62.75 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$\phi * Mn = 56.47 \text{ Ton} - \text{m}$$

En conclusión la fuerza resistente de la losa existente es mayor a la de la actuante nominal de flexión y el de diseño con la nueva carga extrapesada, por tanto, la losa resistirá el paso del nuevo tren de carga como ya se comprobó con el modelo matemático antes mostrado y corroborado por este método.

- Chequeamos la deformación del acero

$$Es = \frac{0.003 * (d - c)}{c} \rightarrow Es = 0.003 * \left( \left( \beta 1 * \frac{d}{a} \right) - 1 \right)$$

$$Es = 0.003 * \left( \left( 0.85 * \frac{62.512}{7.16} \right) - 1 \right) \rightarrow Es = 0.019$$

**Ecuación 15. Deformación del Acero.**

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 17.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 4 del modelo N°2 del puente N° 2.**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                         | Comentario |
|---|---|------------|
| Mu = 59,40 Tf·m/m<br>(tracción exterior)  | N/A<br>(tracción exterior)                | OK         |
| Mu = 59,40 Tf·m/m<br>(tracción interior)  | 34,99 Tf·m<br>(tracción interior)         | OK         |
| Mu = 29,64 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 13,99 Tf·m/m<br>(momento secundario) | OK         |
| Vu = 34,95 Tf/m                           | Vu = 9,99 Tf/m                            | OK         |

Este puente es capaz de soportar el paso por su parte superior de las cargas extrapesadas planteadas.

**Puente no reportado Informe FAPCO (Puente 18 según variante de vía expresa)**

Puente de Concreto Armado, ubicado en la Av. Expresa 1 – Puerto Ordaz, uso debajo circulación en la planta de FERROMINERA. Es un cajón de paso para tránsito vehicular por su carpeta superior, aproximadamente perpendicular a la vía carretera, posee muros y losas de setenta centímetros (70cm) de espesor. La luz del cajón es de once metros y medio (11,50m) y tiene una altura de ocho metros (8,00m) aproximadamente. (Ver anexo C).

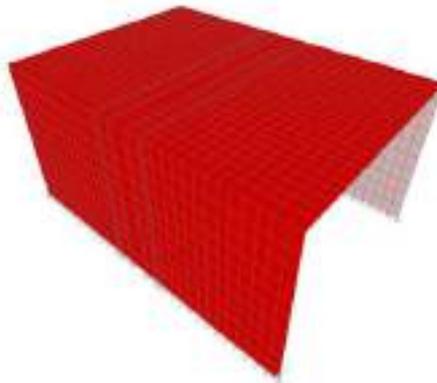
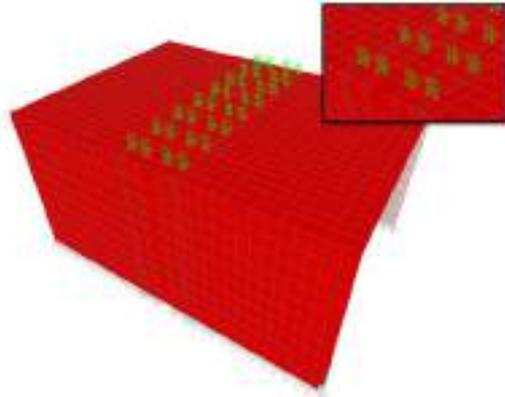
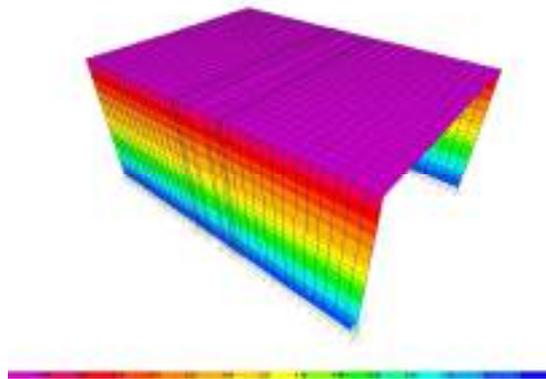


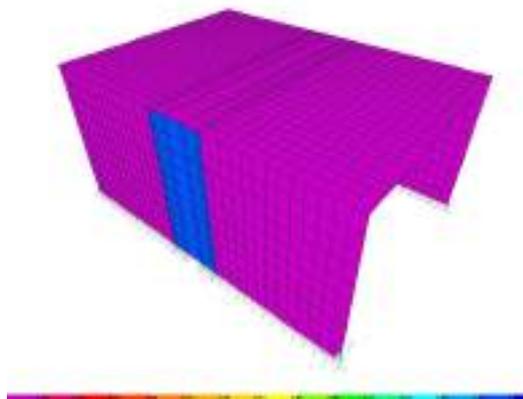
Figura 86. Modelo tridimensional del puente N°18 (SAP 2000 V.14.2.4)



*Figura 87.* Tren de carga aplicado a la estructura, 64 ruedas con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)

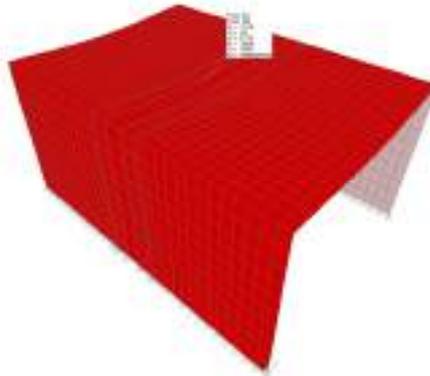


*Figura 88.* Asignación de cargas laterales debido al empuje de tierra ( $\gamma_{\text{suelo}} = 1850 \text{ Kg/m}$ ). (SAP 2000 V.14.2.4)

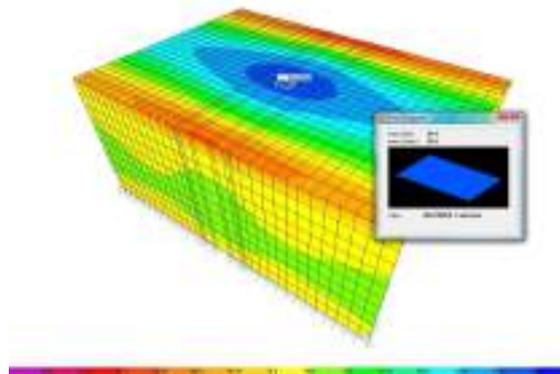


*Figura 89.* Asignación de carga lateral debido a sobrecarga del eje (4,58Tf/m). (SAP 2000 V.14.2.4)

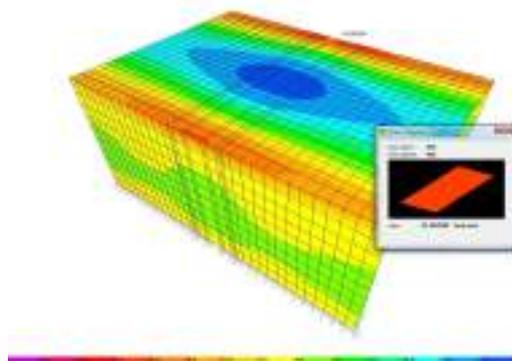
**Puente no Reportado Informe FAPCO (Puente 18 según variante de vía expresa), fuerzas internas actuantes en la estructura**



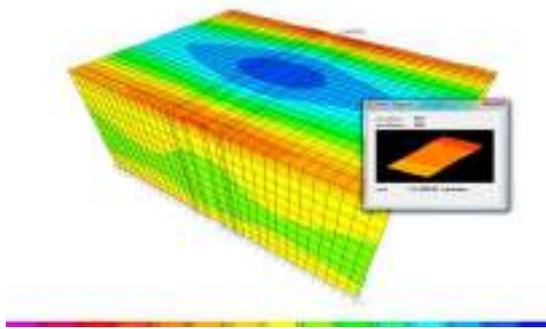
*Figura 90. Máxima deflexión vertical U3 (0,47cm) (SAP 2000 V.14.2.4)*



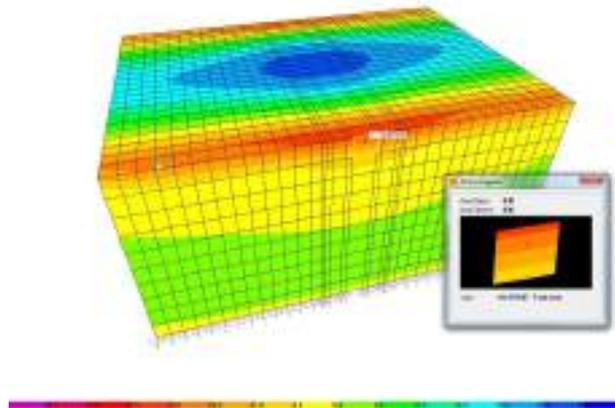
*Figura 91. Momento M11 máximo positivo (30,67 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



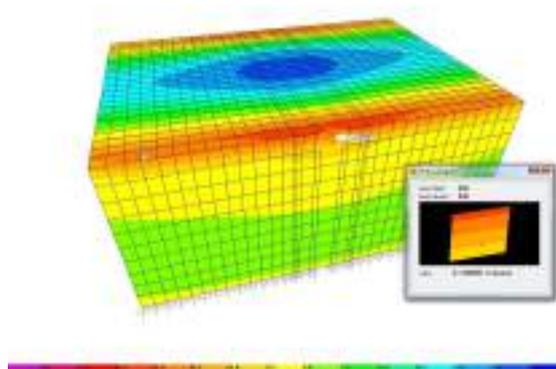
*Figura 92. Momento crítico M11 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,35m del centroide del muro (-24,06 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



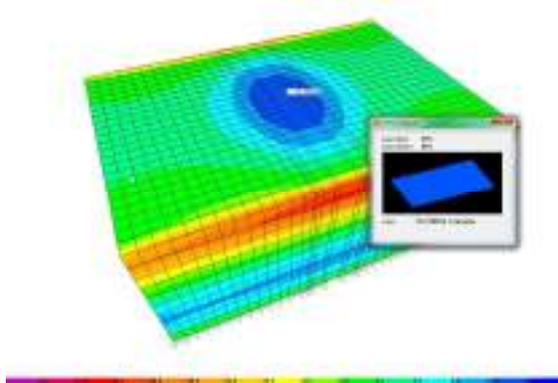
*Figura 93. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide del muro (-21,41Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



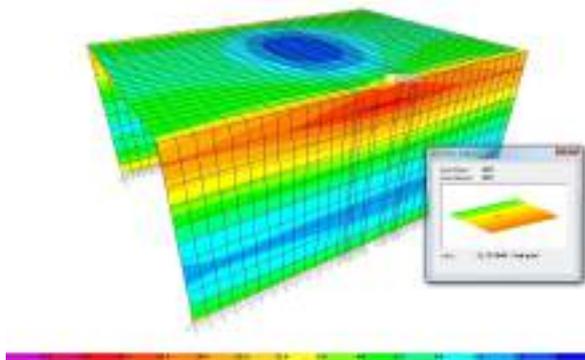
*Figura 94. Momento crítico M11 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35m del centroide de la losa (-18,47 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



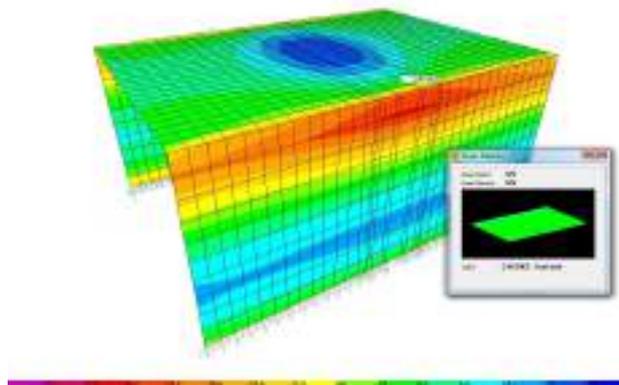
*Figura 95. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide de la losa (-11,04 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



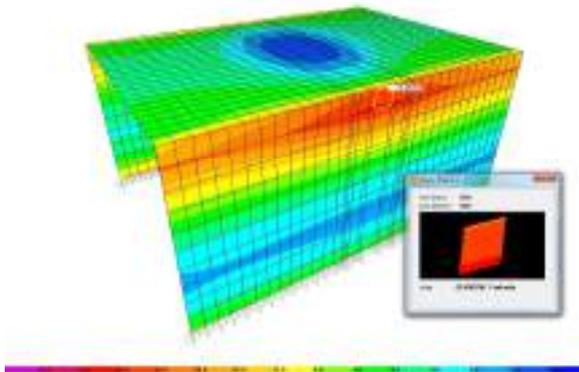
*Figura 96. Momento M22 máximo positivo (15,12 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



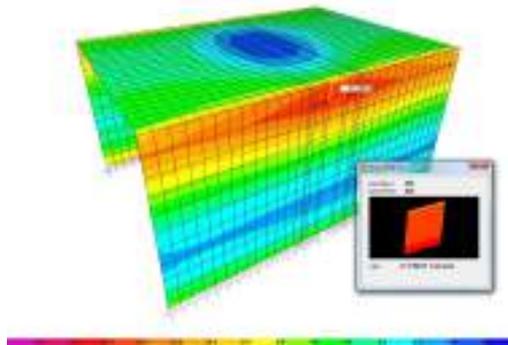
*Figura 97. Momento crítico M22 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,35m del centroide del muro (-12,31 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



