



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



**MUROS DE CONTENCIÓN ECO- AMBIENTALES CON  
GAVIONES A BASE DE BOTELLAS RECICLABLES PET – PUNO**

**2020**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JHOSELY LISS CONDORI URURI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*A mis padres Arturo Efraín Condori Condori y Olga Ururi Aruhuanca, como agradecimiento de todo el esfuerzo que han hecho por darme un hogar, una educación y sobre todo el amor infinito e incondicional que me transmiten, eso me reconforta en cada paso que doy en mi vida, son mi mayor motivación para ser la mejor versión de mí.*

*A mis hermanas Marely y Adely, quienes son mis cómplices de infinitas anécdotas y alegran mis días.*

*A mi tía abuela Rosa Maria Condori Anahua (QEPD), porque fue bondadosa y un soporte fundamental en mi formación personal y académica.*

*A mis familiares y amistades, por su grata compañía.*



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por darme la capacidad y oportunidad de obtener el grado de ingeniero civil.*

*A mi familia y amistades, quienes me acompañaron y apoyaron en el desarrollo de la tesis y sobre todo me alentaron a su culminación.*

*Expreso mi agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano, alma mater de mi formación profesional, que me dio tantas enseñanzas, alegrías, oportunidades de estudio y amistades. A todos los docentes de la escuela profesional de ingeniería civil, en especial, a mis asesores M.Sc. Tania Zapata Coacalla y M.Sc. Emilio Castillo Aroni. por su apoyo, conocimientos y acertadas asesorías, y a los jurados, Dr. Cesar Edwin Guerra Ramos, ing. Jose Luis Cutipa Arapa e ing. Gleny Zoila De La Riva Tapia, por su tiempo y acertadas orientaciones.*

*A la Pontificia universidad Católica del Perú por aceptarme como alumna de intercambio de la RPU, en especial al Phd. Alexis Dueñas Dávila quien fue mi asesor de tesis en esta casa de estudios, por su guía y acompañamiento en el desarrollo de la presente tesis, al Ing. Juan Carlos Salas Carranza jefe de laboratorio de Mecánica de Rocas, por su apoyo en la ejecución de los ensayos de laboratorio.*



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRONIMOS**

**RESUMEN ..... 20**

**ABSTRACT..... 21**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 22

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 23

1.2.1 Problema general ..... 23

1.2.2 Problemas específicos ..... 23

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO ..... 23

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 24

1.4.1 Objetivo general..... 24

1.4.2 Objetivos específicos ..... 24

1.5. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 25

1.5.1 Hipótesis general..... 25

1.5.2 Hipótesis específicas ..... 25

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 26



|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.2.   | CLIMA, GEOGRAFÍA, POBLACIÓN Y RIESGOS DE DESASTRES   |    |
|        | NATURALES DEL PERÚ .....   | 31 |
| 2.2.1  | Clima del Perú .....   | 32 |
| 2.2.2  | Geografía del Perú .....   | 33 |
| 2.2.3  | Población en el Perú .....   | 34 |
| 2.2.4  | Riesgos de desastres naturales .....   | 35 |
| 2.2.5  | Fenómenos naturales.....   | 38 |
| 2.3.   | MUROS DE CONTENCIÓN DE GAVIONES Y SU DISEÑO GEOTÉCNICO   |    |
|        | .....  | 39 |
| 2.3.1  | Definición de muros de contención de taludes .....   | 39 |
| 2.3.2  | Muros de gravedad con gaviones.....  | 41 |
| 2.3.3  | Tipos de gaviones según su configuración .....   | 43 |
| 2.3.4  | Composición del gavión .....   | 45 |
| 2.3.5  | Esquemas de armado de las estructuras de gaviones .....  | 51 |
| 2.3.6  | Peso unitario de las estructuras de gaviones .....   | 52 |
| 2.3.7  | Coeficiente de fricción entre suelo y estructura de gavión.....                                | 53 |
| 2.3.8  | Fuerzas que actúan sobre el muro de contención de gavión.....                                  | 54 |
| 2.3.9  | Estabilidad del muro de contención de gaviones .....   | 62 |
| 2.3.10 | Estabilidad en muros de contención de gaviones mediante el uso del software GAWACWIN GSC ..... | 76 |
| 2.4.   | BOTELLAS DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET) .....  | 79 |
| 2.4.1  | Definición e historia del polietileno tereftalato PET .....                                    | 80 |
| 2.4.2  | Obtención de botellas PET .....  | 82 |
| 2.4.3  | Propiedades de las botellas PET .....  | 84 |
| 2.4.4  | Especificaciones técnicas de las botellas PET .....  | 86 |



|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 2.4.5 | Reciclado de las botellas PET..... | 89 |
|-------|------------------------------------|----|

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 3.1.   | INTRODUCCIÓN .....  | 93  |
| 3.2.   | MATERIALES .....  | 93  |
| 3.2.1  | Geobotellas .....   | 93  |
| 3.2.2  | Gavión.....   | 95  |
| 3.2.3  | Equipos de laboratorio .....  | 96  |
| 3.3.   | METODOLOGÍA .....   | 98  |
| 3.3.1  | Preparación de las Geobotellas .....  | 99  |
| 3.3.2  | Ensayo de peso específico de las geobotellas .....  | 100 |
| 3.3.3  | Ensayos de resistencia mecánica de las geobotellas .....  | 105 |
| 3.3.4  | Peso unitario del gavión eco-ambiental rellenas con geobotellas...                                      | 118 |
| 3.3.5  | Porcentaje de vacíos del gavión eco-ambiental rellenas con geobotellas<br>.....                         | 119 |
| 3.3.6  | Diseño del muro de contención eco-ambiental.....  | 120 |
| 3.3.7  | Análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el<br>método convencional .....        | 122 |
| 3.3.8  | Análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el<br>software GawacWin GSC 3.0 .....  | 134 |
| 3.3.9  | Relación de base por altura vs factores de seguridad .....  | 135 |
| 3.3.10 | Proceso constructivo del prototipo de gavión eco-ambiental .....  | 136 |
| 3.3.11 | Presupuesto de instalación del muro de contención convencional de<br>gaviones relleno con piedras ..... | 138 |



|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.3.12 | Presupuesto de instalación del muro de contención eco-ambiental de gaviones relleno con geobotellas..... | 139 |
| 3.3.13 | Comparación de costos entre gaviones tradicionales y gaviones eco-ambientales.....                       | 140 |
| 3.3.14 | Ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental.....   | 140 |

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 4.1.  | RESULTADOS DE PREPARACIÓN DE LAS GEOBOTELLAS.....  | 141 |
| 4.2.  | RESULTADO DE PESO ESPECÍFICO DE LAS GEOBOTELLAS.....   | 141 |
| 4.3.  | RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA DE LAS GEOBOTELLAS .....   | 145 |
| 4.3.1 | Resultados del ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento...  | 145 |
| 4.3.2 | Resultados para el ensayo de tracción indirecta .....  | 148 |
| 4.4.  | CÁLCULO DEL PESO UNITARIO DEL GAVIÓN ECO-AMBIENTAL RELLENADAS CON GEOBOTELLAS .....  | 151 |
| 4.5.  | CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE VACÍOS ( $N$ ) DEL GAVIÓN RELLENADO CON GEOBOTELLAS.....   | 153 |
| 4.6.  | RESULTADO DEL DISEÑO DEL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL.....   | 154 |
| 4.7.  | RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL POR EL MÉTODO CONVENCIONAL .....               | 157 |
| 4.7.1 | Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 1 ..... | 157 |



|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 4.7.2 | Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 2 .....   | 166 |
| 4.7.3 | Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 3 .....   | 175 |
| 4.8.  | RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL CON EL SOFTWARE GAWACWIN GSC .....                | 184 |
| 4.8.1 | Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 1 ..... | 184 |
| 4.8.2 | Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 2.....  | 189 |
| 4.8.3 | Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 3.....  | 194 |
| 4.9.  | RESULTADO DE LA RELACIÓN DE BASE POR ALTURA VS FACTORES DE SEGURIDAD DEL MURO .....  | 200 |
| 4.10. | RESULTADO DEL PROTOTIPO DE GAVIÓN ECO-AMBIENTAL .....  | 203 |
| 4.11. | RESULTADO DEL PRESUPUESTO PARA EL MURO DE CONTENCIÓN TRADICIONAL DE GAVIONES RELLENADOS CON PIEDRA .....                     | 205 |
| 4.12. | RESULTADO DEL PRESUPUESTO PARA EL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL DE GAVIONES RELLENADOS CON GEBOTELLAS .....               | 207 |
| 4.13. | RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE GAVIONES TRADICIONALES Y GAVIONES ECO-AMBIENTALES.....                           | 209 |
| 4.14. | RESULTADO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL.....  | 212 |



|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>      | <b>214</b> |
| <b>VI. RECOMENDACIONES .....</b> | <b>217</b> |
| <b>VII. REFERENCIAS.....</b>     | <b>218</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>               | <b>225</b> |

**TEMA: Muros de contención eco-ambiental**

**ÁREA : Muros de Contención**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Geotecnia**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 de septiembre del 2022**



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Figura 1</b>  | Contaminación por plásticos en el ecosistema marino .....                                      | 27 |
| <b>Figura 2</b>  | Construcción de muro con botellas .....  | 28 |
| <b>Figura 3</b>  | Prototipo de edificación con botellas construido por el organismo Tenjo-<br>Cundinamarca ..... | 29 |
| <b>Figura 4</b>  | Geografía y clima.....   | 31 |
| <b>Figura 5</b>  | Número y tipo de eventos registrados por año, 1970-2011 en el Perú .....                       | 36 |
| <b>Figura 6</b>  | Esquema de algunos tipos de muros flexibles .....  | 40 |
| <b>Figura 7</b>  | Esquema de diferentes tipos de muro rígido.....  | 41 |
| <b>Figura 8</b>  | Elementos constituyentes de los gaviones tipo colchón .....                                    | 44 |
| <b>Figura 9</b>  | Elementos constituyentes de los gaviones tipo saco.....  | 44 |
| <b>Figura 10</b> | Elementos constituyentes de los gaviones tipo caja .....                                       | 45 |
| <b>Figura 11</b> | Esquema de alambre galvanizado recubierto en PVC .....   | 46 |
| <b>Figura 12</b> | Muro de gaviones con malla hexagonal a doble torsión.....                                      | 47 |
| <b>Figura 13</b> | Dimensiones de la malla hexagonal a triple torsión .....                                       | 47 |
| <b>Figura 14</b> | Muros de gaviones con malla electrosoldada .....   | 49 |
| <b>Figura 15</b> | Muro de gaviones con escalones externos y con escalones internos .....                         | 52 |
| <b>Figura 16</b> | Fuerzas aplicadas al muro .....  | 56 |
| <b>Figura 17</b> | Planos de empuje en muros de retención .....   | 58 |
| <b>Figura 18</b> | Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes en los muros de retención.....                      | 60 |
| <b>Figura 19</b> | Tipos de rotura de muros de gaviones .....   | 63 |
| <b>Figura 20</b> | Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes para una sección intermedia de<br>retención.....    | 70 |
| <b>Figura 21</b> | (a) Superficie de rotura cilíndrica, (b) Superficie de rotura plana .....                      | 73 |



|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Figura 22</b> | Método de las dovelas: (a) División de las masas deslizante, (b) Fuerzas en una dovela .....            | 74  |
| <b>Figura 23</b> | Interfaz del software GawacWin GSC 3.0 – SP-May-2022 .....  | 77  |
| <b>Figura 24</b> | Características del instalador GawacWin GSC 3.0 – SP-May-2022 .....                                     | 77  |
| <b>Figura 25</b> | Resultados de análisis realizados por el software GawacWin GSC 3.0 – SP-May-2022 .....                  | 79  |
| <b>Figura 26</b> | Unidad Repetitiva de PET .....  | 81  |
| <b>Figura 27</b> | Diagrama de flujo para la producción del PET.....   | 84  |
| <b>Figura 28</b> | Resultados del balance de materia del plástico para el año 2018, valores expresados en miles de tn..... | 92  |
| <b>Figura 29</b> | Resultados del balance de materia del PET para el año 2018, valores expresados en miles de tn.....      | 92  |
| <b>Figura 30</b> | Geobotellas .....   | 94  |
| <b>Figura 31</b> | Materiales para la preparación de las geobotellas.....  | 95  |
| <b>Figura 32</b> | Canasta de gavión de 0.5x0.5x1.0 m <sup>3</sup> .....   | 96  |
| <b>Figura 33</b> | Balanza digital de precisión 10 kg x 0.1g .....   | 96  |
| <b>Figura 34</b> | Vernier .....   | 97  |
| <b>Figura 35</b> | Prensa universal de ensayos.....  | 97  |
| <b>Figura 36</b> | Detalle de llenado y compactado de las geobotellas.....   | 100 |
| <b>Figura 37</b> | Obtención de las geobotellas .....  | 100 |
| <b>Figura 38</b> | Peso de las geobotellas.....  | 101 |
| <b>Figura 39</b> | Muestras de geobotellas a ensayar .....   | 105 |
| <b>Figura 40</b> | Desarrollo de fracturas extensionales y de cizalla como resultado de compresión .....                   | 106 |
| <b>Figura 41</b> | Esquema de ensayo de resistencia a compresión simple .....  | 107 |



|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 42</b> | Ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento de las geobotellas de 500 ml .....                       | 109 |
| <b>Figura 43</b> | Ensayo de compresión sin confinamiento de las geobotellas de 3000 ml ....                                | 110 |
| <b>Figura 44</b> | Formato de registro de datos del ensayo de compresión sin confinamiento de las geobotellas .....         | 112 |
| <b>Figura 45</b> | Esquema de ensayo de tracción indirecta .....  | 113 |
| <b>Figura 46</b> | Ensayo de tracción indirecta de las geobotellas de 500 ml.....   | 115 |
| <b>Figura 47</b> | Ensayo de tracción indirecta de las geobotellas de 3000 ml.....  | 116 |
| <b>Figura 48</b> | Formato de registro de datos del ensayo de tracción indirecta de las geobotellas .....                   | 117 |
| <b>Figura 49</b> | Propuestas de configuración de llenado de geobotellas en el gavión .....                                 | 118 |
| <b>Figura 50</b> | Geometría del muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas .....                | 121 |
| <b>Figura 51</b> | Ángulo de rotación del muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas .....       | 122 |
| <b>Figura 52</b> | Flujograma de uso del software GawacWin GSC 3.0 .....  | 135 |
| <b>Figura 53</b> | Llenado de geobotellas en el gavión.....   | 136 |
| <b>Figura 54</b> | Proceso de llenado y atirantado de gavión de 0.5 m de altura, llenado en dos etapas (vista frontal)..... | 137 |
| <b>Figura 55</b> | Detalle de colocación de tirantes (vista en planta).....   | 137 |
| <b>Figura 56</b> | Costura y cierre del gavión .....  | 138 |
| <b>Figura 57</b> | Geobotellas de 500 ml y 3000 ml .....  | 141 |
| <b>Figura 58</b> | Diagrama de dispersión – peso específico de geobotellas .....  | 144 |
| <b>Figura 59</b> | Diagrama de dispersión - compresión simple de geobotellas.....   | 147 |



|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 60</b> | Diagrama de dispersión – tracción indirecta de geobotellas.....  | 150 |
| <b>Figura 61</b> | Mejor configuración de llenado de geobotellas en el gavión .....   | 152 |
| <b>Figura 62</b> | Geometría del muro de contención eco-ambiental .....   | 157 |
| <b>Figura 63</b> | Sección transversal del muro de contención eco-ambiental caso 1 .....  | 158 |
| <b>Figura 64</b> | Sección transversal del muro de contención eco-ambiental caso 2 .....  | 166 |
| <b>Figura 65</b> | Sección transversal del muro de contención eco-ambiental caso 3 .....  | 175 |
| <b>Figura 66</b> | Reporte de los datos iniciales del gavión eco-ambiental por el software<br>GawacWin GSC – Caso 1 .....   | 185 |
| <b>Figura 67</b> | Reporte de los resultados del análisis de estabilidad del gavión eco-ambiental<br>por el software GawacWin GSC – Caso 1 .....                                  | 188 |
| <b>Figura 68</b> | Reporte de los resultados de los estados límites de servicio y estado limite<br>último del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 1<br>..... | 189 |
| <b>Figura 69</b> | Reporte de los datos iniciales del gavión eco-ambiental por el software<br>GawacWin GSC – Caso 2.....  | 190 |
| <b>Figura 70</b> | Reporte de los resultados del análisis de estabilidad del gavión eco-ambiental<br>por el software GawacWin GSC – Caso 2.....                                   | 193 |
| <b>Figura 71</b> | Reporte de los resultados de los estados límites de servicio y estado limite<br>último del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 2<br>..... | 194 |
| <b>Figura 72</b> | Reporte de los datos iniciales del gavión eco-ambiental por el software<br>GawacWin GSC – Caso 3.....  | 195 |
| <b>Figura 73</b> | Reporte de los resultados del análisis de estabilidad del gavión eco-ambiental<br>por el software GawacWin GSC – Caso 3.....                                   | 198 |



|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 74</b> | Reporte de los resultados de los estados límites de servicio y estado límite último del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 3 ..... | 199 |
| <b>Figura 75</b> | FS contra el deslizamiento vs base/altura .....  | 201 |
| <b>Figura 76</b> | FS contra el vuelco vs base/altura.....  | 201 |
| <b>Figura 77</b> | FS de la tensión de la base izquierda. vs base/altura .....  | 202 |
| <b>Figura 78</b> | FS de la tensión de la base derecha vs base/altura.....  | 202 |
| <b>Figura 79</b> | FS contra la rotura global vs base/altura.....   | 203 |
| <b>Figura 80</b> | Prototipo del gavión eco-ambiental .....   | 205 |
| <b>Figura 81</b> | Distribución porcentual del presupuesto de muro de contención tradicional de gaviones rellenas con material pétreo.....                                  | 209 |
| <b>Figura 82</b> | Distribución porcentual del presupuesto del muro de contención eco-ambiental de gaviones relleno con geobotellas .....                                   | 210 |
| <b>Figura 83</b> | Diferencia de costos entre gaviones tradicionales y gaviones eco-ambientales aplicado en muros de contención .....                                       | 211 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|                 |   |     |
|-----------------|---|-----|
| <b>Tabla 1</b>  | Población estimada y proyectada, 1995, 2020, 2030 y año en que se alcanzará la población máxima .....   | 34  |
| <b>Tabla 2</b>  | Dimensiones estándar de los gaviones tipo caja hexagonal.....   | 48  |
| <b>Tabla 3</b>  | Dimensiones estándares del gavión electrosoldado.....   | 50  |
| <b>Tabla 4</b>  | Muro de gaviones con escalones externos y con escalones internos .....  | 53  |
| <b>Tabla 5</b>  | Peso específico de la estructura del gavión en función del material de relleno .....  | 54  |
| <b>Tabla 6</b>  | Propiedades eléctricas del pet .....  | 85  |
| <b>Tabla 7</b>  | Resumen de las propiedades físicas y químicas del PET .....   | 86  |
| <b>Tabla 8</b>  | Especificación de Coca-Cola contour de 500ml.....   | 87  |
| <b>Tabla 9</b>  | Especificación para botellas de 1500 ml.....  | 88  |
| <b>Tabla 10</b> | Disposición, reciclaje de residuos de origen nacional, disposición en infraestructura adecuada y vertimiento en el ambiente de los residuos de plástico y PET, en Perú, en 2018 ..... | 91  |
| <b>Tabla 11</b> | Procedimientos.....   | 98  |
| <b>Tabla 12</b> | Tanto por ciento de la dispersión .....   | 103 |
| <b>Tabla 13</b> | Análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental relleno con geobotellas por el método convencional.....  | 123 |
| <b>Tabla 14</b> | Resultado del tanto por ciento de dispersión T de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml .....   | 142 |
| <b>Tabla 15</b> | Resultado del error absoluto del peso de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml .....  | 142 |
| <b>Tabla 16</b> | Peso específico de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml .....  | 143 |



|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| <b>Tabla 17</b> | Peso específico promedio de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml – Cantera Jicamarca..... | 144 |
| <b>Tabla 18</b> | Resultado del ensayo de compresión sin confinamiento de las geobotellas ...<br>.....     | 146 |
| <b>Tabla 19</b> | Promedio de la resistencia a la compresión sin confinamiento de las geobotellas .....    | 148 |
| <b>Tabla 20</b> | Resultado del ensayo de tracción indirecta.....  | 149 |
| <b>Tabla 21</b> | Promedio de la resistencia a la tracción indirecta .....                                 | 151 |
| <b>Tabla 22</b> | Peso del gavión eco-ambiental en tn.....   | 152 |
| <b>Tabla 23</b> | Peso específico del gavión eco-ambiental .....   | 153 |
| <b>Tabla 24</b> | Datos iniciales del gavión eco-ambiental – Caso 1 .....                                  | 158 |
| <b>Tabla 25</b> | Empuje activo del muro de contención eco-ambiental – Caso 1 .....                        | 159 |
| <b>Tabla 26</b> | Factor de seguridad contra el deslizamiento – Caso 1 .....                               | 160 |
| <b>Tabla 27</b> | Factor de seguridad contra el vuelco – Caso 1 .....                                      | 160 |
| <b>Tabla 28</b> | Verificación de las presiones aplicadas a la fundación – Caso 1.....                     | 161 |
| <b>Tabla 29</b> | Verificación de la estabilidad contra la rotura interna – Caso 1 .....                   | 162 |
| <b>Tabla 30</b> | Factor de seguridad contra la rotura global – Caso 1.....                                | 164 |
| <b>Tabla 31</b> | Datos iniciales del gavión eco-ambiental – Caso 2 .....                                  | 167 |
| <b>Tabla 32</b> | Empuje activo del muro de contención eco-ambiental – Caso 2.....                         | 168 |
| <b>Tabla 33</b> | Factor de seguridad contra el deslizamiento – Caso 2.....                                | 168 |
| <b>Tabla 34</b> | Factor de seguridad contra el vuelco – Caso 2 .....                                      | 169 |
| <b>Tabla 35</b> | Verificación de las presiones aplicadas a la fundación – Caso 2.....                     | 170 |
| <b>Tabla 36</b> | Verificación de la estabilidad contra rotura interna– Caso 2.....                        | 171 |
| <b>Tabla 37</b> | Factor de seguridad contra la rotura global – Caso 2.....                                | 173 |
| <b>Tabla 38</b> | Datos iniciales del gavión eco-ambiental – Caso 3 .....                                  | 176 |