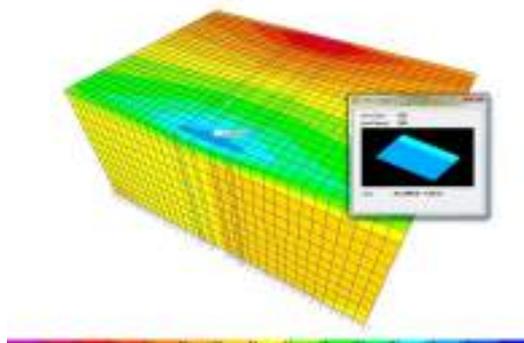
*Figura 98. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65 m del centroide del muro (-2,46 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 99. Momento crítico M22 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35 m del centroide de la losa (-25,6 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 100. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65 m del centroide de la losa (-27,72 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 101. Fuerza cortante V13 máxima positiva (26,20 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*

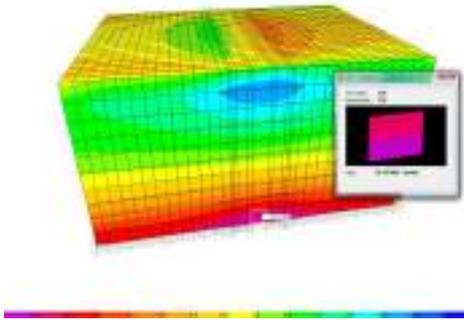


Figura 102. Fuerza cortante V23 máxima negativa (-15.74 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)

**Puente no Reportado Informe FAPCO (Puente 18 según variante de vía expresa), fuerzas resistentes internas en la estructura**

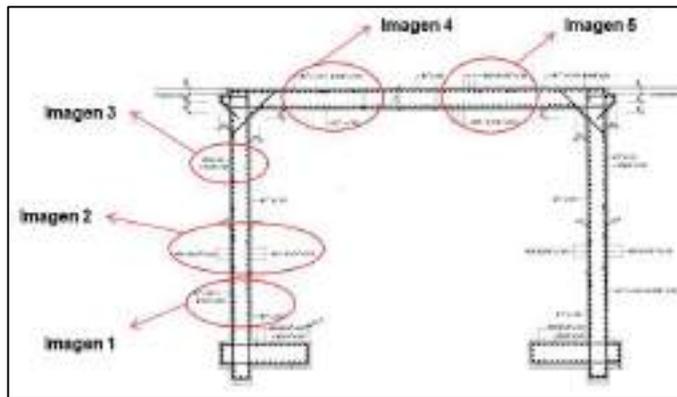


Figura 103. Refuerzo de acero en pórtico

- Acero de refuerzo en muro en zona cercana a la fundación.

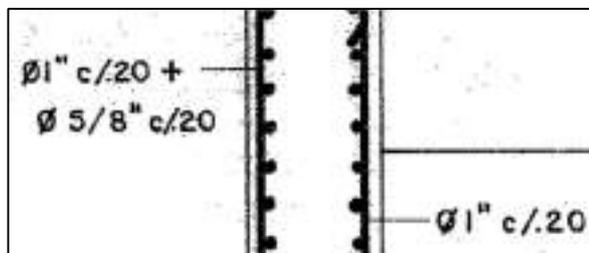


Figura 104. Imagen 1 figura 103

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 18.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 1 de la figura 103 (Puente N°18 - Variante vía expresa).**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                        | Comentario |
|---|--|------------|
| Mu = 97,66 Tf·m/m<br>(tracción exterior)  | Mu = 21,99 Tf·m/m<br>(tracción exterior) | OK         |
| Mu = 70,61 Tf·m/m<br>(tracción interior)  | N/A<br>(tracción interior)               | OK         |
| Mu = 29,64 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 4,99 Tf·m/m<br>(momento secundario) | OK         |
| Vu = 34,95 Tf/m                           | Vu = 15,99 Tf/m                          | OK         |

- Acero de refuerzo en muro en zona intermedia

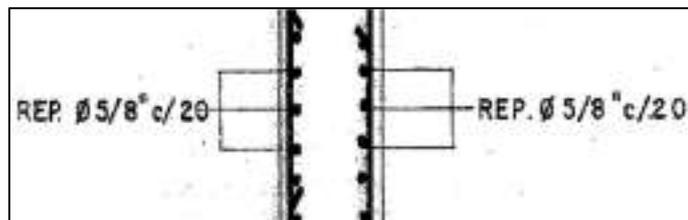


Figura 105. Imagen 2 figura 103

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 19.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 2 de la figura 103 (Puente N°18 - Variante vía expresa).**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                        | Comentario |
|---|--|------------|
| Mu = 70,82 Tf·m/m<br>(tracción exterior)  | N/A<br>(tracción exterior)               | OK         |
| Mu = 70,82 Tf·m/m<br>(tracción interior)  | Mu = 7,99 Tf·m/m<br>(tracción interior)  | OK         |
| Mu = 29,64 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 3,99 Tf·m/m<br>(momento secundario) | OK         |
| Vu = 34,95 Tf/m                           | Vu = 8,99 Tf/m                           | OK         |

- Acero de refuerzo en muro en la cercanía de la losa de techo

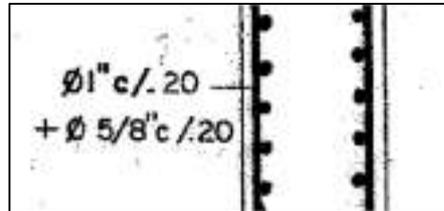


Figura 106. Imagen 3 figura 103

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 20.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 3 de la figura 103 (Puente N°18 - Variante vía expresa).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 97,66 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | $M_u = 23,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 70,61 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 29,64 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 19,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 34,95 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 14,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Acero de refuerzo en la losa de techo en la cercanía del muro.

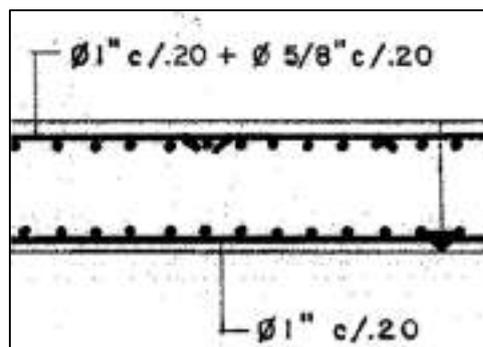


Figura 107. Imagen 4 figura 103

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 21.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 4 de la figura 103 (Puente N°18 - Variante vía expresa).**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                         | Comentario |
|---|---|------------|
| Mu = 97,66 Tf·m/m<br>(tracción exterior)  | Mu = 22,99 Tf·m/m<br>(tracción exterior)  | OK         |
| Mu = 70,61 Tf·m/m<br>(tracción interior)  | N/A<br>(tracción interior)                | OK         |
| Mu = 29,64 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 23,99 Tf·m/m<br>(momento secundario) | OK         |
| Vu = 34,95 Tf/m                           | Vu = 26,99 Tf/m                           | OK         |

- Acero de refuerzo en la Losa de techo en tramo central

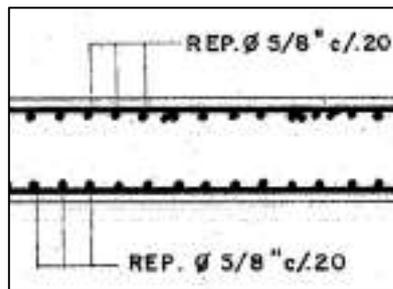


Figura 108. Imagen 5 figura 103

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 22.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 5 de la figura 103 (Puente N°18 - Variante vía expresa).**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                         | Comentario |
|---|---|------------|
| Mu = 70,82 Tf·m/m<br>(tracción exterior)  | N/A<br>(tracción exterior)                | OK         |
| Mu = 70,82 Tf·m/m<br>(tracción interior)  | Mu = 31,99 Tf·m/m<br>(tracción interior)  | OK         |
| Mu = 29,64 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 15,99 Tf·m/m<br>(momento secundario) | OK         |
| Vu = 34,95 Tf/m                           | Vu = 6,99 Tf/m                            | OK         |

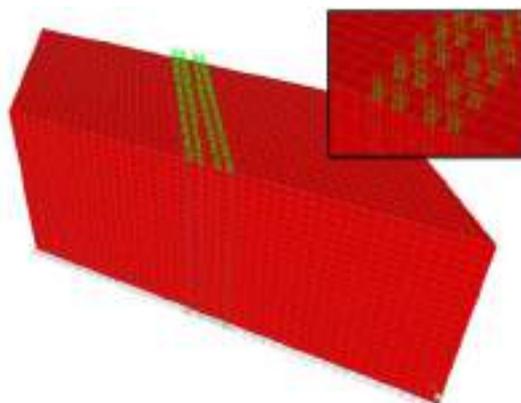
Este puente es capaz de soportar el paso por su parte superior de las cagas extrapesadas planteadas.

**Puente no Reportado Informe FAPCO (Puente 6 según variante de vía expresa)**

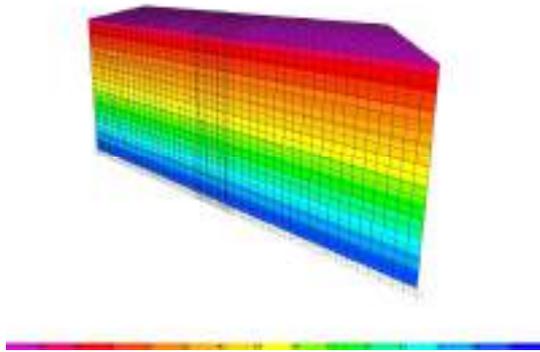
Puente de Concreto Armado tipo cajón, ubicado en la Av. Expresa 1 - Puerto Ordaz, uso debajo circulación en la planta de FERROMINERA. Es un cajón de paso para tránsito vehicular por su carpeta superior, aproximadamente perpendicular a la vía, posee muros y losas de ochenta centímetros (80cm) de espesor. La luz del cajón es de quince metros (15,00m) y tiene una altura de once metros (11,00m) aproximadamente. (Ver anexo D).



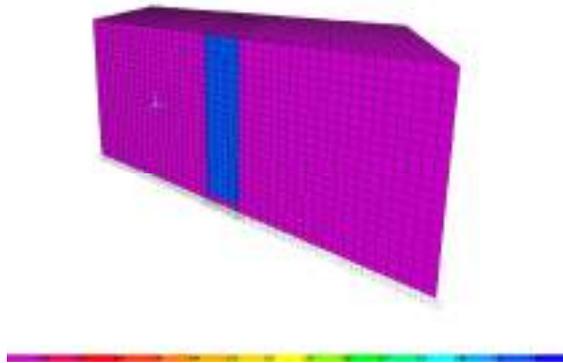
*Figura 109. Modelo tridimensional del puente N°6 (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 110. Tren de carga aplicado a la estructura, 88 ruedas dentro de los límites de la losa con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)*

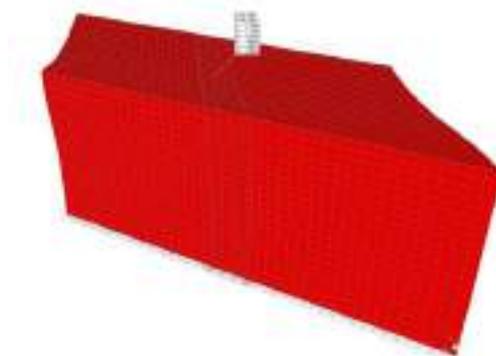


*Figura 111. Asignación de cargas laterales debido al empuje de tierra ( $\gamma_{\text{suelo}}=1850\text{Kg/m}$ ). (SAP 2000 V.14.2.4)*

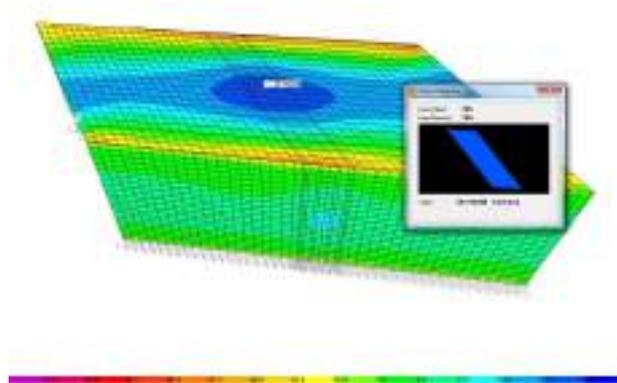


*Figura 112. Asignación de carga lateral debido a sobrecarga del eje (4,58 Tf/m). (SAP 2000 V.14.2.4)*

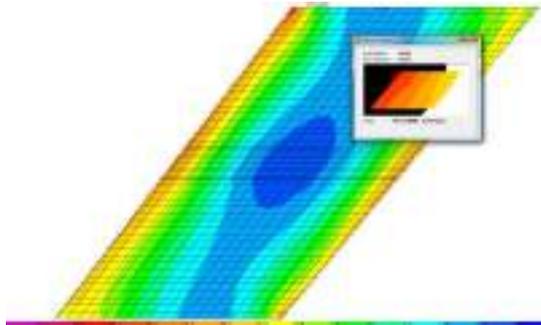
**Puente no Reportado Informe FAPCO (Puente 6 según variante de vía expresa) fuerzas internas actuantes en la estructura**