|                 |   |     |
|-----------------|---|-----|
| <b>Tabla 39</b> | Empuje activo del muro de contención eco-ambiental – Caso 3 .....   | 177 |
| <b>Tabla 40</b> | Factor de seguridad contra el deslizamiento – Caso 3 .....  | 177 |
| <b>Tabla 41</b> | Factor de seguridad contra el vuelco – Caso 3 .....   | 178 |
| <b>Tabla 42</b> | Verificación de las presiones aplicadas a la fundación – Caso 3.....  | 179 |
| <b>Tabla 43</b> | Verificación de la estabilidad contra rotura interna– Caso 3 .....  | 180 |
| <b>Tabla 44</b> | Factor de seguridad contra la rotura global – Caso 3.....   | 182 |
| <b>Tabla 45</b> | Resumen de los resultados del método convencional.....  | 200 |
| <b>Tabla 46</b> | Resumen de los resultados con el software GawacWin.....   | 200 |
| <b>Tabla 47</b> | Resultado del presupuesto para muro de contención con gaviones rellenos<br>con piedra.....                    | 206 |
| <b>Tabla 48</b> | Resultado del presupuesto para muro de contención eco-ambiental de<br>gaviones rellenos con geobotellas. .... | 208 |
| <b>Tabla 49</b> | Ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental de gaviones<br>rellenos con geobotellas. ....     | 212 |



## ÍNDICE DE ACRONIMOS

|                |  |
|----------------|--|
| <b>PUCP</b>    | Pontificia Universidad Católica del Perú                           |
| <b>PET</b>     | Polietileno Tereftalato  |
| <b>FEN</b>     | Fenómeno   |
| <b>FSV</b>     | Factor de seguridad al volteo                                      |
| <b>FSD</b>     | Factor de seguridad al deslizamiento                               |
| <b>AASHTO</b>  | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| <b>ASTM</b>    | American Society for Testing Materials                             |
| <b>PNUMA</b>   | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente             |
| <b>GSC</b>     | Análisis de la Estructura en la Condición de Servicio              |
| <b>PET</b>     | Polietileno Tereftalato  |
| <b>MINAGRI</b> | Ministerio de Agricultura y Riego                                  |
| <b>INDECI</b>  | Instituto Nacional de Defensa Civil                                |
| <b>FEN</b>     | Fenómeno El Niño   |
| <b>LTDA</b>    | Limitada   |
| <b>NBR</b>     | Norma Técnica Brasileira   |
| <b>NB</b>      | Norma Brasileira   |
| <b>NP</b>      | Norma Paraguaya  |
| <b>SLS</b>     | Estados Límite de Servicio   |
| <b>ELU</b>     | Estado Límite Último   |
| <b>PE</b>      | Polietileno  |
| <b>PP</b>      | Polipropileno  |
| <b>PS</b>      | Poliestireno   |
| <b>PVC</b>     | Cloruro de polivinilo  |
| <b>INEI</b>    | Instituto Nacional de Estadística e Informática                    |



|               |  |
|---------------|--|
| <b>CER</b>    | Centro de Ecoeficiencia y Responsabilidad Social |
| <b>RPU</b>    | Res Peruana de Universidades                     |
| <b>SUCS</b>   | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos     |
| <b>ASSU</b>   | Asociación deportiva Sociedad Unida              |
| <b>USA</b>    | Estados Unidos de América                        |
| <b>SI</b>     | Sistema Internacional                            |
| <b>ISRM</b>   | Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas      |
| <b>NLT</b>    | Norma del Laboratorio del Transporte             |
| <b>CAPECO</b> | Cámara Peruana de Construcción                   |



## RESUMEN

Ante los problemas de inestabilidad de taludes y la contaminación del medio ambiente, la presente tesis propone muros de contención tipo gavión utilizando como relleno materiales reciclables, como son las botellas descartables PET rellenas con arena (geobotellas), reemplazando a los materiales pétreos que conforma la estructura de gaviones. El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso de las geobotellas, para el diseño y construcción de estructuras de gaviones eco-ambientales aplicados en estabilidad de taludes, para lo cual, se analizó el comportamiento físico y mecánico de las geobotellas mediante ensayos de peso específico, compresión y tracción, se determinó las propiedades físicas del gavión eco-ambiental a través de modelos 3D, con tales datos se realizó el diseño del muro y sus cálculos de estabilidad mediante métodos convencionales y el software GwacWin GSC, por último, se realizó un análisis comparativo de costos con los gaviones tradicionales. Se concluye que, la geobotella si es apto para ser utilizado como material de relleno del gavión, puesto que cumple con los requisitos físicos y mecánicos; asimismo el gavión eco-ambiental cumple con las características de un gavión tradicional como son el monolitismo, flexibilidad, permeabilidad, versatilidad e integración con el medio ambiente; en cuanto a su diseño se ha logrado la estabilidad del muro hasta 3 m de altura; obteniendo además que el costo de construcción de este muro con respecto al tradicional se reduce en un 17.82%. Finalmente se deja como línea de investigación la aplicación de gaviones eco-ambientales en obras de ingeniería como presas filtrantes, defensas ribereñas entre otros, generando un impacto ambiental positivo y con un costo relativamente bajo.

Palabras clave: gaviones eco-ambientales, geobotellas.



## ABSTRACT

Faced with the problems of slope instability and environmental pollution, this thesis proposes gabion-type retaining walls using recyclable materials as filler, such as disposable PET bottles filled with sand (geobottles), replacing the stone materials that make up the gabion structure. The objective of this research was to evaluate the use of geobottles for the design and construction of eco-environmental gabion structures applied in slope stability, for which, the physical and mechanical behavior of the geobottles was analyzed through tests of specific weight, compression and traction, the physical properties of the eco-environmental gabion were determined through 3D models, with such data the design of the wall and its calculations were carried out. of stability using conventional methods and the GAWACWIN GSC software, finally, a comparative analysis of costs with traditional gabions was carried out. It is concluded that the geobottle is suitable to be used as fill material for the gabion, since it meets the physical and mechanical requirements; Likewise, the eco-environmental gabion meets the characteristics of a traditional gabion such as monolithism, flexibility, permeability, versatility and integration with the environment; Regarding its design, the stability of the wall up to 3 m high has been achieved; also obtaining that the cost of construction of this wall with respect to the traditional one is reduced by 17.82%. Finally, the application of eco-environmental gabions in engineering works such as filter dams, riverside defenses, among others, is left as a line of research, generating a positive environmental impact and with a relatively low cost.

Keywords: eco-environmental gabions, geobottles.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Perú existen problemas de inestabilidad de taludes en sus diferentes zonas geográficas, que desatan procesos erosivos graves en forma de deslizamientos, desbordamientos e inundaciones, a consecuencia de eventos extraordinarios como el fenómeno del Niño, registrándose daños de magnitudes extraordinarias, provocadas por las intensas lluvias. Causando por tanto un fuerte impacto en la estructura socioeconómica del país.

Por otro lado, con los fenómenos del calentamiento global y la contaminación del medio ambiente en nuestro planeta; es de suma importancia, el reciclado y la reutilización de desechos sólidos que son lentos en su degradación tales como los plásticos, vidrios y botellas PET; los cuales presentan grandes porcentajes respecto al volumen de los residuos sólidos que se registran en los reportes de reciclaje de basuras.

Por los problemas descritos, surge la necesidad de estudios sobre el control de erosión, deslizamientos, desbordamientos e inundaciones, que cada vez son más necesarios y estas dependen de las condiciones geológicas, climáticas y ambientales del sitio; para solucionar estos problemas se plantean obras de contención de diferentes estructuras: Gaviones, Espigones, Muros de concreto y otros. Estas soluciones, muchas veces, resultan ser bastante costosos o en algunos casos carecen de materiales de construcción tal como sucede en la amazonia peruana. Por ello, se propone desarrollar nuevas soluciones eco-ambientales empleando materiales no tradicionales y reciclables como son las botellas PET (polietileno tereftalato) rellenos con material fino (arena) adecuado, abundante en la zona de construcción, reemplazando a los materiales pétreos



que conforma la estructura de gaviones. Al material planteado se le denominó geobotellas.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

¿Es posible el uso de geobotellas en el diseño y construcción de estructuras de gaviones; aplicados en estabilidad de taludes?

### **1.2.2 Problemas específicos**

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de las geobotellas?
2. ¿Cumplirán con las condiciones de estabilidad, los muros de contención eco-ambiental con gaviones a base de geobotellas, mediante los cálculos convencionales y el software GawacWin GSC?
3. ¿De qué manera influye el precio en los costos de gaviones tradicionales (material pétreo) con los planteados en esta investigación, gaviones eco-ambientales (geobotellas), como consecuencia del modelamiento numérico aplicado?
4. ¿Cuál será las ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

En el Perú, como en todo el mundo, el plástico representa un sin fin de problemas para la naturaleza pues esta se refleja en la cantidad de fauna que muere cada año por consumo de plástico, sobre todo, la fauna marina puesto que existe la gran mancha de plástico en el océano Atlántico llamado también por muchos científicos “el continente plástico”; asimismo, se ven afectadas los paisajes como en muchas de las playas de grandes ciudades donde existen gran cantidad de plástico que cubre la arena. De este peligroso contaminante existe en mayor porcentaje botellas PET, como desechos sólidos



que se caracterizan por su lenta degradación en el medio ambiente. Por otra parte, la indiferencia en la ingeniería para solucionar problemas ambientales es evidente, puesto que existen escasas investigaciones y acciones para reducir la contaminación en el planeta en el ámbito de la construcción, es por ello, que surge la necesidad de plantear nuevas alternativas de solución eco-sostenibles empleando materiales reciclables como las botellas PET, que pueden ser rellenos con suelos finos como la arena. Para dar uso en la construcción de muros de contención con gaviones, como material de relleno reemplazando al material pétreo.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar el uso de las geobotellas, para el diseño y construcción de estructuras de gaviones; aplicados en estabilidad de taludes, determinando su diseño y comportamiento estructural.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las geobotellas
2. Verificar las condiciones de estabilidad de los muros de contención eco-ambiental con gaviones a base de geobotellas. mediante los cálculos convencionales y el software GawacWin GSC.
3. Comparar los costos de gaviones tradicionales (material pétreo) con los planteados en esta investigación, gaviones eco-ambientales (geobotellas), como consecuencia del modelamiento numérico aplicado.
4. Verificar las ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental.



## **1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 Hipótesis general**

Las geobotellas son capaces de ofrecer resistencia física y mecánica como parte de la estructura del gavión en muros de contención, así como equivalente a un sistema convencional de gaviones.

### **1.5.2 Hipótesis específicas**

1. Las geobotellas alcanzaran una adecuada resistencia física y mecánica para ser parte de la estructura del gavión.
2. Se realizará el análisis de estabilidad de los muros de contención eco-ambiental con gaviones a base de geobotellas, donde se verificará las condiciones de estabilidad mediante los cálculos s convencionales y el software GawacWin GSC
3. El uso de las geobotellas en la estructura de gaviones tendrá ventajas de construcción reduciendo costos en lugares donde carece el material pétreo.
4. El muro de contención eco ambiental con gaviones a base de geobotellas será una solución a la falta de construcciones sostenibles y falta de material de relleno en zonas con escaso material pétreo.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La generación de desechos sólidos y el cambio climático de las últimas décadas obliga a la humanidad generar un medio sostenible y a desarrollar tecnologías y obras de ingeniería eco-amigables.

(Parker, 2018) en el artículo: “Ahogados en un mar de plástico” afirma que “Cada año acaban en el océano unos ocho millones de toneladas de plástico, un material que puede tardar siglos, o más, en desaparecer”.

(Marín Galvín et al., 2019) afirma que la cantidad de desechos plásticos en los océanos ha aumentado de forma creciente en los últimos años, estimándose que entre 5 y 13 millones de Toneladas al año de plásticos (es decir, entre el 1,5% y el 4% de la producción mundial) acaban en los mares. Aquí el plástico es transportado por las corrientes oceánicas a grandes distancias, formando zonas densas de basura marina que queda atrapada en función de la dinámica de estas corrientes.

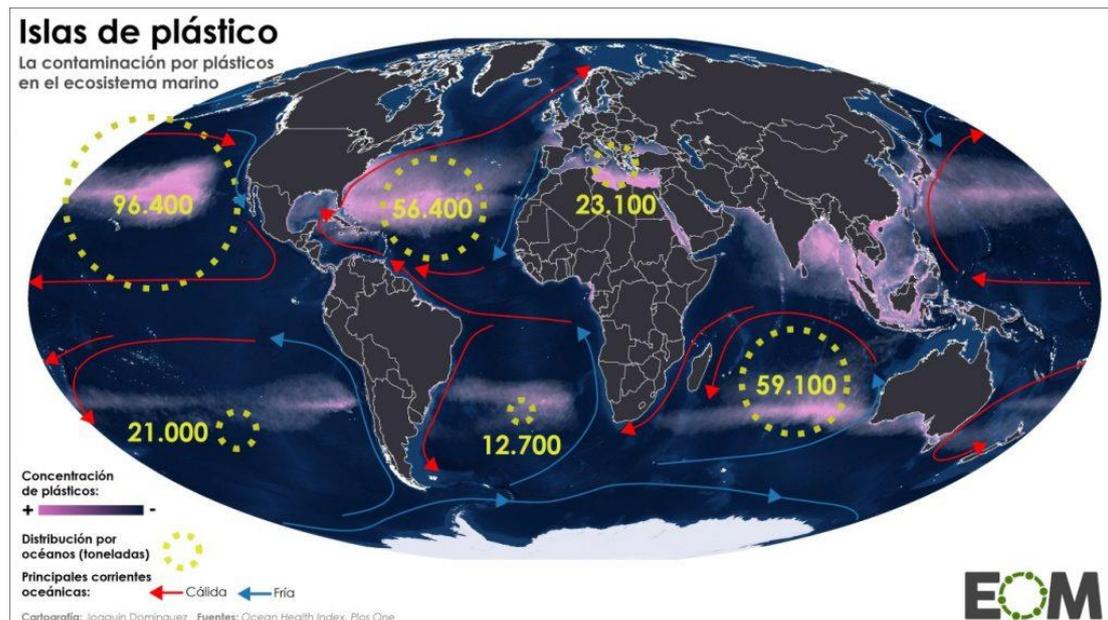
(Schilling, 2014) afirma que el mundo produce 300 millones de toneladas de plástico cada año, pero solo se recicla alrededor del 10%. El resto se tira, se deposita en vertederos o se escapa como basura a los paisajes, lagos, ríos y el océano. Aproximadamente 7 millones de toneladas terminan en el océano cada año, lo que representa aproximadamente el 75% de todos los desechos marinos.

(Portero, 2018) describió como la “gran mancha de basura en el Pacífico”, originada por la acción de las corrientes marinas ocasionado exactamente por el ciclo oceánico del Pacífico Norte, que congrega la basura en un punto relativamente constante.

En el 2018 se dedujo que el tamaño de basura acumulada era una isla superior a territorios de Alemania, Francia y España juntas, contando con un área aproximado de 1,6 millones de km<sup>2</sup>, como se muestra en la Figura 1.

### Figura 1

#### *Contaminación por plásticos en el ecosistema marino*



Nota. En la figura se muestra la distribución con la concentración de plástico en los océanos por toneladas, la cual se le conoce como islas de plástico.

Fuente: (Schilling, 2014)

(J. Vargas & Iwaki, 2014) Investigaron que los precursores de la tecnología de los actuales gaviones, son la gran ciudad de Caral quienes inventaron unas bolsas de fibra vegetal, que contenían piedras acomodadas en equilibrio estable que lograban un sólido comportamiento sísmico resistente en los núcleos de las pirámides.

(Ruiz Valencia et al., 2012) El grupo de investigadores afirma en su artículo que los mayores problemas de las personas son la necesidad de vivienda y el acelerado producción de los residuos plásticos y botellas PET (envases de bebidas) que al final trae como la degradación de la naturaleza. Con el fin de disminuir ambos problemas, a partir

del año 2001, Eco – Tec Soluciones construye proyectos eco ambientales usando botellas PET rellenas con tierra, como viviendas y reservorios, etc. Asimismo, GRIME organización de la Pontificia Universidad Javeriana en convenio con Eco – Tec Soluciones realizaron ensayos compresión de botellas rellenas con tierra y pruebas piloto al comportamiento estructural del muro utilizando como material de albañilería las botellas rellenas con tierra. Estos procedimientos y resultados se aprecian en el artículo titulado “Construcción con botellas plásticas PET”, en la Figura 2 se aprecia el muro con este tipo de tecnología.

## Figura 2

Construcción de muro con botellas



Fuente: (Ruiz Valencia et al., 2012)

(Ruiz Valencia et al., 2012) afirma en el artículo “Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra” que Eco-Tec Soluciones ambientales ha desarrollado diversos proyectos con una visión integral, donde se atiende

simultáneamente el medio ambiente y el desarrollo social, como por ejemplo un aula escolar en Honduras o la casa ecológica construida en Honduras con 8.000 botellas PET llenas con 12 m<sup>3</sup> de tierra de la zona. Asimismo, cabe señalar que instituciones nacionales e internacionales ejecutaron proyectos con este tipo de tecnología, entre ellos se puede mencionar el Trocaire, Banco Mundial, el Club Rotary International, etc. La compañía ejecutó el cerco perimétrico del Parque Rio Cauca, en Cali y locales de venta pequeña en Usme y Yopal., todo ello en Colombia, como se observa en la Figura 3.

### Figura 3

*Prototipo de edificación con botellas construido por el organismo Tenjo-Cundinamarca*



Fuente: (Ruiz Valencia et al., 2012)

Para Muñoz (2012), citado por (Suasnavas, 2017) en la monografía “Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión” concreta que: El PET es un plástico resistente al ataque microbiológico, ya que estos no poseen mecanismos para atacarlo, por esta característica en el PET no hay la



proliferación de bacterias, hongos o parásitos relacionados con la putrefacción. Las botellas PET al ser un material no biodegradable mantiene sus propiedades de durabilidad durante el tiempo, lo que favorece para una prolongada vida útil. Además, las botellas PET son resistentes a ataques químicos como del combustible, alcoholes, grasa, éter ácido y base diluida. Su estabilidad térmica es menor igual a  $71^{\circ}\text{C}$  y cristalizado estable a temperaturas menor igual a  $230^{\circ}\text{C}$ . La densidad del PET esta entre  $1.45 - 1.51 \text{ g/cm}^3$  en estado amorfo y en el estado cristalino entre  $1.45 - 1.51 \text{ g/cm}^3$ . En cuanto a la propiedad de conductividad térmica presenta el aislamiento térmico de  $0.24 \text{ W/m} \times \text{K}$ . Finalmente la absorción de agua durante 24 horas alcanza valores menores a  $0.7 \%$ .

Para (Elias & Jurado, 2012), citado por (Suasnavas, 2017) en la monografía “Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión” concreta que la masa plástica del PET se deteriora con el paso del tiempo en forma irreversible, por la influencia de las condiciones externas como: temperatura ambiental, radiaciones solares, humedad, contaminantes atmosféricos, etc.; por la cual las variaciones del color acartonamiento, desviaciones en sus dimensiones, disminución de las propiedades de resistencia, hendimiento o inicios de fisuras son ineludibles. sin embargo, por la transparencia y cristalinidad tiene buena durabilidad y resistencia al desgaste. El principal factor de degradación del PET es por el efecto de los rayos solares, este proceso es tan lento que una botella de plástico tarda en descomponerse una media de 450 años.