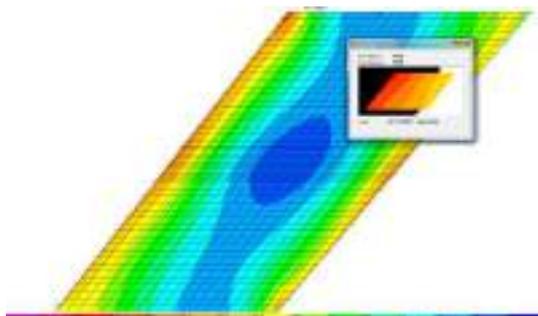
*Figura 43. Máxima deflexión vertical U3 (0,39cm). (SAP 2000 V.14.2.4)*



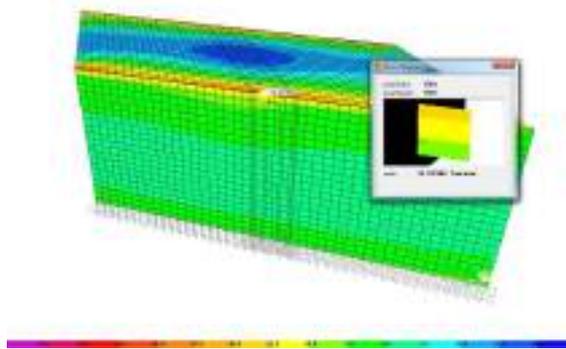
*Figura 54.* Momento M11 máximo positivo (28,74 Ton·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



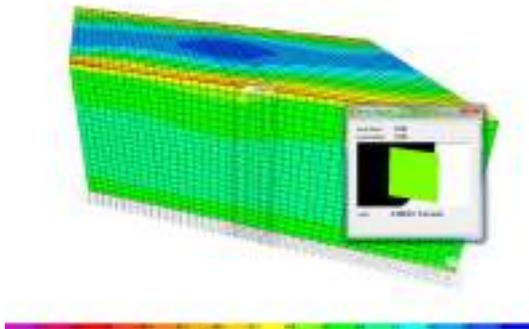
*Figura 615.* Momento crítico M11 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,35m del centroide del muro (-45,15 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC (vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4)



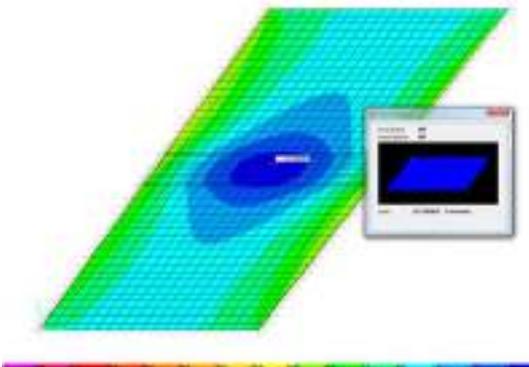
*Figura 116.* Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,67m del centroide del muro (-42,11 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC (vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4)



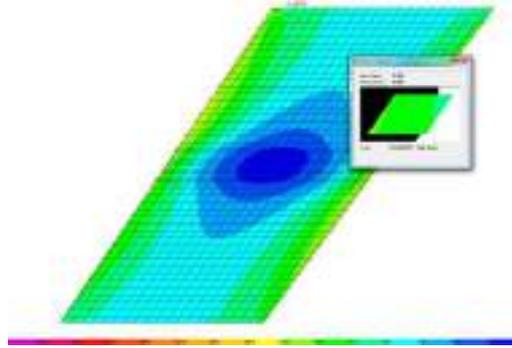
**Figura 7.** Momento crítico M11 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,4m del centroide de la losa (-14,18 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4.)



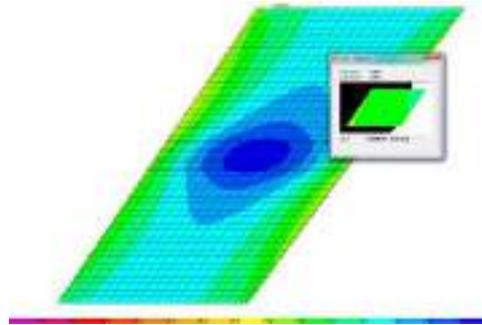
**Figura 118.** Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,72m del centroide de la losa (-8,90 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP2000 V.14.2.4.)



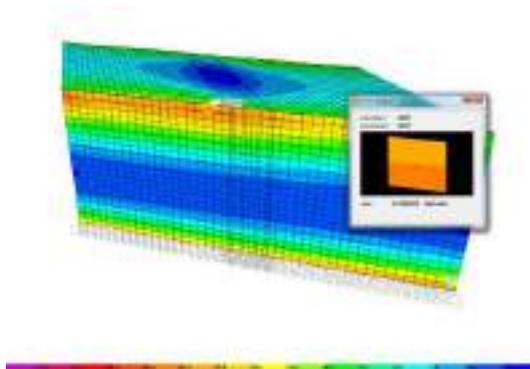
**Figura 8.** Momento M22 máximo positivo (25,25 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC (vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4)



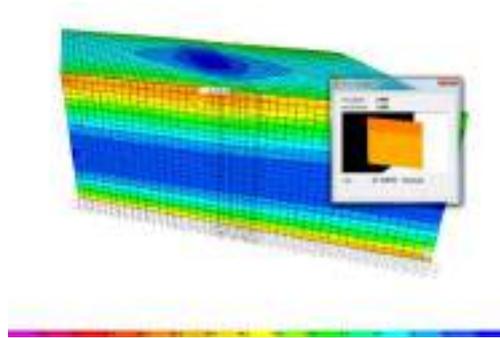
*Figura 120.* Momento crítico M22 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,35m del centroide del muro (-12,42 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



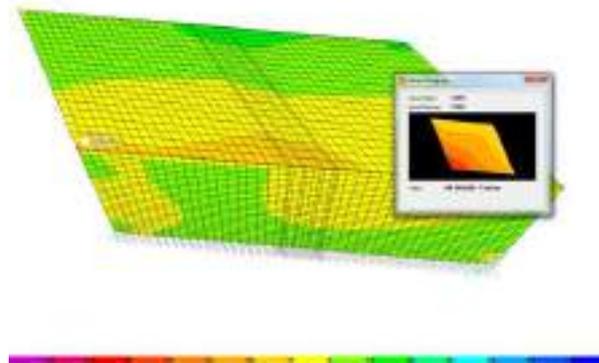
*Figura 9.* Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,67m del centroide del muro (-8,56 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC (vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4)



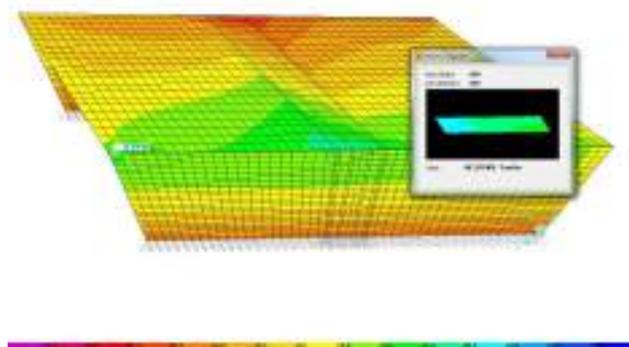
*Figura 1022.* Momento crítico M22 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,40m del centroide de la losa (-42,40 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



*Figura 1123. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,72m del centroide de la losa (-41,67 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP2000 V.14.2.4)*



*Figura 124. Fuerza cortante V13 máxima (-94,56 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 125. Fuerza cortante V23 máxima positiva (46,29 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*

**Puente no Reportado Informe FAPCO (Puente 6 según variante de vía expresa 1) fuerzas internas resistentes en la estructura**

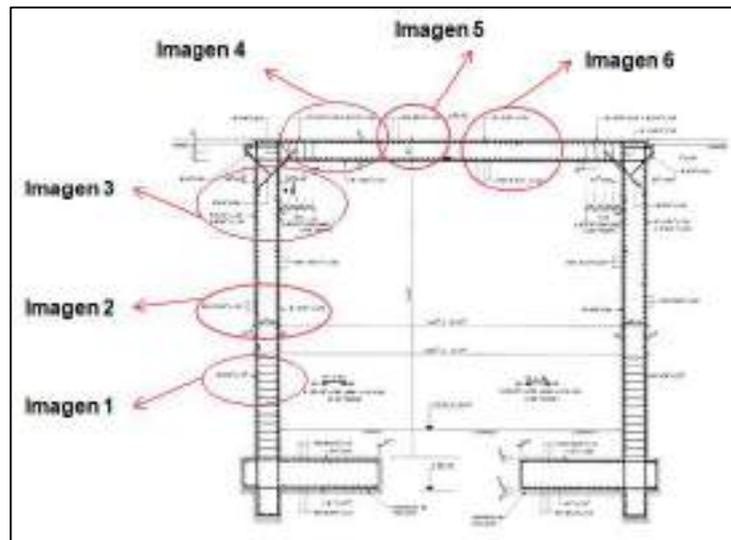


Figura 126 Refuerzo de acero en pórtico

- Acero de refuerzo en el muro, en la zona cercana a la fundación

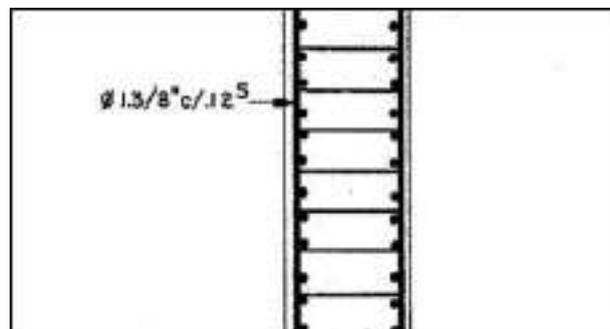


Figura 127. Imagen 1 de figura 126

La sección analizada posee ganchos #5 cada 25 cm horizontales y cada 30 cm de forma vertical.

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 23.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 1 de la figura 126 (Puente N° 6).**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                         | Comentario |
|---|---|------------|
| Mu = 260,00 Tf·m/m<br>(tracción exterior) | Mu = 61,99 Tf·m/m<br>(tracción exterior)  | OK         |
| Mu = 145,30 Tf·m/m<br>(tracción interior) | N/A<br>(tracción interior)                | OK         |
| Mu = 53,60 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 12,99 Tf·m/m<br>(momento secundario) | OK         |
| Vu = 128,10 Tf/m                          | Vu = 36,99 Tf/m                           | OK         |

- Acero de refuerzo en el muro en la zona central

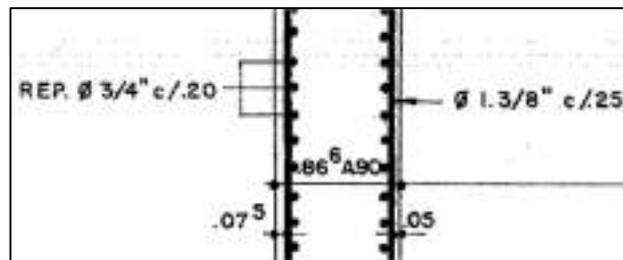


Figura 12. Imagen 2 de figura 126

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 24.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 2 de la figura 126 (Puente N° 6).**

| Fuerzas resistentes                       | Fuerzas actuantes                        | Comentario |
|---|--|------------|
| Mu = 146,10 Tf·m/m<br>(tracción exterior) | N/A<br>(tracción exterior)               | OK         |
| Mu = 146,10 Tf·m/m<br>(tracción interior) | Mu = 21,99 Tf·m/m<br>(tracción interior) | OK         |
| Mu = 53,60 Tf·m/m<br>(momento secundario) | Mu = 8,99 Tf·m/m<br>(momento secundario) | OK         |
| Vu = 45,70 Tf/m                           | Vu = 10,99 Tf/m                          | OK         |

- Acero de refuerzo en el muro en el tramo cercano a la losa de techo

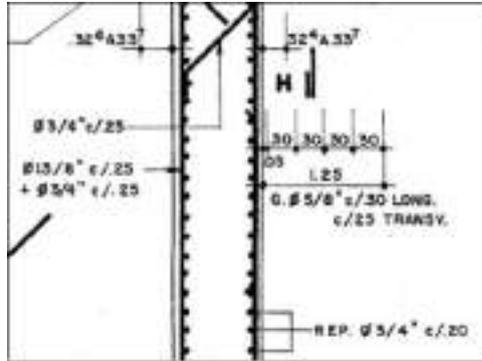


Figura 129. Imagen 3 de figura 126

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 25.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 3 de la figura 126 (Puente N° 6).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 146,10 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior) | $M_u = 37,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 146,10 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior) | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 53,60 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 23,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 45,70 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 20,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Acero de refuerzo en losa de techo en el tramo cercano al muro