(Pilco Villagra, 2012) concluye en la tesis “USO DE BOTELLAS RECICLABLES PET Y SU APLICACIÓN EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES PARA SUELOS FRICCIONANTES EN LA CIUDAD DE PUNO – PERÚ -2011” lo siguiente:

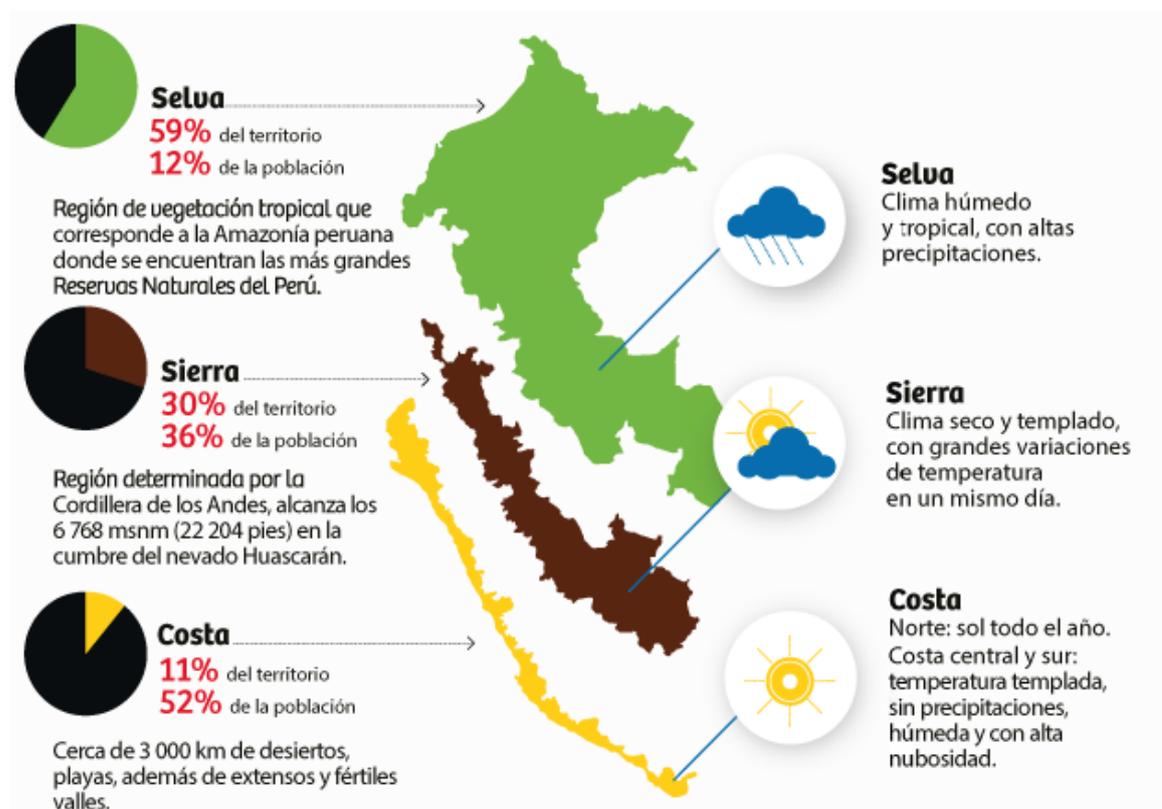
El análisis de los materiales reciclados PET para el uso de la ingeniería se ha convertido un amplio campo, donde tienen una considerable aplicación. El uso en estructuras para contención de suelos es una alternativa novedosa y ambientalmente provechosa, asimismo, el PET tiene mayor resistencia a la corrosión que los materiales de uso tradicional.

## 2.2. CLIMA, GEOGRAFÍA, POBLACIÓN Y RIESGOS DE DESASTRES NATURALES DEL PERÚ

El Perú cuenta con 11 ecorregiones, un clima variado por sus diferentes características geográficas y una gran diversidad de recursos naturales, en las tres regiones naturales, compuesto por la costa, sierra y selva, ver Figura 4.

**Figura 4**

*Geografía y clima*



Fuente: (Embajada del Perú, 2020)



## 2.2.1 Clima del Perú

### 2.2.1.1. Clima del Perú en la costa

El clima de la costa es subtropical y marítimo, de gran uniformidad y con suaves diferencias de temperatura que nunca oscilan más allá de una variación de 15 grados entre los extremos de frío y calor, por ejemplo, en Lima la temperatura máxima en verano es de 23 ó 24 grados y en invierno 16 ó 15 grados con una media general de 19.5 grados, Arica presenta una media Anual de 18°, Mollendo de 17, 5° y Lima de 19, 5°. La variación del clima de la costa es influenciada por la “Cordillera de los Andes, Corriente Peruana o de Humboldt, brisas marítimas, Neblina y la naturaleza de terreno”. Resulta que el clima de la costa es suave, sin lluvias y cargado de humedad. (Pareja paz soldan, 1936)

El medio marino en el litoral del Perú es influido y variado considerablemente por eventos trascendentes de características opuestas: “El Niño y La Niña, los mismos que se presentan alternadamente, con diferente intensidad y duración. La temperatura presenta sus máximos y mínimos valores en verano e invierno, respectivamente”. (Octavio Morón, 2000)

### 2.2.1.2. Clima del Perú en la sierra

“El clima de la sierra se caracteriza por su gran sequedad higrométrica, por la periodicidad de sus lluvias, que caen tan solo en una época del año, durante el verano y por su temperatura fría o templada, según la altura” (Pareja paz soldan, 1936).

El clima serrano tiene una marcada variación de temperatura entre la noche y el día, esto se debe a la enérgica radiación solar en las alturas. “Mientras en el día la máxima ha sido de 25°, al amanecer el termómetro bajó a los 0°. Asimismo, en pleno día podemos estar a 1° en el sol y poniéndose a la sombra descender a pocas líneas de 0°”. (Pareja paz soldan, 1936)



### **2.2.1.3. Clima del Perú en la selva**

La región amazónica tiene un clima cálido, lluvioso y húmedo. La temperatura media es de 28°, siendo la máxima de 35° y la mínima de 17°, las lluvias caen durante todo el año, aunque son más copiosas y torrenciales en la época de verano, que va de diciembre a abril, determinando las crecidas e inundaciones de los ríos amazónicos. (Pareja paz soldan, 1936)

## **2.2.2 Geografía del Perú**

### **2.2.2.1. Geografía del Perú en la costa**

La Costa es una franja larga (3080 km) y angosta paralela al Océano Pacífico, caracterizada por una geografía llana y de baja altitud. “El litoral es totalmente árido, el cual es atravesado por 53 ríos que nacen en las cordilleras andinas y que alimentan los productivos valles costeros. La Costa ocupa un área de 149857 km<sup>2</sup>.” (12% del territorio nacional) (MINAGRI, 2020)

### **2.2.2.2. Geografía del Perú en la sierra**

“La sierra empieza por encima de los 500 msnm al Este de la Costa, llegando por encima de los 4000 msnm en la Cordillera blanca. Descendiendo por la vertiente oriental limita con la Selva Alta, aproximadamente a los 3000 msnm.” (MINAGRI, 2020)

El (MINAGRI, 2020) indica que la sierra “se caracteriza mayormente por una geografía montañosa y muy agreste, combinada con altiplanicies y valles interandinos. La Sierra ocupa un área de 364716 km<sup>2</sup> (28% del territorio nacional)”.

### 2.2.2.3. Geografía del Perú en la selva

“La Selva peruana se divide en Selva Alta y Selva Baja. La selva alta empieza aproximadamente de los 3000 msnm con el fin de la sierra. Descendiendo hacia la Selva Baja, que se ubica generalmente bajo los 500 msnm.” (MINAGRI, 2020)

“La región selva, con 77064248 km<sup>2</sup>, es la más extensa de la nación peruana (60 %), ocupando una superficie cinco veces mayor que la Costa y el doble de grande que la Sierra.” (MINAGRI, 2020)

### 2.2.3 Población en el Perú

“La población al 30 de junio del año 2020, en el Perú somos 32 millones 625 mil 948 personas en la región de América, el Perú es el séptimo país más poblado”. (INEI, 2020)

“A nivel departamental, en el periodo de estimación y proyección 1995-2030, siete departamentos ubicados en la Sierra y uno en la Selva, presentan crecimiento negativo, mientras que 17 presentan crecimiento positivo.” (INEI, 2020), como se aprecia en el Tabla 1.

**Tabla 1**

*Población estimada y proyectada, 1995, 2020, 2030 y año en que se alcanzará la población máxima*

| Departamento | Población  |            |            | Población máxima |            |
|--------------|------------|------------|------------|------------------|------------|
|              | 1995       | 2020       | 2030       | Año              | Población  |
| Total        | 24 242 600 | 32 625 948 | 35 792 079 | 2061             | 39 793 386 |
| Amazonas     | 375 202    | 426 806    | 428 576    | 2026             | 430305     |
| Áncash       | 1 036 065  | 1 180 638  | 1 216 561  | 2030             | 1 216 561  |
| Apurímac     | 416 711    | 430 736    | 414 184    | 2020             | 430 736    |
| Arequipa     | 1 006 567  | 1 497 438  | 1 755 684  | 2030             | 1 755 684  |

... continuación

|                            |           |            |            |      |            |
|----------------------------|-----------|------------|------------|------|------------|
| Ayacucho                   | 550 262   | 668 213    | 661 885    | 2021 | 670 579    |
| Cajamarca                  | 1 368 052 | 1 453 711  | 1 417 012  | 2021 | 1 455 245  |
| Prov. Const. Del<br>callao | 704 064   | 1 129 854  | 1 319 706  | 2030 | 1 319 706  |
| Cusco                      | 1 127 101 | 1 357 075  | 1 439 741  | 2030 | 1 439 741  |
| Huancavelica               | 425 733   | 365 317    | 290 010    | 2004 | 471 337    |
| Huánuco                    | 719 741   | 760 267    | 715 363    | 2006 | 787 626    |
| Ica                        | 620 601   | 975 182    | 1 189 708  | 2030 | 1 189 708  |
| Junín                      | 1 159 999 | 1 361 467  | 1 388 418  | 2030 | 1 388 418  |
| La Libertad                | 1 386 270 | 2 016 771  | 2 277 363  | 2030 | 2 277 363  |
| Lambayeque                 | 1 013 016 | 1 310 785  | 1 419 648  | 2030 | 1 419 648  |
| Lima                       | 7 001 163 | 10 628 470 | 12 214 119 | 2030 | 12 214 119 |
| Loreto                     | 789 261   | 1 027 559  | 1 087 623  | 2030 | 1 087 623  |
| Madre de Dios              | 77 878    | 173 811    | 234 432    | 2030 | 234432     |
| Moquegua                   | 139 967   | 192 740    | 211 157    | 2030 | 211 157    |
| Pasco                      | 255 024   | 271 904    | 252 048    | 2006 | 286112     |
| Piura                      | 1 505 035 | 2 047 954  | 2 277 711  | 2030 | 2 277 711  |
| Puno                       | 1 174 525 | 1 237 997  | 1 148 667  | 2005 | 1 303 201  |
| San Martín                 | 618 293   | 899 648    | 1 003 377  | 2030 | 1 003 377  |
| Tacna                      | 241 795   | 370 974    | 430 642    | 2030 | 430 642    |
| Tumbes                     | 170 804   | 251 521    | 286 684    | 2030 | 286 684    |
| Ucayali                    | 359 471   | 589 110    | 711 760    | 2030 | 711 760    |