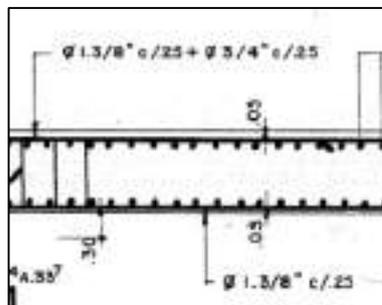


Figura 130. Imagen 4 de figura 126

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 26.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 4 de la figura 126 (Puente N° 6).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 260,70 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior) | $M_u = 37,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 260,70 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior) | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 53,60 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 23,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 128,10 \text{ Tf/m}$                                     | $V_u = 20,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Acero de refuerzo en tramo central de la losa

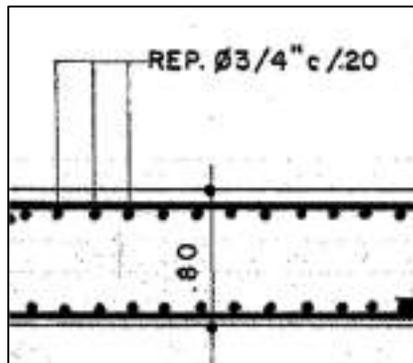


Figura 131. Imagen 5 de figura 126

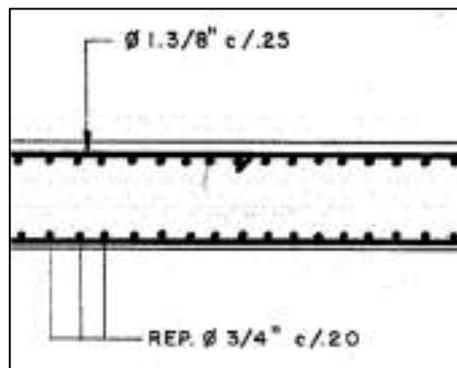


Figura 132. Imagen 6 de figura 126

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 27.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 5 y 6 de la figura 126 (Puente N° 6 - Variante vía expresa).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 260,70 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior) | $M_u = 29,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 260,70 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior) | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 53,60 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 24,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 45,70 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 10,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

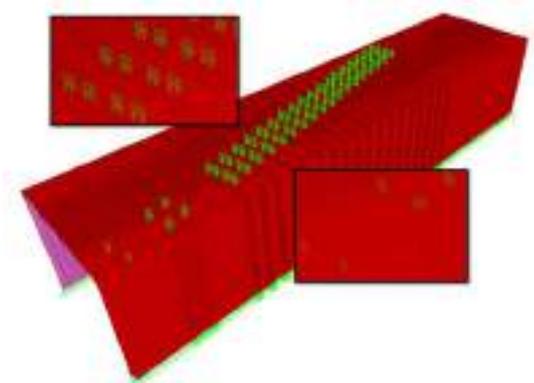
Este puente es capaz de soportar el paso por su parte superior de las cagas extrapesadas planteadas.

**Puente N° 4 informe FAPCO (Puente 15 según variante de vía expresa)**

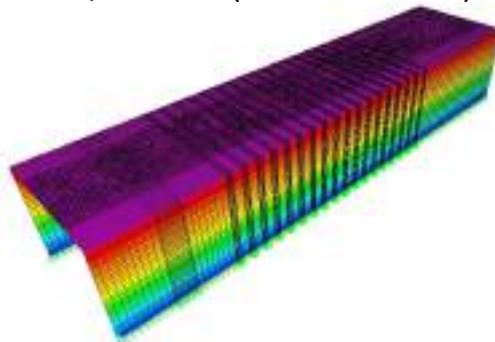
Puente de concreto armado tipo cajón, ubicado en la Av. Expresa 1 – Puerto Ordaz, construido con la finalidad de permitir el paso de trenes por la parte inferior de la estructura y de paso vehicular en su carpeta superior. Posee una losa y muros de setenta centímetros (70cm) de espesor. La luz del cajón es de once metros y medio (11,50m), la altura de diez metros (10,00m) y el ancho de cincuenta y un metros (51,00 m) aproximadamente. (Ver anexo E).



Figura 133. Modelo tridimensional del puente N°4. (SAP 2000 V.14.2.4)



*Figura 134. Tren de carga aplicado a la estructura, 144 ruedas de 2,575 Tf c/u, 8 ruedas de 2,812 Tf c/u y 2 ruedas de 3,750 Tf c/u. (SAP 2000 V.14.2.4)*

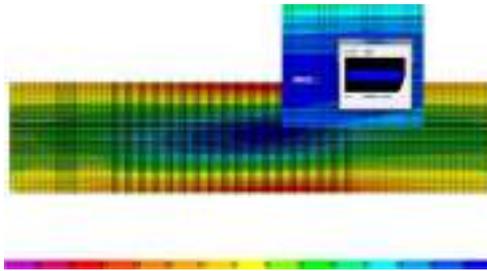


*Figura 135. Asignación de cargas laterales debido al empuje de tierra ( $\gamma_{\text{suelo}}=1850\text{Kg/m}$ ). (SAP 2000 V.14.2.4)*

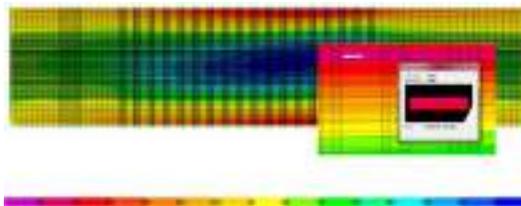
**Puente N° 4 informe FAPCO (Puente 15 según variante de vía expresa), fuerzas internas actuantes en la estructura**



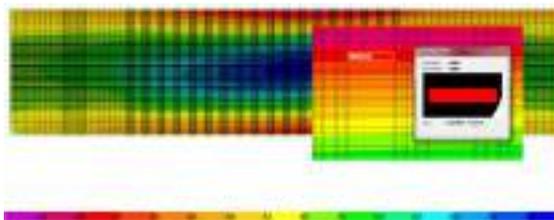
*Figura 136. Máxima deflexión vertical U3 (0,54cm). (SAP 2000 V.14.2.4)*



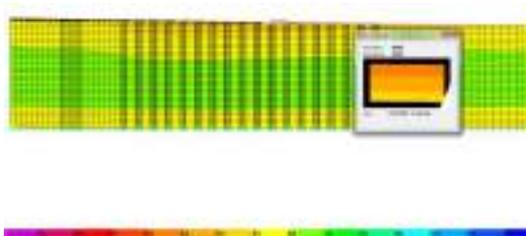
*Figura 137.* Momento M11 máximo positivo (36,04 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (Vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4)



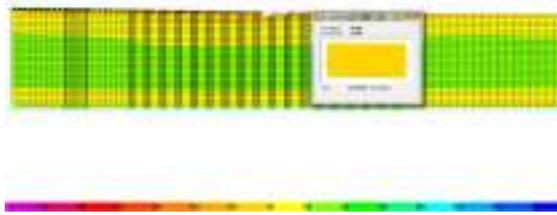
*Figura 138.* Momento crítico M11 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,35m del centroide del muro (-34,75 Ton·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (Vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4)



*Figura 139.* Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide del muro (-27,87 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (Vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4)



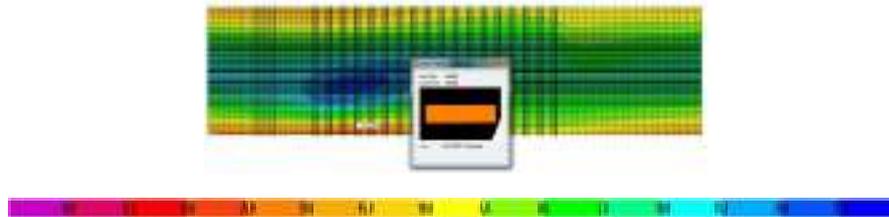
*Figura 140.* Momento crítico M11 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35m del centroide de la losa (-10,53 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



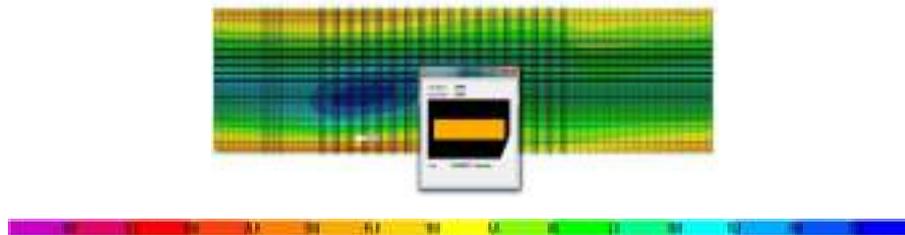
*Figura 141. Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide de la losa (-6,58 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP2000 V.14.2.4)*



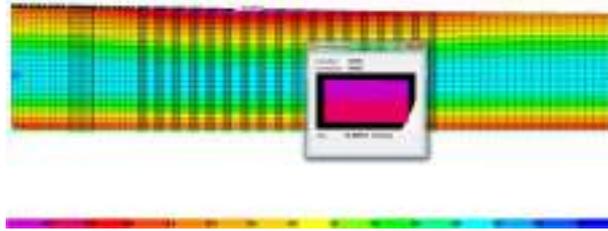
*Figura 142. Momento M22 máximo positivo (22,28 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (Vista en planta). (SAP 2000 V.14.2.4)*



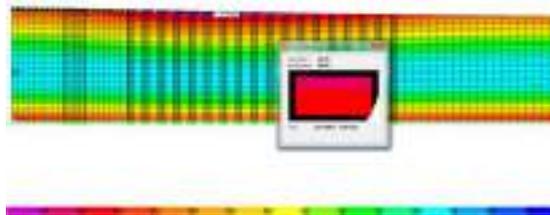
*Figura 143. Momento crítico M22 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,35m del centroide del muro (-23,21 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



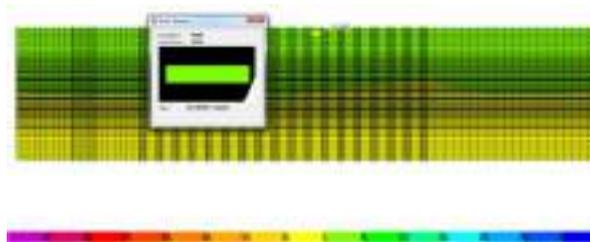
*Figura 144. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide del muro (-16,06 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (Vista en planta) (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 145. Momento crítico M22 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35m del centroide de la losa (-38,30 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 146. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,65m del centroide de la losa (-33,11 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 147. Fuerza cortante V13 máxima positiva (22,13 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 148. Fuerza cortante V23 máxima positiva (14,53 Tf/m). (SAP 2000 V.14.2.4)*

**Puente N° 4 informe FAPCO (Puente 15 según variante de vía expresa),  
fuerzas internas resistentes en la estructura**

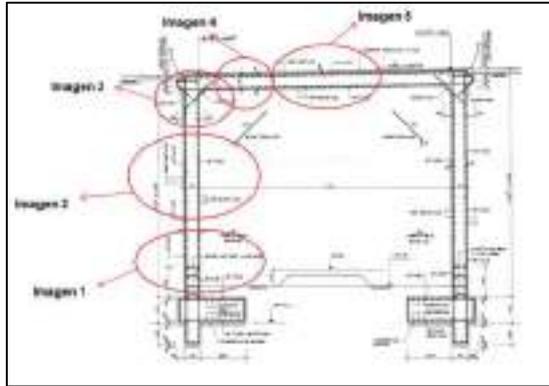


Figura 149. Refuerzo de acero en pórtico

- Acero de refuerzo en muro en el tramo cercano a la fundación

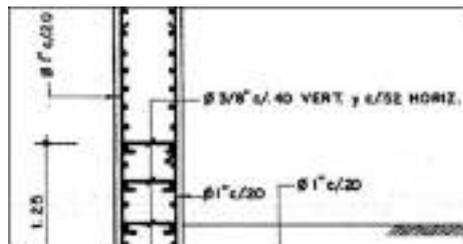


Figura 150. Imagen 1 de figura 149

El tramo detallado posee ganchos #5 cada 25 cm de forma horizontal y cada 30 cm verticalmente, para lo cual se tiene:

**Cuadro 28.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 1 de la figura 150 (Puente N° 4).**

| Fuerzas resistentes  | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|--|---|------------|
| $M_u = 1690,70 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior) | $M_u = 36,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 93,04 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)   | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 37,78 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario)  | $M_u = 10,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 53,86 \text{ Tf/m}$                                       | $V_u = 21,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Acero de refuerzo en la zona central del muro

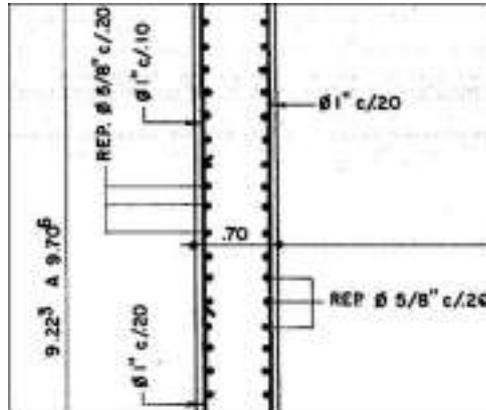


Figura 151. Imagen 2 de figura 149

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 29.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 2 de la figura 151 (Puente N° 4).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | N/A<br>(tracción exterior)                                      | OK         |
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | $M_u = 16,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | OK         |
| $M_u = 37,78 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 10,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 34,95 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 10,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Acero de refuerzo en el muro en el tramo cercano a la losa de techo

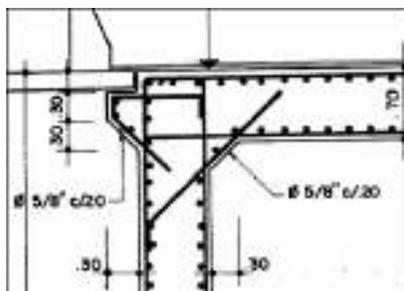


Figura 152. Imagen 3 de figura 149

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 30.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 3 de la figura 152 (Puente N° 4).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | $M_u = 37,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 37,78 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 10,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 34,97 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 13,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Acero de refuerzo en la losa en el tramo cercano al muro

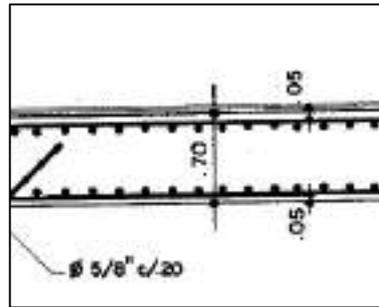


Figura 153. Imagen 4 de figura 149

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 31.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 4 de la figura 153 (Puente N° 4).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | $M_u = 39,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 37,78 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 34,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 34,97 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 19,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Acero de refuerzo en el tramo central de la losa

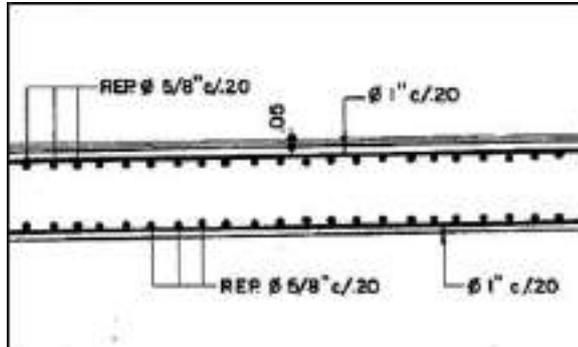


Figura 154. Imagen 5 de figura 149

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 32.**

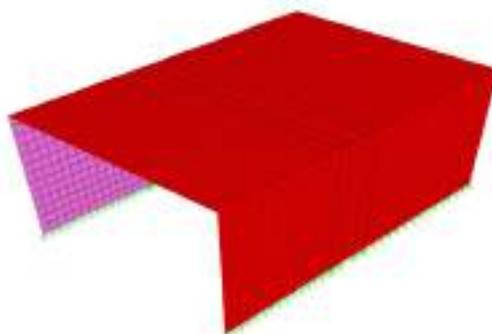
**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 5 de la figura 154 (Puente N° 4).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | N/A<br>(tracción exterior)                                      | OK         |
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | $M_u = 36,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | OK         |
| $M_u = 37,78 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 21,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 34,97 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 18,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

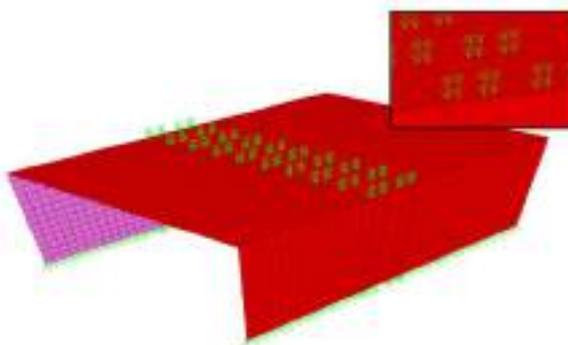
Este puente es capaz de soportar el paso por su parte superior de las cargas extrapesadas planteadas.

**Puente no reportado Informe FAPCO (PUENTE 11 según variante de vía expresa)**

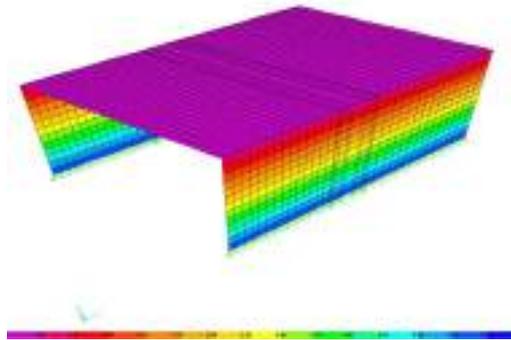
Puente tipo cajón de concreto armado, ubicado en la Av. Expresa1 – Puerto Ordaz, permite el paso vehicular por su carpeta asfáltica superior. Posee una losa de setenta centímetros (70cm) y muros de noventa centímetros (90cm) de espesor, tiene una luz de catorce metros (14,00m) y una altura de siete metros (7,00m) aproximadamente. (Ver anexo F).



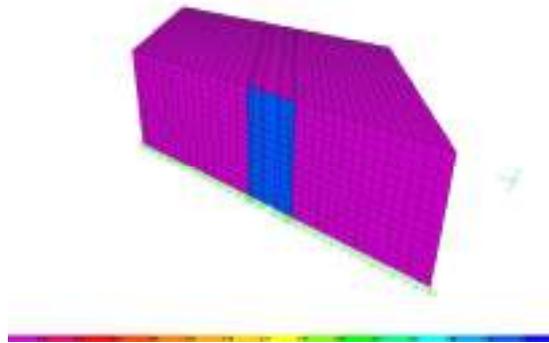
*Figura 155. Modelo tridimensional del puente N°11. (SAP 2000 V.14.2.4)*



*Figura 156. Tren de carga aplicado a la estructura, 80 ruedas con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)*

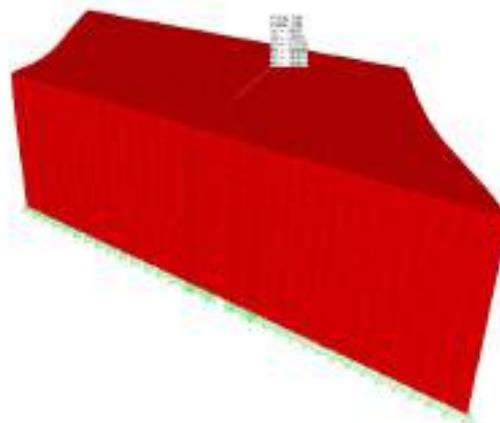


*Figura 157 .Asignación de cargas laterales debido al empuje de tierra ( $\gamma_{\text{suelo}}=1850\text{Kg/m}$ ). (SAP 2000 V.14.2.4)*

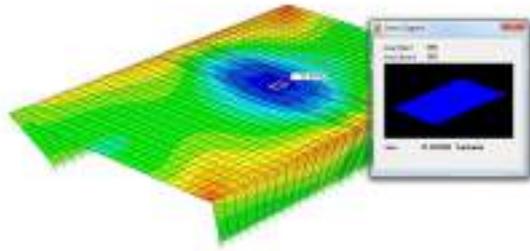


*Figura 158. Asignación de carga lateral debido a sobrecarga del eje (4,58 Tf/m) (SAP 2000 V.14.2.4)*

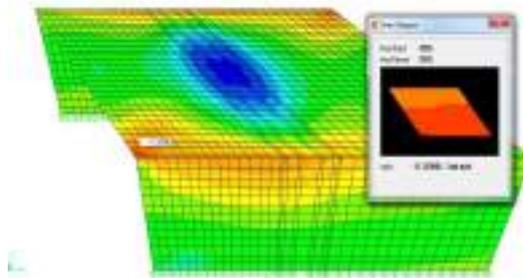
**Puente no reportado en informe FAPCO (Puente 11 según variante de vía expresa), fuerzas internas actuantes en la estructura**



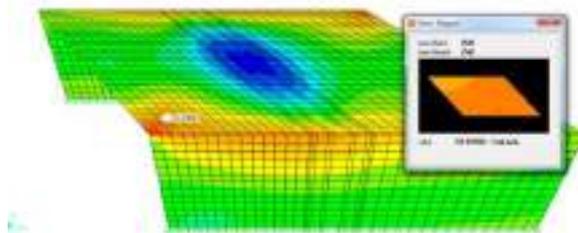
*Figura 159. Máxima deflexión vertical U3 (0,357cm). (SAP 2000 V.14.2.4)*



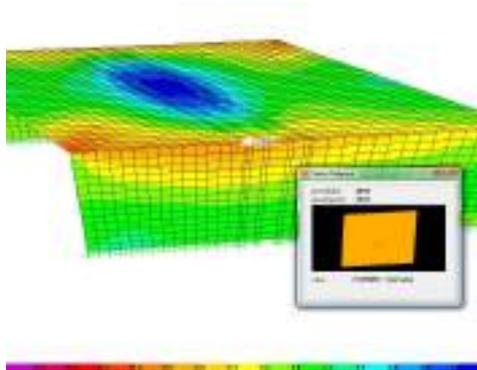
**Figura 160.** Momento M11 máximo positivo (11,81 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



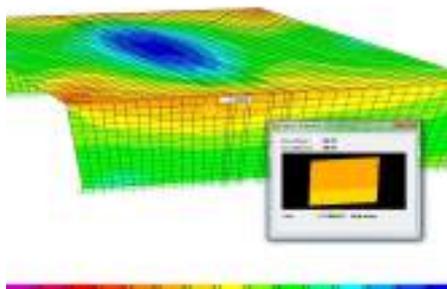
**Figura 161.** Momento crítico M11 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,45m del centroide del muro (-11,37 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



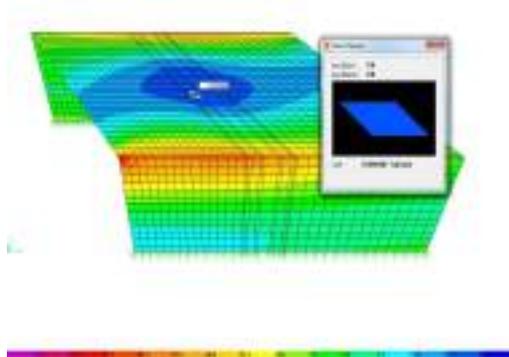
**Figura 162.** Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,82m del centroide del muro (-10,37 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



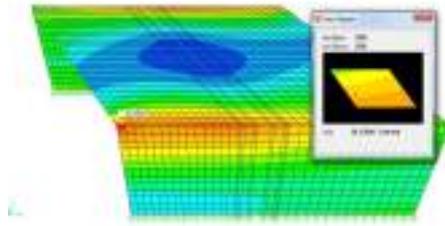
**Figura 163.** Momento crítico M11 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35m del centroide de la losa (-7,63 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



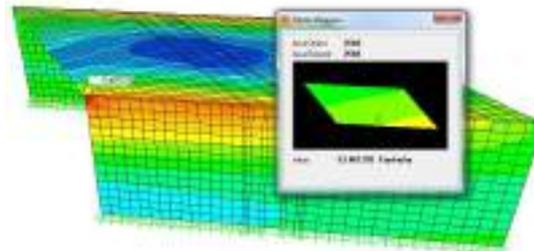
**Figura 164.** Momento crítico M11 al final del chaflán, aproximadamente a 0,67m del centroide de la losa (-7,15 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



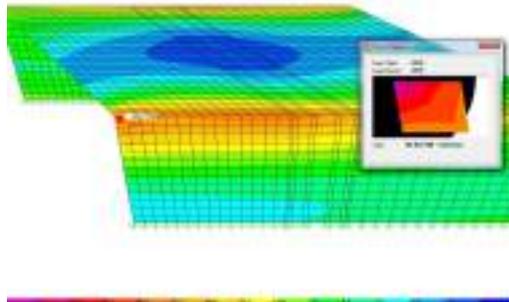
**Figura 165.** Momento M22 máximo positivo (29,09 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



**Figura 16613.** Momento crítico M22 en la cara interna del muro, aproximadamente a 0,45m del centroide del muro (-28,27 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



**Figura 167.** Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,82m del centroide del muro (-13,46 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)



**Figura 168.** Momento crítico M22 en la cara inferior de la losa, aproximadamente a 0,35m del centroide de la losa (-45,67 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)

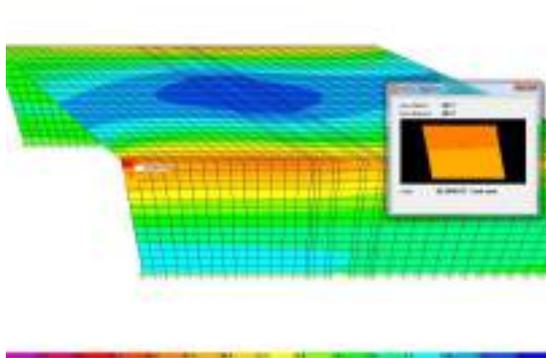


Figura 169. Momento crítico M22 al final del chaflán, aproximadamente a 0,72m del centroide de la losa (-38,08 Tf·m/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)

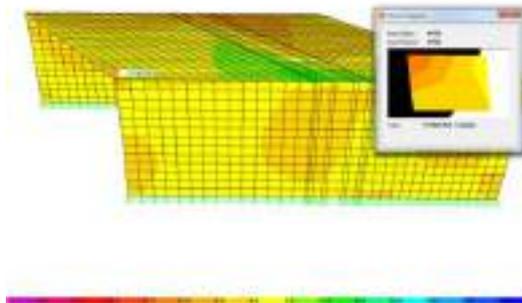


Figura 170. Fuerza cortante V13 máxima negativa (-17,85 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)