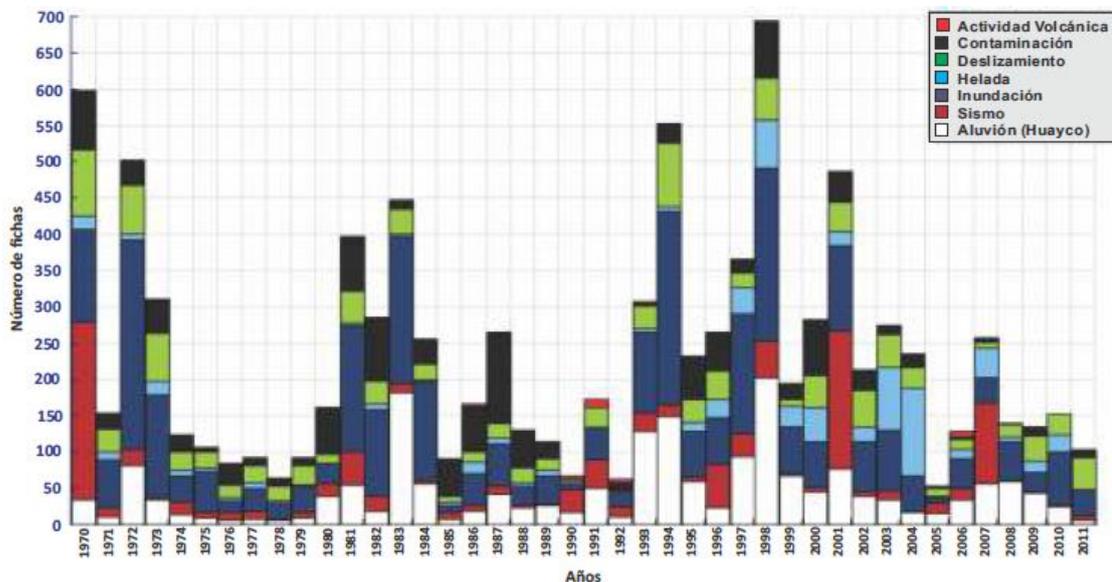
Fuente: (INEI, 2020)

#### 2.2.4 Riesgos de desastres naturales

Los riesgos de desastres naturales de nuestro país se deben a su ubicación y características geográficas como: los sismos, heladas, huaycos, deslizamientos, inundaciones, sequías, heladas y entre otros. En la Figura 5 se muestran los acontecimientos de mayor impacto en las últimas cuatro décadas en el Perú, de acuerdo a los datos de indagación de INDECI.

**Figura 5**

*Número y tipo de eventos registrados por año, 1970-2011 en el Perú*



Fuente: (PCM, 2014)

#### 2.2.4.1. Sismos

“El Perú se está ubicado en la zona denominada Cintur6n de Fuego del Pacífico, caracterizada por una alta sismicidad, donde se registra aproximadamente el 80% de los movimientos sísmicos a nivel mundial. Situando en zona de riesgo de sismos, tsunamis y actividad volcánica”. (INEI, 2020, p. 11)

“Lima Metropolitana y Callao agrupan casi el 50% de los habitantes en alta exposici6n. Lima es la ciudad que en más ocasiones ha sido afectada por terremotos: 12 veces desde el siglo XVI hasta la actualidad; en 1587 y 1746 fue literalmente destruida.” (INEI, 2020, p.20)

#### 2.2.4.2. Huaicos

El huaico es un término oriundo de Perú que en quechua significa quebrada, mientras que la geología lo llama aluviones, es decir deslizamiento de magnitudes bajas a moderadas, el cual sucede mayormente en la amazonia en período de lluvias. “Las



regiones más afectadas son Cusco, Madre de Dios, eje Libertadores Wari (Pisco, Ayacucho), cuenca del río Santa, zona Nor Oeste de región Puno.” (INEI, 2020)

#### **2.2.4.3. Deslizamientos**

(INEI, 2020) define a los deslizamientos como “ruptura y desplazamiento de pequeñas o grandes masas de suelos, rocas, rellenos artificiales o combinaciones de éstos, en un talud natural o artificial. Se caracteriza por presentar necesariamente un plano de deslizamiento o falla, a lo largo del cual se produce el movimiento”.

“Esta situación se ve agravada cuando las precipitaciones son muy intensas y en períodos de mayor duración, lo que hace más complejo el escenario adverso y condiciona negativamente el desenvolvimiento normal de las actividades socioeconómicas de la población.” (Agüero, Bedoya, & Peña; 2020)

“Las regiones más afectadas son Cusco, Madre de Dios, eje Libertadores Wari (Pisco, Ayacucho), cuenca del río Santa, zona noroeste de región Puno.” (INEI, 2020)

#### **2.2.4.4. Inundaciones**

(Soluciones Prácticas & ZURICH, 2012) cito a el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), e indica que “durante los años 2003 a 2012, las inundaciones y lluvias intensas afectaron a 4,3% de la población nacional de una u otra forma.”

INDECI reportó “687.820 personas fueron damnificadas y 66.943 viviendas fueron destruidas. Esta alta susceptibilidad ante inundaciones y otros peligros climáticos hace que la gestión de inundaciones sea un tema prioritario para la agenda de gestión del riesgo en nuestro país.” (Soluciones Prácticas & ZURICH, 2012)

“Las regiones más afectadas son la costa norte y la región amazónica en su totalidad, debido a la dinámica de los ríos que poseen alta tasa anual de inundaciones y



cambios de curso. La sierra también es afectada por inundaciones.” (Soluciones Prácticas & ZURICH, 2012, p.1)

Se puede tomar medidas estructurales para la reducción del riesgo de inundaciones con “defensas ribereñas (espigones, muros de contención, diques, reservorios, gaviones, etc.) y medidas complementarias o alternativas más naturales y sostenibles como amortiguadores naturales” (Soluciones Prácticas & ZURICH, 2012, p.3)

#### **2.2.4.5. Sequia**

(INEI, 2020) define como sequia a la “ausencia de precipitaciones pluviales que afecta principalmente a la agricultura. Los criterios de cantidad de precipitación y días sin precipitación, varían al definir una sequía.”

“Existen diferentes grados de vulnerabilidad en relación a las sequías que han sido recurrentes en la zona Sur del Perú, principalmente en los departamentos de: Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Cusco, Puno, Moquegua e Ica, que abarca especialmente la zona andina y en algunas de ellas sus vertientes costeras, afectando a una población de 3'416,383 habitantes y 12,960 centros poblados” (Censo 2007, INEI).

#### **2.2.4.6. Heladas**

“Las heladas se caracterizan por la disminución abrupta de las temperaturas en las zonas altoandinas, principalmente en Arequipa, Puno, Cusco, Moquegua y Tacna, desde abril a setiembre.” (Escuadrón peruano de la Prevención, 2018).

### **2.2.5 Fenómenos naturales**

El fenómeno de El Niño es una elevación en la temperatura de la superficie del mar, que produce alteración en la presión atmosférica, Se declara un fenómeno “ cuando



existe un incremento de la temperatura superficial promedio del mar en 0,5 °C, o más, por al menos 5 meses consecutivos ” (Hijar et al., 2016)

En el 2017 el fenómeno de El Niño en el Perú dejó impactos altamente negativos en el norte del país que “perduro tres meses, afectaron a 1.5 millones de personas, causaron 162 muertos y dañaron cientos de miles de hogares. Su impacto hace que sea comparable a las inundaciones por el fenómeno El Niño en 1982-1983 y 1997-1998.”(Venkateswaran et al., 2017)

## **2.3. MUROS DE CONTENCIÓN DE GAVIONES Y SU DISEÑO GEOTÉCNICO**

### **2.3.1 Definición de muros de contención de taludes**

Los muros de contención soportan empujes de tierra o de otros materiales, además tienen una serie de beneficios, de acuerdo a su utilización requerido, se identifican una variedad de tipos. Los muros de contención se clasifican según la (AASHTO, 2012) Bridge Desing Specifications en cinco grupos básicos:

- Muros convencionales
- Muros en voladizo sin gravedad
- Muros anclados
- Muros de tierra mecánicamente estabilizados
- Muros modulares prefabricados (AASHTO, 2012)

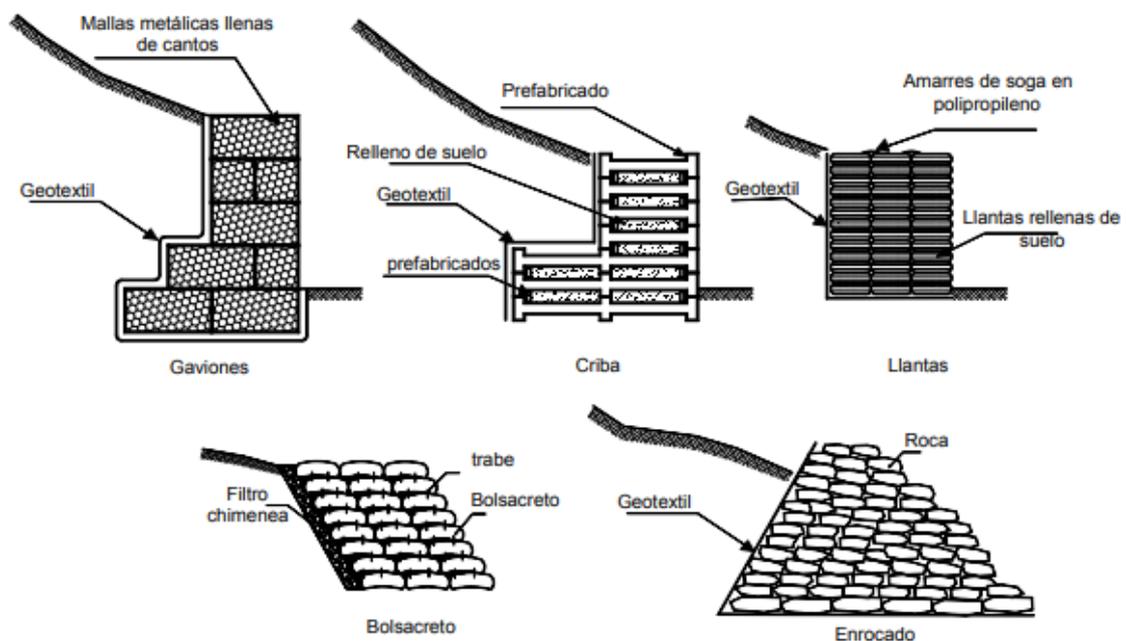
**Muros convencionales:** “Son estructuras de gravedad que utilizan su propio peso con la finalidad de proveer estabilidad contra la rotura de macizos de tierra o roca; evitan el deslizamiento causado por su peso propio o por cargas externas”. (Almeida, 2010) los muros de gravedad se dividen en dos grupos:

- Estructuras flexibles

Las estructuras flexibles “son estructuras formadas por materiales deformables y que pueden, dentro de límites aceptables, adaptarse a las deformaciones y movimientos del terreno, sin perder su estabilidad y eficiencia (ej.: gaviones, bloques articulados, etc.)” (Almeida, 2010) ver Figura 6.