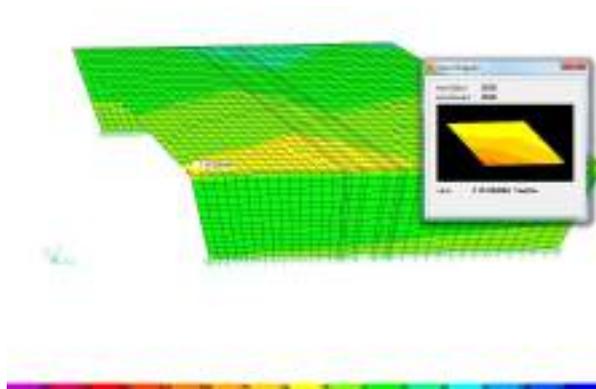


Figura 171. Fuerza cortante V23 máxima negativa (-115,55 Tf/m), combinación GRUPO1\_PC. (SAP 2000 V.14.2.4)

**Puente no reportado en informe FAPCO (Puente 11 según variante de vía expresa), fuerzas internas resistentes en la estructura**

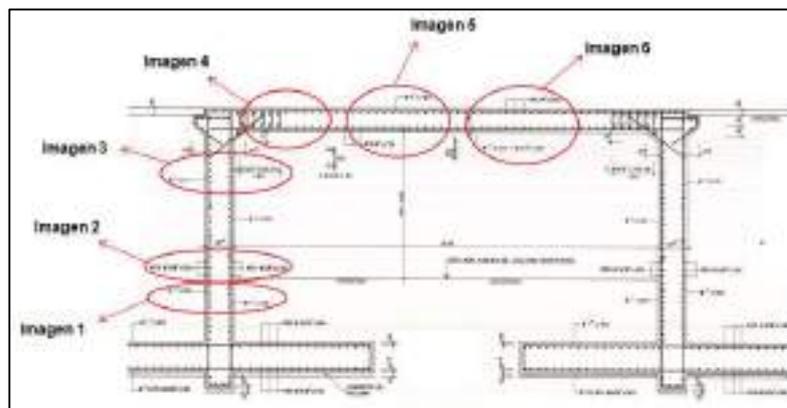


Figura 17215. Detalle de acero de refuerzo en pórtico

- Acero de refuerzo en el muro en tramo cercano a la fundación

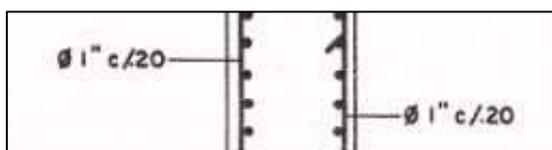


Figura 173. Imagen 1 de figura 172

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 33.**  
**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la Imagen 1 de la figura 173 (Puente N° 11).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes  | Comentario |
|---|--|------------|
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | $M_u = 14,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior) | OK         |
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | N/A<br>(tracción interior)                                     | OK         |
| $M_u = 31,75 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 3,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 45,70 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 12,99 \text{ Tf/m}$                                     | OK         |

- Acero de refuerzo en el muro en tramo central

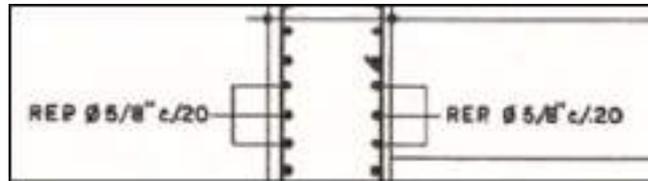


Figura 17416. Imagen 2 de figura 172

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 34.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 2 de la figura 174m (Puente N° 11).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | N/A<br>(tracción exterior)                                      | OK         |
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | $M_u = 17,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | OK         |
| $M_u = 31,75 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 10,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 45,70 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 33,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Muro en tramo cercano a la losa de techo

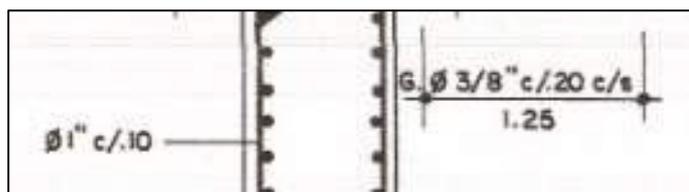


Figura 175. Imagen 3 de figura 172

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 35.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 3 de la figura 175 (Puente N° 11).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | $M_u = 70,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 78,41 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior)  | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 31,75 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 10,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 45,70 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 23,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Losa de techo en tramo cercano al muro.

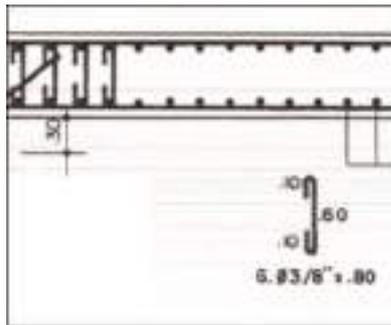


Figura 176. Imagen 4 de figura 172

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 36.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 4 de la figura 176 (Puente N° 11).**

| Fuerzas resistentes   | Fuerzas actuantes   | Comentario |
|---|---|------------|
| $M_u = 78,08 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | $M_u = 72,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción exterior)  | OK         |
| $M_u = 121,40 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(tracción interior) | N/A<br>(tracción interior)                                      | OK         |
| $M_u = 31,75 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 12,99 \text{ Tf}\cdot\text{m/m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 90,22 \text{ Tf/m}$                                      | $V_u = 43,99 \text{ Tf/m}$                                      | OK         |

- Acero de refuerzo en losa de techo en tramo central.

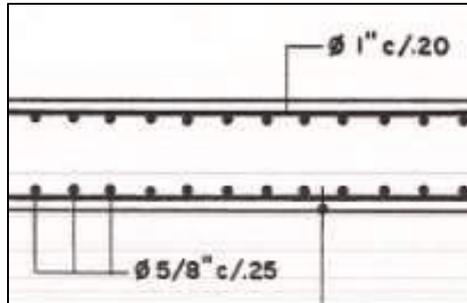


Figura 177. Imagen 5 de figura 172

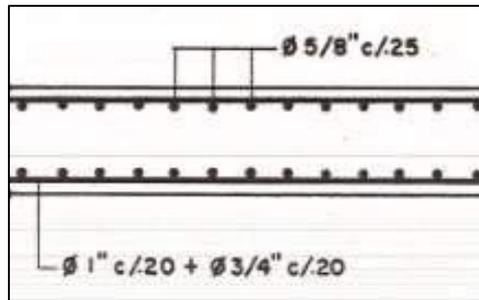


Figura 178. Imagen 6 de figura 172

Para la distribución de refuerzo mostrada se tiene:

**Cuadro 37.**

**Comparación de fuerzas actuantes y resistentes en la imagen 5 y 6 de la figura 177 y 178 (Puente N° 11).**

| Fuerzas resistentes  | Fuerzas actuantes  | Comentario |
|--|--|------------|
| $M_u = 78,08 \text{ Tf}\cdot\text{m}/\text{m}$<br>(tracción exterior)  | N/A<br>(tracción superior)   | OK         |
| $M_u = 121,40 \text{ Tf}\cdot\text{m}/\text{m}$<br>(tracción interior) | $M_u = 29,99 \text{ Tf}\cdot\text{m}/\text{m}$<br>(tracción interior)  | OK         |
| $M_u = 31,75 \text{ Tf}\cdot\text{m}/\text{m}$<br>(momento secundario) | $M_u = 12,99 \text{ Tf}\cdot\text{m}/\text{m}$<br>(momento secundario) | OK         |
| $V_u = 45,70 \text{ Tf}/\text{m}$                                      | $V_u = 23,99 \text{ Tf}/\text{m}$                                      | OK         |

Este puente es capaz de soportar el paso por su parte superior de las cagas extrapesadas planteadas.

## Puente 7 en informe FAPCO (Progresiva 73+200)

Puente ubicado en la carretera Vía Ciudad Piar, tiene 78,8 metros de longitud, con cuatro tramos de 21 metros cada uno, tres pilas centrales y dos estribos. Se caracteriza por poseer una losa apoyada en 5 vigas metálicas, separadas a 1,70 metros y 1,81 metros, donde las tres vigas centrales están reforzadas. (Ver anexo E)

En un análisis previo realizado por Arcoing, se evaluó ésta estructura considerando el traslado de una carga de 396 Tf con un tráiler diferente. El resultado del análisis mencionado de dicha estructura concluyó que no está en condiciones de soportar las solicitaciones asignadas y se recomendó el cambio de ruta al momento de trasladar la carga extrapesada.

Se procederá de nuevo a verificar la competencia de soportar el tránsito de las cargas con un nuevo sistema de transporte o tráiler. Se evaluó el puente, pero para la carga de 303 toneladas de peso con el nuevo tráiler, dicha carga corresponde al bastidor que será trasladado a la Siderúrgica. Se obtuvieron valores de relación de esfuerzo que indican que el puente presenta fallas para las solicitaciones asignadas.

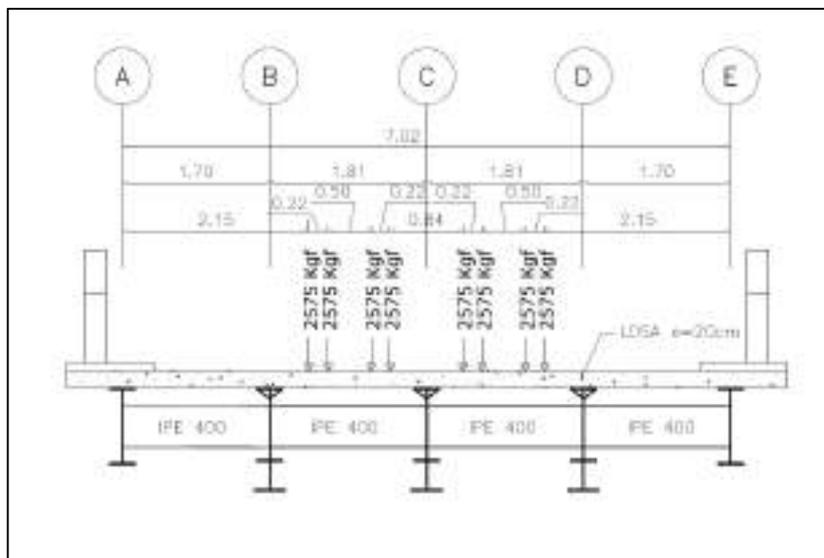


Figura 179. Sección transversal del puente

## Chequeo de Corte en la Losa del Puente

El corte actuando en la losa bajo las premisas:

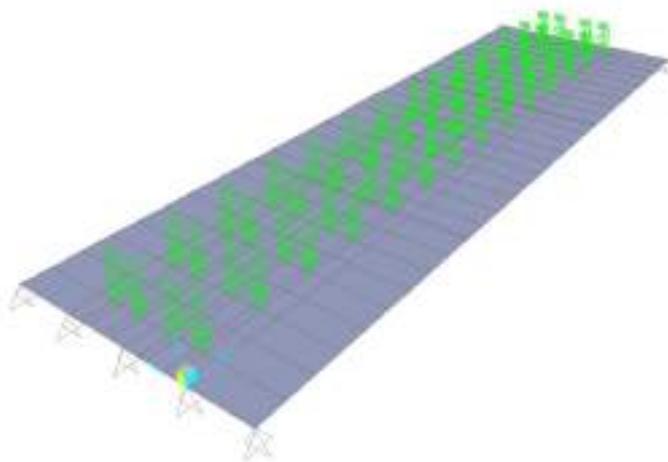
- El corte se distribuye en un patrón de 45°
- La huella de la rueda es de 30cm
- Los patrones de esfuerzos de las ruedas pueden estar una sobre otra y deben sumarse.
- La sección crítica está sobre el ala a 10 cm del centroide de la viga central.

La expresión del corte por unidad de área se vería expresado como:

$$v_c = \left( \frac{2575 \cdot \text{kgf}}{30 \cdot \text{cm} + 2 \cdot 32 \cdot \text{cm}} + \frac{2575 \cdot \text{kgf}}{30 \cdot \text{cm} + 2 \cdot 54 \cdot \text{cm}} \right) \cdot \frac{1}{15 \cdot \text{cm}} = 3,07 \cdot \text{kgf} / \text{cm}^2$$

*Ecuación 16. Chequeo de Corte en Losa.*

Este esfuerzo de corte es mucho menor que el admisible del concreto.



**Figura 180. Tren de carga aplicado a la estructura, 112 ruedas con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)**

## Puente 7 en informe FAPCO (Progresiva 73+200), verificación de las fuerzas



Figura 18117. Chequeo de vigas de Puente 7. (SAP 2000 V.14.2.4)

Debido a la sección compuesta de las 3 vigas centrales del puente, no puede hacerse un refuerzo con ángulos, como es el caso del último puente descrito en este informe. El refuerzo puede tener un comportamiento no adecuado en las vigas por la configuración actual del ala superior, por lo que se propone el uso de andamios como se explica más adelante.

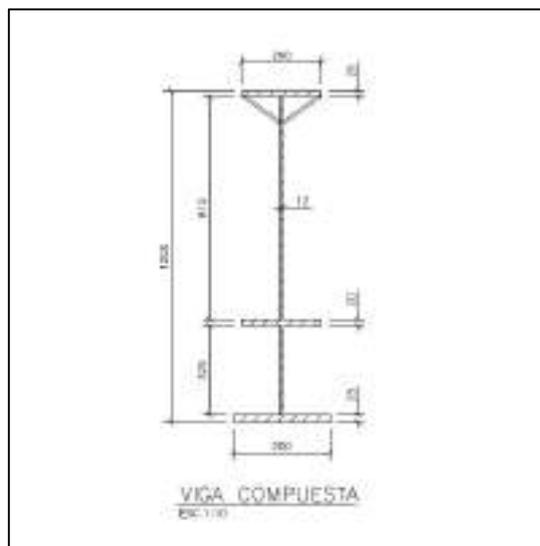


Figura 182. Viga compuesta. Unidades: mm.

## Descripción del modelo del puente reforzado con andamios

El andamio 20k<sup>®</sup> usado para esta solución fue una solicitud expresa de Andrade Gutiérrez. Para cumplir con dicha solicitud, fue necesario simular la acción de carga viva del tráiler sobre resortes ubicados a cada tercio del tramo del puente, asignando un módulo de rigidez de 3000 Kgf/cm, valor asumido luego de realizar varios tanteos. De este análisis se obtuvo una deformación máxima de 65 mm en la viga central del puente y las diferentes reacciones en los 5 resortes asignados a las vigas.

Posteriormente, se modelaron los diferentes andamios usados en cada una de las vigas según las características expuestas en el catálogo de marcos de acero de 20K<sup>®</sup>. Adicionalmente, se le asignó a los andamios un sistema que permitiera distribuir las cargas obtenidas en el análisis anterior, utilizando elementos rígidos de acero tipo WF 8x21 como primera alternativa y como segunda prueba, perfiles WF 6x12.

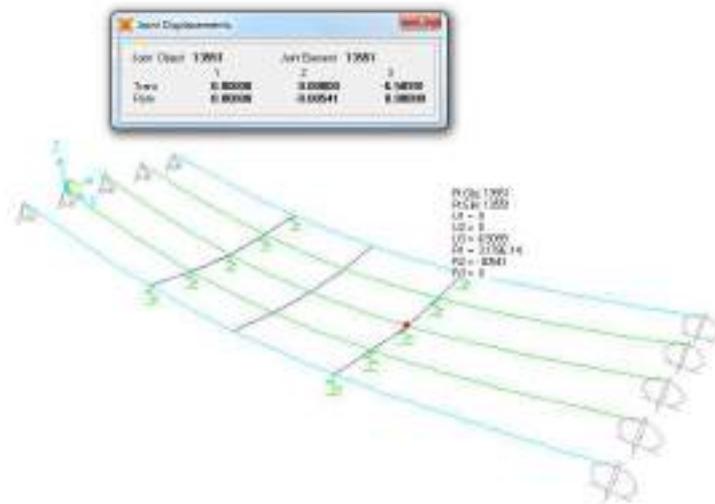


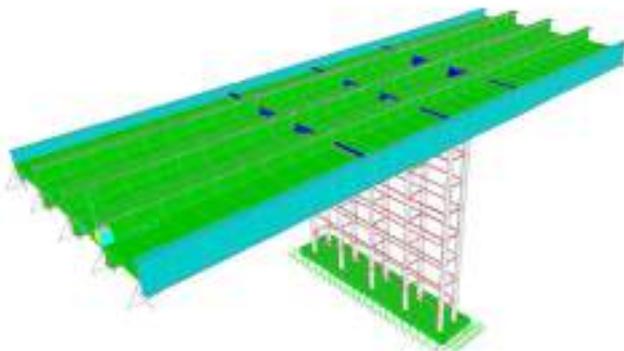
Figura 183. Deflexión máxima en los resortes (65mm). (SAP 2000 V.14.2.4)



El desplazamiento máximo obtenido en los andamios luego de asignarles las cargas generadas por el paso del tráiler fue de 6,5 mm, por lo que se dice que no es compatible con el desplazamiento de 65 mm obtenido en el puente. Al no ser compatibles, se dice que los modelos correspondientes a los andamios no reflejan el comportamiento real del puente por lo que ésta solución no puede ser aceptada. Adicionalmente, los elementos de transición usados en el sistema de distribución de cargas de los andamios no cumplen con las deformaciones de esfuerzo del puente.

### **Descripción del modelo del puente reforzado con puntales.**

Para permitir el paso de la carga extrapesada sobre la estructura, es necesario implementar un refuerzo mediante el uso de puntales en cada una de las vigas. Estos constan de tubos Conduven de 8-5/8 pulgadas de diámetro y 8 metros de alto, así como de arriostramientos laterales de tubos Conduven de 2 pulgadas de diámetro. Con el uso de esta estructura el puente se comporta de manera adecuada, sin presentar fallas o inconvenientes mayores. Los tubos Conduven son apoyados en una losa de fundación de 8m x 1,5m y 30 cm de espesor. Considerando que no se posee información sobre la topografía del sitio, se asumió un valor del módulo de balasto de 2,2 Kgf/cm<sup>3</sup>, para los resortes de cimentación usados en la losa.



*Figura 187. Refuerzo del puente con puntales. (SAP 2000 V.14.2.4)*

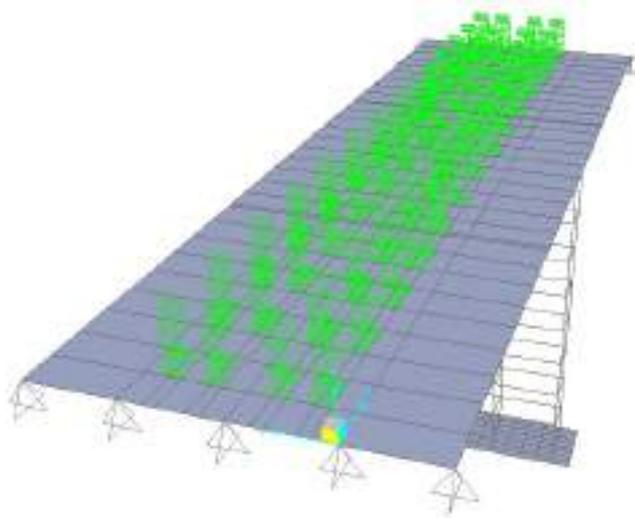


Figura 188. Tren de carga aplicado a la estructura, 112 ruedas con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)

Para determinar el esfuerzo del suelo se evaluó la sección de la losa que presenta mayor desplazamiento, obteniéndose la sumatoria de las reacciones máximas en las juntas para dividirlo entre el área tributaria correspondiente, como se muestra a continuación:

$$\text{Esfuerzo del suelo} = \frac{\Sigma \text{Reacciones en juntas}}{\text{Area tributaria}} = \frac{27001,11 \text{ Kgf}}{10860 \text{ cm}^2} = 2,48 \text{ Kgf/cm}^2$$

Ecuación 17. Esfuerzo del Suelo.

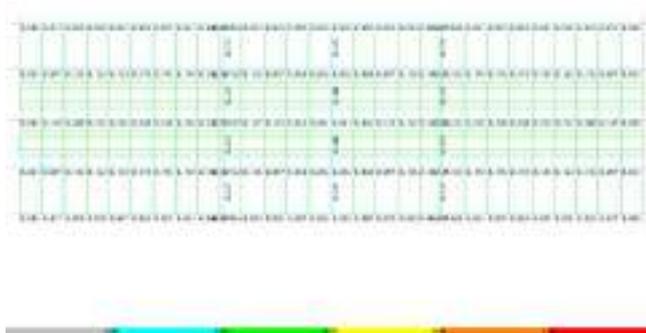


Figura 189. Chequeo de vigas en el tablero del puente. (SAP 2000 V.14.2.4)



Figura 190. *Chequeo de acero en andamios. (SAP 2000 V.14.2.4)*

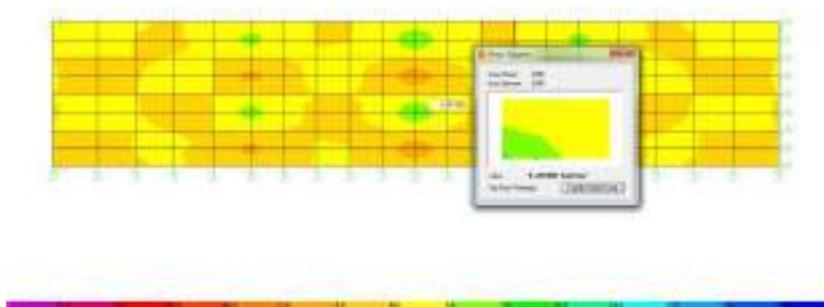


Figura 191. *Esfuerzo S13 en la losa de fundación (5,34 Kg/cm<sup>2</sup>). (SAP 2000 V.14.2.4)*

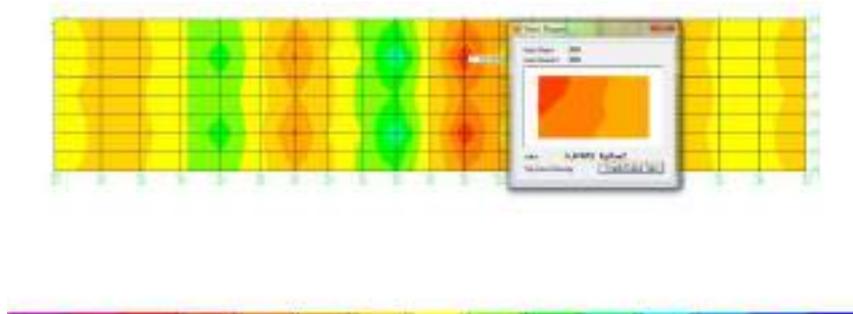


Figura 192. *Esfuerzo S23 de la losa de fundación (-5,47 Kg/cm<sup>2</sup>). (SAP2000 V.14.2.4)*

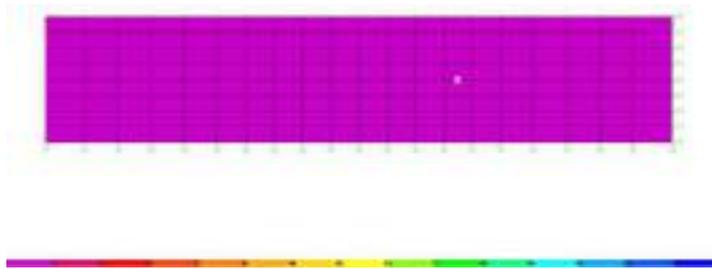


Figura 193. Acero de refuerzo Ast1 (dirección vertical) en la cara superior de la losa de fundación. (SAP 2000 V.14.2.4)

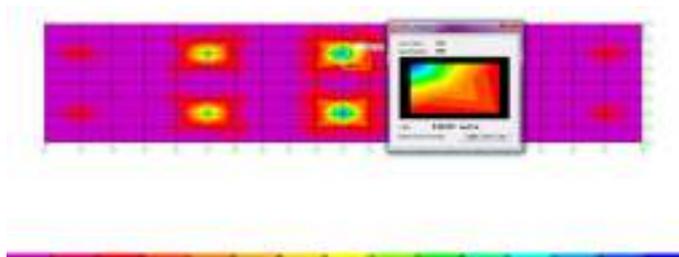


Figura 194. Acero de refuerzo Ast1 (dirección vertical) en la cara inferior de la losa de fundación (0,083 cm<sup>2</sup>/cm). (SAP 2000 V.14.2.4)

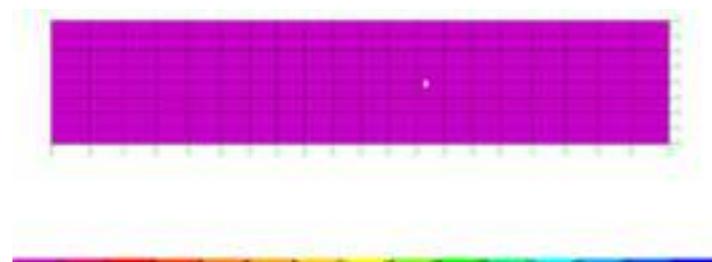


Figura 195. Acero de refuerzo Ast2 (dirección horizontal) en la cara superior de la losa de fundación. (SAP 2000 V.14.2.4)

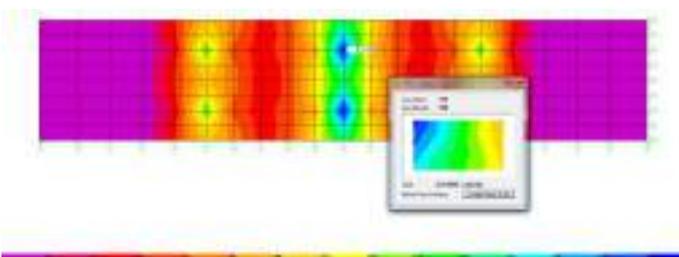


Figura 196. Acero de refuerzo Ast2 (dirección horizontal) en la cara inferior de la losa de fundación (0,21 cm<sup>2</sup>/cm). (SAP 2000 V.14.2.4)