**Figura 6**

*Esquema de algunos tipos de muros flexibles*



Fuente:(Suarez, 2012)

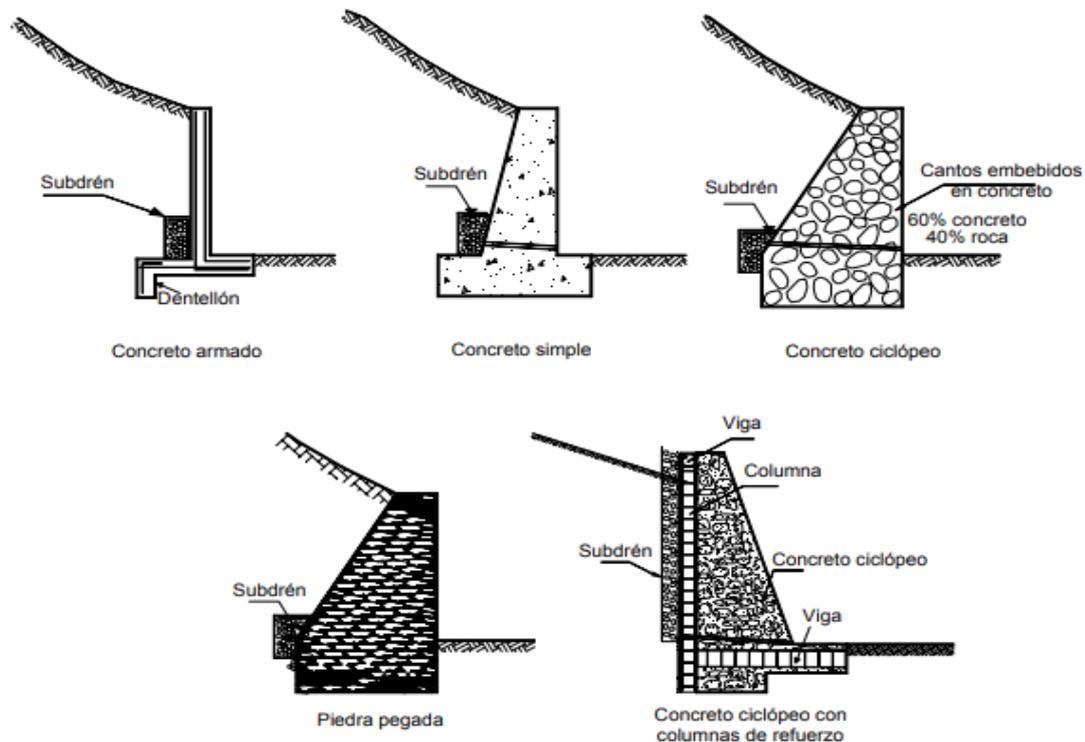
- Estructuras rígidas

Las estructuras rígidas son aquellas que no cambian de forma bajo los empujes de terreno construidas con materiales que no aceptan cualquier tipo de deformación (ej.: concreto ciclópeo, emboquillado de piedras, etc.), ver Figura 7. Son muy utilizadas, pero presentan algunas limitaciones técnicas y de aplicación que son: “Exigen buen terreno de fundación (no aceptan deformaciones o asentamientos); Necesitan de un eficiente sistema

de drenaje; En general, el relleno no puede ser hecho antes de la total culminación de la estructura”. (Almeida, 2010)

### Figura 7

*Esquema de diferentes tipos de muro rígido*



Fuente: (Suarez, 2012)

### 2.3.2 Muros de gravedad con gaviones

Los muros de contención de gaviones que se clasifican como muros de gravedad de estructura flexible proveen soporte al talud, evitan el deslizamiento y ha permitido el empleo eficaz y competitivo en diferentes obras de ingeniería como en muros de contención, presas filtrantes, defensas ribereñas, canales, etc. Tanto en la costa, sierra y selva

Según (Neermal, 2012, p. 37, como se citó en Aguilar Aguinaga, 2016) se define que “una estructura de gaviones es una combinación de mallas de cable y rocas de relleno”. Las características de las estructuras de gaviones son las siguientes:



**Monolitismo:** “Debido a la facilidad de unión de los elementos que forman la estructura, esta puede responder a la incidencia de fuerzas en tres dimensiones.” (Neermal, 2012, como se citó en Aguilar Aguinaga, 2016)

**Flexibilidad:** “La alta resistencia de la malla de cables permite que los elementos se deformen. Dentro de los límites aceptables de deformación, la flexibilidad se otorga a las estructuras de gaviones la capacidad de resistir condiciones en las que estructuras más rígidas colapsarían.” (Neermal, 2012, como se citó en Aguilar Aguinaga, 2016)

**Permeabilidad:** “Los vacíos presentes en el relleno de la estructura permiten el flujo de líquidos a través de esta. Debido a esto, la presión hidráulica de los fluidos no afecta su comportamiento.” (Neermal, 2012, como se citó en Aguilar Aguinaga, 2016)

**Durabilidad:** “Las capas de elementos anticorrosivos como GalFan o el recubrimiento de PVC permiten que la malla resista condiciones bastante severas de exposición ante agentes corrosivos. Además, la ruptura de una sección del cable no necesariamente implica el colapso del elemento gracias al efecto de la torsión del mallado.” (Neermal, 2012, como se citó en Aguilar Aguinaga, 2016)

**Versatilidad:** “Los gaviones pueden ser construidos bajo diversas condiciones ambientales, en temporadas secas o de lluvias y con temperaturas extremas. Además, pueden ser construidos por personal sin gran especialización y se puede utilizar como relleno sacos con arena, bloques de concreto, ladrillos y otros.” (Neermal, 2012, como se citó en Aguilar Aguinaga, 2016)

**Integración con el medio ambiente:** “La capacidad de permeabilidad y la naturaleza del relleno de piedras permite que las estructuras de gaviones se integren al medio ambiente, mediante la aparición de vegetación y partículas de suelo, con el paso



del tiempo o mediante tratamientos especiales.” (Neermal, 2012, como se citó en Aguilar Aguinaga, 2016)

### **2.3.3 Tipos de gaviones según su configuración**

“Los gaviones se definen técnicamente por su capacidad, sus dimensiones, espaciamientos de los alambres que conforman la malla y su diámetro.” (Nuñez, 1988)

Piñar Venega (como se citó en O. Santos et al. 2021) explica que, “según su geometría, existen tres tipos de gaviones: tipo colchón, tipo saco y tipo caja. Cada tipo de gavión tiene diferentes usos y características, las cuales dependen de las condiciones topográficas, geométricas y físicas de cada proyecto a ejecutar.”

Azueto Ruiz (como se citó en O. Santos et al. 2021) identifica que, “para cada uno de estos tipos, los gaviones se pueden clasificar de disímiles formas de acuerdo a los siguientes aspectos” :

- Las dimensiones y formas del gavión como contenedor.
- El tejido de la malla del gavión.
- El tipo de acero y del recubrimiento del alambre de la malla del gavión.
- La abertura de la malla del gavión. (Azueto Ruiz como se citó en O. Santos et al. 2021)

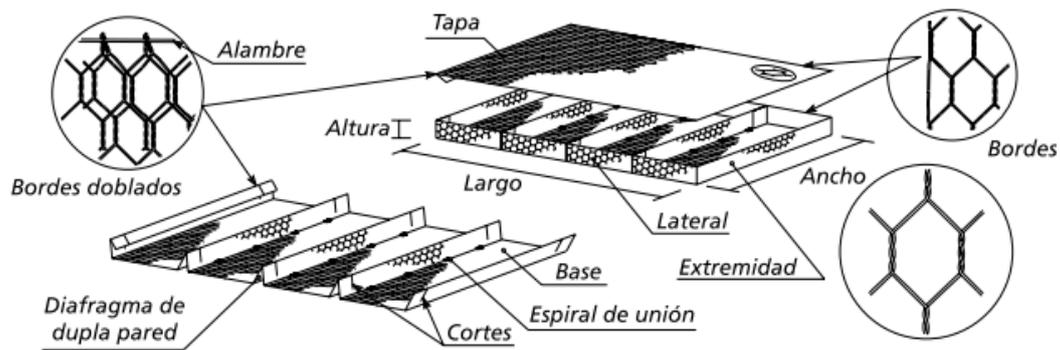
#### **2.3.3.1. Gavión tipo colchón**

Piñar Venega (como se citó en O. Santos et al. 2021) indica que los gaviones tipo colchón son “cuadrados en forma de un colchón convencional de gran área y pequeño espesor variable. Están formados por la base y la tapa como dos elementos separados, contruidos en ambos casos por una red de malla metálica tejida y rellenos con material pétreo de tamaño y peso apropiado.” Para Bhandari (como se citó en O. Santos et al. 2021) “se usa en estructuras de recubrimiento para protección contra la erosión en planos

inclinados, como laderas de ríos o taludes de vías que deben resistir fuertes embates del drenaje longitudinal de la vía”, ver Figura 8.

**Figura 8**

*Elementos constituyentes de los gaviones tipo colchón*



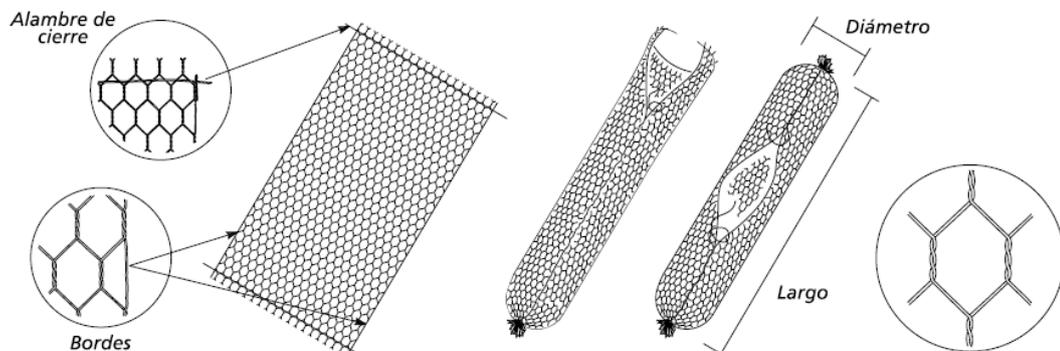
Fuente: (Almeida, 2010)

### 2.3.3.2. Gavión tipo saco

Según (Almeida, 2010) el gavión tipo saco “son estructuras metálicas con forma de cilindro, constituidas por un único paño de malla de torsión, en sus bordes libres, presenta un alambre especial que pasa alternadamente por las mallas para permitir el montaje del elemento en la obra”, ver Figura 9.

**Figura 9**

*Elementos constituyentes de los gaviones tipo saco*



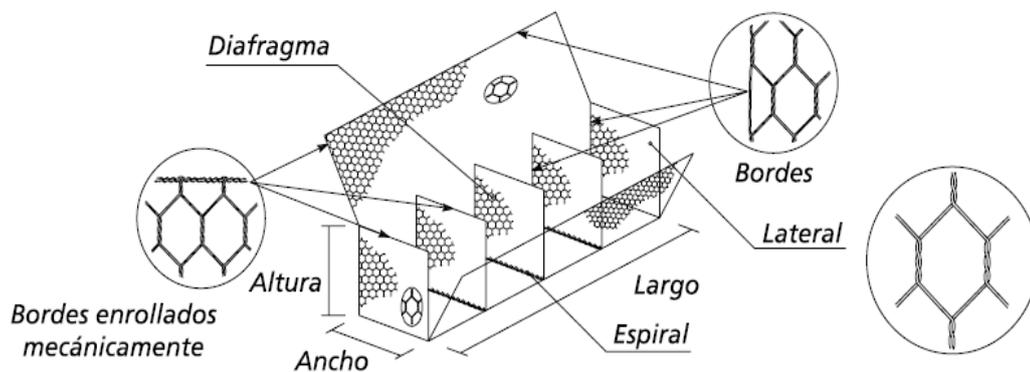
Fuente: (Almeida, 2010)

### 2.3.3.3. Gavión tipo caja

Según (Bianchini, 2017) “el gavión tipo caja consiste en una caja de forma prismática (rectangular o cuadrada), el cual se produce a partir de un único paño de malla metálica, que forma la base, la tapa y las paredes frontal y laterales” ver Figura 10.