## **Estudio de Factibilidad (Puente 7)**

## Puente 11 en informe FAPCO (Progresiva 80+100)

Puente de veintiún metros (21m) de longitud, ubicado en la carretera Vía Ciudad Piar, construido para permitir el paso sobre un cauce de agua, posee un tramo continuo de cinco vigas tipo I, donde las vigas exteriores tienen una altura de noventa centímetros (90cm) y un ancho de treinta centímetros (30cm) y las tres vigas interiores una altura de noventa centímetros (90 cm) y cuarenta centímetros (40 cm) de ancho. (Ver anexo F)

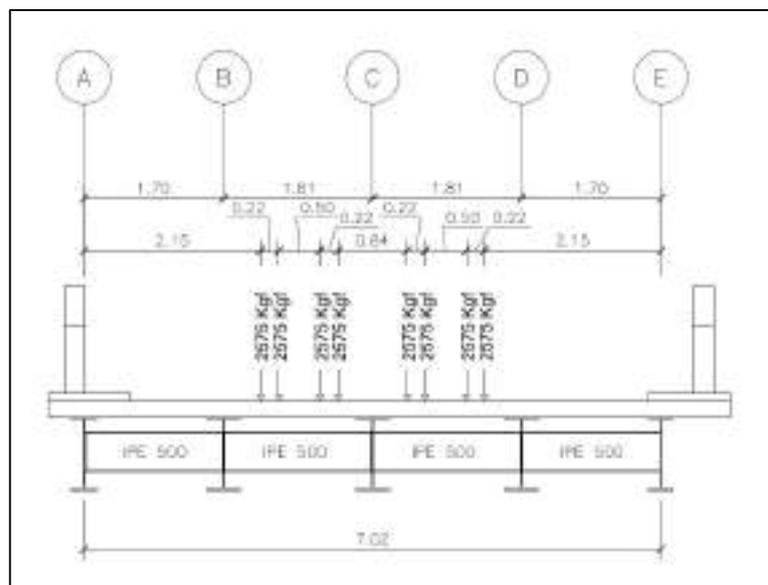


Figura 197. Sección transversal de la estructura sin reforzar

Chequeo de corte en la losa del puente

El corte actuando en la losa bajo las premisas:

- El corte se distribuye en un patrón de 45°.
- La huella de la rueda es de 30cm.
- Los patrones de esfuerzos de las ruedas pueden estar una sobre otra y deben de sumarse.
- La sección crítica esta sobre el ala a 10 cm del centroide de la viga central.

La expresión del corte por unidad de área se vería expresado como:

$$v_c = \left( \frac{2575 \cdot \text{kgf}}{30 \cdot \text{cm} + 2 \cdot 32 \cdot \text{cm}} + \frac{2575 \cdot \text{kgf}}{30 \cdot \text{cm} + 2 \cdot 54 \cdot \text{cm}} \right) \cdot \frac{1}{15 \cdot \text{cm}} = 3,07 \cdot \text{kgf} / \text{cm}^2$$

**Ecuación 18. Chequeo de Corte.**

Este esfuerzo de corte es mucho menor que el admisible del concreto.



**Figura 198. Chequeo de vigas del puente sin reforzar. (SAP 2000 V.14.2.4)**

### **Descripción del refuerzo del puente con ángulos de 120x120x12mm**

En el informe realizado por Arcoing, se propone el refuerzo del puente con 4 ángulos de 120x120x12mm en cada una de sus vigas, para poder así, permitir el traslado de equipos pesados desde el Puerto de Palúa hasta las instalaciones de la siderúrgica. En esta oportunidad, fue analizado el comportamiento de la estructura con los refuerzos descritos anteriormente, y bajo la influencia del paso del equipo de transporte evaluado en el presente informe, dando como resultado que es posible el paso de la sobrecarga sin presentar riesgo de fallas.

Con el propósito de optimizar el refuerzo se realizó un análisis de la estructura con ángulos de 100x100x10mm y la misma disposición de cargas y, aunque el resultado fue satisfactorio, el coeficiente de uso se consideró muy

elevado, por lo que se decidió descartar esta propuesta. Indicando sólo los resultados obtenidos para el refuerzo con ángulos de 120x120x12mm.

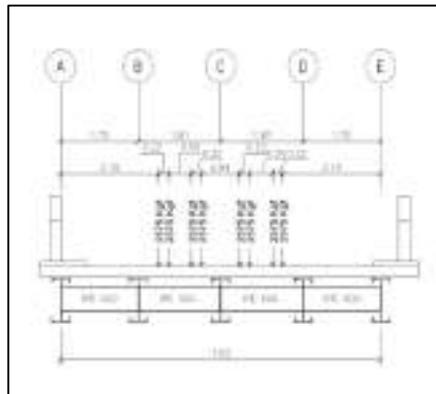


Figura 199. Sección transversal con refuerzo y cargas aplicadas

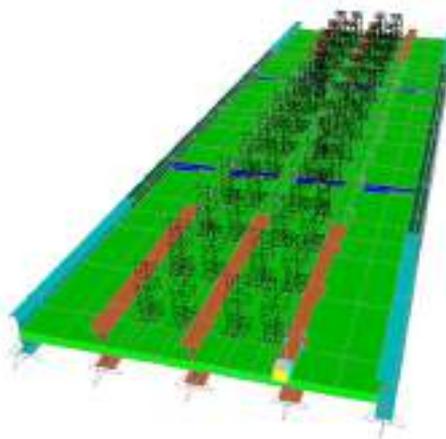


Figura 200. Tren de carga aplicado a la estructura, 80 ruedas con cargas de 2,575 Tf/rueda. (SAP 2000 V.14.2.4)



Figura 201. Chequeo de vigas (Refuerzo 112x112x12 mm). (SAP 2000 V.14.2.4)

## **Estudio de Factibilidad (Puente 8)**

## CONCLUSIONES.

Después de realizar y cumplir todos los objetivos específicos planteados para poder llegar a satisfacer y dar solución a la problemática presentada y reflejada en el objetivo general y fundamental de este trabajo, y después de constatar físicamente, visualmente y en situ, las características y condiciones actuales a la hora del paso del nuevo tren de carga, de todas las estructuras existentes en la ruta, llámese puentes, cajones de pasos, tendidos de alta y baja tensión, etc., se concluye que, todos los cajones de paso y puentes de concreto incluidos en este estudio son capaces de permitir el paso por su nivel superior de rodamiento, del nuevo tren de carga extrapesada.

En algunos casos, y debido a la data de ejecución de dichos puentes, al uso de los mismo se obtuvieron valores de fuerzas actuantes cercanas a los valores de las fuerzas resistentes de las estructuras, sin embargo, dichos valores son aceptados, ya que las cargas analizadas poseen factores de mayoración, aun cuando el vehículo de transporte al momento de pasar sobre las estructuras lo hará solo y con velocidad constante.

El puente de vigas de acero de la progresiva 73+200 (Puente 7), no es capaz de soportar el paso de las cargas extrapesadas por encima de él, sin tomar medidas necesarias que hagan posible dicha circulación de cargas. El puente de vigas de acero de la progresiva 73+200 no se recomienda reforzarse por la configuración impuesta a sus vigas de acero después de su reciente refuerzo (no se tuvo con exactitud la fecha de dicho refuerzo ya que en los planos del mismo solo aparece la fecha de dibujado de la geometría mas no la fecha de la ejecución de los trabajos).

El sistema de andamios 20K<sup>®</sup>, propuesto por AG (La empresa que solicito el estudio) para el puente de vigas de acero de la progresiva 73+200 no se debe

de utilizar. Se estudió y se propone un sistema de apuntalamiento que cumple con los requerimientos demostrados en los cálculos presente en esta investigación, además también se presentó el costo y factibilidad del mismo para que la empresa contratante evaluara su ejecución, esta mejora o propuesta se especifica en los planos presentados en el anexo H, de esta investigación.

El puente de vigas de acero de la progresiva 80+100 (Puente 8), no es capaz de soportar el paso de las cargas extrapesadas por encima de él sin tomar las medidas necesarias para que las mismas pasen. El puente de vigas de acero de la progresiva 80+100, debe reforzarse con angulares L 120x120x12 mm con la configuración descrita en los planos presentados, antes de que por él pase el nuevo tren de cargas extrapesadas, así poder cumplir con la trayectoria sin ningún riesgo de colapso de algún tramo de este puente.

Es importante no pasar por alto a la hora de realizar una obra de menor o mayor envergadura, sea esta, de interés público nacional o privada, que hay ciertos aspectos estructurales que se toman en cuenta al realizar un proyecto, sobre todo cuando en estos se incluyen estructuras existentes.

Se deberá conocer las características físicas y de diseño de esas estructuras y el uso para la cual fueron diseñadas y para la cual se usan; mencionado esto y para el proyecto o investigación que nos compete y la cual se basara este desarrollo se presentaran las siguientes recomendaciones:

Primero, para el ejecutor de estos trabajos de estudio de ruta siempre será primordial el levantar la ruta en sí, para conocer las condiciones y situación actual de la misma y proyectar las posibles trabas o problemas que se pudieran presentar a la hora de realizar el traslado.

Segundo, se deberá conocer y estudiar las condiciones de diseño y vida útil proyectada de las estructuras existentes en la ruta.

Si por cuestiones de tiempo, dinero o cambio de planes en la manera de operar o por cambio del equipo de transporte, se deberá realizar nuevamente este estudio incluyendo las características físicas del nuevo transporte, y así conocer su incidencia en la cargas de servicio del nuevo tren de carga para realizar el estudio.

Es importante recordar que esta investigación se hizo el año pasado, por consiguiente se tiene que realizar un nuevo estudio económico (estructura de costos), actualizado a la fecha de realizar el traslado y así constatar la factibilidad del mismo.

De ser necesario y si las cargas de los equipos y piezas varían en el futuro, o sea, sean mayores a las utilizadas al realizar este estudio, deberá repetirse y realizar un nuevo análisis siempre siguiendo un estudio similar a este.

## REFERENCIAS

Franco, Y (2011). Tesis de Investigación. Marco Metodológico. Venezuela

Disponible:<http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/marco-metodologico.html>

Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” (2015). *Manual para la elaboración del trabajo de grado*. Puerto Ordaz: Departamento de Investigación y Postgrado, y de Prácticas Profesionales y Seguimiento del Egresado.

Muñoz, E (2015). Bogotá D.C. Colombia

Disponible:<http://C:/Users/usuario/Downloads/LopezLaraMateo2015.pdf>

Puerta, H (2011). Metodología de la Investigación.

Disponible:<http://tecnologiasenlaead.blogspot.com/2011/04/el-diseno-de-investigacion-y-los.html>

Arcoing, C.A. (2016). *Análisis Estructural de los Puentes en la Ruta de Carga Extrapesada Puerto Palúa – Siderúrgica Nacional José Inácio de Abreu e Lima*. Puerto Ordaz: Departamento de Ingeniería.

Corporación Ecex, C.A. (2014). *Estudio de Ruta para Proyecto en Siderúrgica Nacional José Inácio de Abreu e Lima*. Caracas: Departamento de Ingeniería.

Fratelli, M (1993). *Suelos, Fundaciones y Muros*. Caracas, Venezuela.

Fratelli, M (1999). *Diseño Estructural en Concreto Armado*. Caracas, Venezuela.

Sociedad Venezolana de Ingenieros Civiles. SOVINCIV (2003). *Manual de Inspección y Residencias de Obras*. [Documento en línea]. Disponible: <http://sigafeca.com/pdf/doc1.pdf>

C.S.I Sistema, Sap2000 V16 (2016). Ingeniería de Software [Programa de computación]. Disponible: <https://freeinstal.blogspot.com/2016/05/blog-post.html>

## **Anexo A**



Inicio de Ruta-Salida Puerto Palua



Pasarela 171 - Paso Peatonal



Puente 1 (Informe Fapco 9-Prog.3+900 )



Puente 1 (Informe Fapco 9-Prog.3+900)



Puente 1 (Informe Fapco 9-Prog.3+900)

## **Anexo B**



Puente 2 (Informe Fapco 16-Prog.4+000)



Puente 2 (Informe Fapco 16-Prog.4+000)



Puente 2 (Informe Fapco 16-Prog.4+000)

## **Anexo B1**



Puente Angosturita (Informe Fapco 3-Prog.5+600)



Diferentes Pasos en la Vialidad

## **Anexo C**



Puente 3 (Informe Fapco 18-Prog.9+042)



Puente 3 (Informe Fapco 18-Prog.9+042)



Puente 3 (Informe Fapco 18-Prog.9+042)

## **Anexo D**



Puente 4 (Informe Fapco 15-Prog.9+100)



Puente 4 (Informe Fapco 15-Prog.9+100)



Puente 4 (Informe Fapco 15-Prog.9+100)



Puente 4 (Informe Fapco 15-Prog.9+100)

## **Anexo E**



Puente 7 (Informe Fapco S/N-Prog.73+200)



Puente 7 (Informe Fapco S/N-Prog.73+200)

## **Anexo F**



Puente 8 (Informe Fapco 11-Prog.80+100)



Puente 8 (Informe Fapco 11-Prog.80+100)



Puente 8 (Informe Fapco 11-Prog.80+100)