**Figura 10**

*Elementos constituyentes de los gaviones tipo caja*



Fuente: (Almeida, 2010)

### 2.3.4 Composición del gavión

“El gavión está compuesto por mallas de alambre galvanizado llenas de cantos, formando cajones unidos por amarres de alambre.” (Suarez, 2001)

#### 2.3.4.1. Malla de alambre galvanizado.

Para construir los gaviones se utilizan diferentes calibres de acero galvanizado, según (Nuñez, 1988): “El gavión Standard, es fabricado con la malla 100x100 cm y a alambre calibre N° 10, que equivale a 3.4mm. El alambre usado en los gaviones es de alta resistencia ( $FY=5000 \text{ kg/cm}^2$ ) con galvanización simple ( $90 \text{ gr/m}^2$ ) o galvanización triple ( $240 \text{ gr/m}^2$ ). Los primeros pueden usarse con seguridad en aguas tréscas y en sitios donde el PH del líquido en contacto él, no sea mayor de 11 ni menor de 6. La triple galvanización

se usarán ambientes químicamente agresivos donde el PH sea menor que 6 y mayor que 11.”

Según (Suarez, 2001) siempre que “el pH del agua en contacto con la malla tenga un pH menor de 6 o mayor de 10 se debe utilizar revestimiento en PVC sobre el galvanizado. El PVC (Cloruro de polivinilo) adherido a fusión aísla totalmente de la humedad y resiste en forma apreciable la corrosión. Su principal ventaja es la protección contra las aguas saladas y las aguas servidas, siendo el ideal para uso en cañadas de aguas negras o en zonas costeras” ver Figura 11.

### Figura 11

*Esquema de alambre galvanizado recubierto en PVC*



Fuente: (Suarez, 2001)

En la elaboración de los gaviones se utilizan diferentes tipos de mallas, las cuales varían en su uso de acuerdo con los requerimientos o planteamientos en los proyectos civiles, los más comunes y usados son las mallas de tipo hexagonal y electrosoldado.

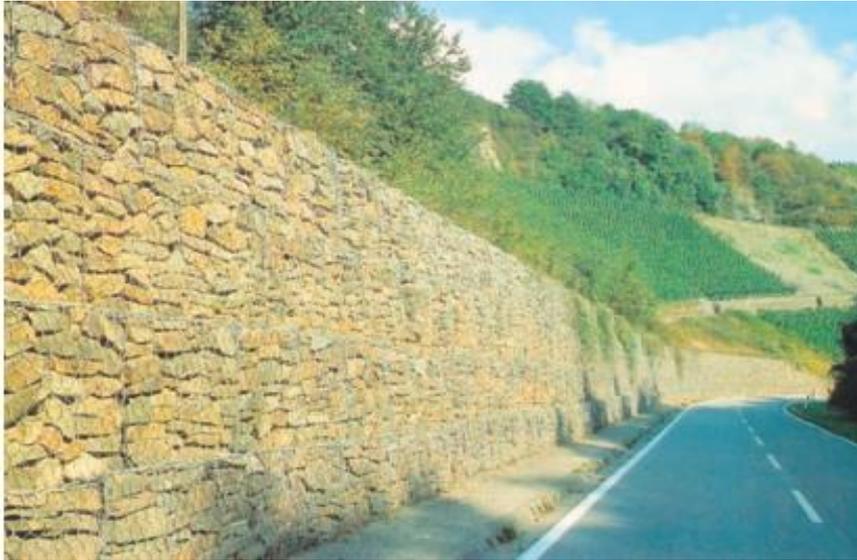
#### **a) Malla hexagonal**

“La malla hexagonal ha sido la tradicionalmente utilizada en todo el mundo. Estas tienen la forma de un hexágono. Las dimensiones de la malla se indican por su escuadría, la cual incluye el ancho entre los dos entorchados paralelos y la altura o distancia entre

entorchados colineales. Los gruesos del alambre varían según las dimensiones de las mallas aumentando proporcionalmente con estas.” (Suarez, 2001), ver Figura 12.

### Figura 12

*Muro de gaviones con malla hexagonal a doble torsión*

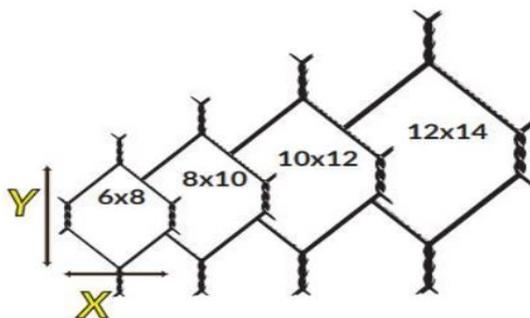


Fuente: (Maccaferri, 2010)

Existen diferentes medidas comerciales de los huecos, pueden ser en cm de 6x8, 8x10, 10x12, 12x14 (Aceros Metales y Mallas LTDA, 2019), ver Figura 13.

### Figura 13

*Dimensiones de la malla hexagonal a triple torsión*



Fuente: (Aceros Metales y Mallas LTDA, 2019)

Diferentes firmas o compañías del mercado fabrican los gaviones con malla hexagonal en dos tipos a doble y triple torsión.

- Doble torsión: “Los productos de la firma Maccaferri en malla hexagonal a doble torsión (NBR 10514, NB710-00 y NP 17 055 00) son fabricados con alambres (NBR 8964, ASTM A641M y NB 709-00) con revestimiento Galfan (ASTM 856M-98, clase 80) o con revestimiento Galfan y protección adicional en material plástico con espesor mínimo de 0,40 mm (NBR 10514, NB 710-00 y NP 17 055 00).” (Maccaferri, 2010)

- Triple torsión: “La característica básica del enrejado de malla hexagonal de triple torsión es facilitar la absorción de los esfuerzos que soportan estas estructuras de gravedad” (Bianchini, 2017). La firma Aceros Metales y mallas fabrican los gaviones con mallas a triple torsión, de alambre de acero, con calibres de 2.20, 2.40, 2.70, 3.00, 3.40 y 3.80 mm. Su tamaño comercial es de 2x1x1 m, y se fabrican de diferentes tamaños de acuerdo con las necesidades puntuales de la obra a realizar,” ver Tabla 2 (Aceros Metales y Mallas LTDA, 2019).

**Tabla 2**

*Dimensiones estándar de los gaviones tipo caja hexagonal*

| Dimensión estándar |           |          | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Diafragmas |
|--------------------|-----------|----------|---------------------------|------------|
| Largo (m)          | Ancho (m) | Alto (m) |                           |            |
| 1.5                | 1.0       | 0.5      | 0.8                       | -          |
| 2.0                | 1.0       | 0.5      | 1.0                       | 1.0        |
| 3.0                | 1.0       | 0.5      | 1.5                       | 2.0        |
| 4.0                | 1.0       | 0.5      | 2.0                       | 3.0        |
| 1.5                | 1.0       | 0.5      | 0.8                       | -          |
| 2.0                | 1.0       | 0.5      | 1.0                       | 1.0        |
| 3.0                | 1.0       | 0.5      | 1.5                       | 2.0        |
| 4.0                | 1.0       | 0.5      | 2.0                       | 3.0        |

Nota: “Las medidas son de fabricación estándar, pero pueden variar según al requerimiento de proyecto, los gaviones por ser estructuras flexibles se pueden amoldar y reducir su longitud mediante el traslape entre gaviones.”

Fuente: (Almeida, 2010)

### b) *Malla electrosoldada*

Según (PRODAC, 2013) “Los gaviones con malla electrosoldada son estructuras formadas por alambres con galvanización pesada eléctricamente soldados que forman unidades eficientes, económicas y técnicas. Este gavión forma una unidad de acero, roca y suelo con la que se obtiene una estructura flexible,” ver Figura 14.

#### **Figura 14**

*Muros de gaviones con malla electrosoldada*



Fuente: (PRODAC, 2013)(Maccaferri, 2010)

“Los gaviones electrosoldados son más fáciles de armar que los gaviones hexagonales, se amoldan a los variados accidentes topográficos de nuestro suelo, y a los hundimientos producidos por desplazamientos de la base del gavión. Se fabrican en diferentes dimensiones,” en la Tabla 3 se aprecia la geometría de las dimensiones de mallas para gaviones producidas por PRODAC, esta compañía se dedica a la industria de gaviones electrosoldados.



**Tabla 3**

*Dimensiones estándares del gavión electrosoldado*

| <b>Tipo</b> | <b>Largo (m)</b> | <b>Ancho (m)</b> | <b>Altura (m)</b> |
|-------------|------------------|------------------|-------------------|
| G - 0.90    | 3                | 1                | 0.3               |
| G - 1.00    | 2                | 1                | 0.5               |
| G - 1.35    | 3                | 1.5              | 0.3               |
| G - 1.50    | 3                | 1                | 0.5               |
| G - 1.80    | 3                | 2                | 0.3               |
| G - 2.00    | 2                | 1                | 1                 |
| G - 2.25    | 3                | 1.5              | 0.5               |
| G - 3.00    | 3                | 1                | 1                 |
| G - 4.50    | 3                | 1.5              | 1                 |

Nota: Las medidas son de fabricación estándar, pero pueden variar según al requerimiento de proyecto, los gaviones por ser estructuras flexibles se pueden amoldar y reducir su longitud mediante el traslape entre gaviones.

Fuente: (PRODAC.2013)

Según (PRODAC, 2013) “Las mallas están constituidas por alambres galvanizados eléctricamente soldados, formando cocadas ortogonales, cuyo módulo puede ser de 75 x 75 mm (3” x 3”) y de 100 x 100 mm (4” x 4”),” y alambre de:

Acero galvanizado # 11 (Diámetro 3.05 mm)

Acero galvanizado # 10 (Diámetro 3.40 mm)

Acero galvanizado # 8 (Diámetro 4.20 mm)

#### **2.3.4.2. Material de relleno para gaviones.**

El (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013) especifica que “el material de relleno, Consistirá preferiblemente de canto rodado o, en su defecto, de material de cantera. Deberá tenerse especial cuidado de no utilizar materiales que se desintegren por



la exposición al agua o a la intemperie, que contengan óxido de hierro, con excesiva alcalinidad, cuya composición pueda afectar el alambre de la canasta. El peso unitario del material de relleno será, al menos, de  $1250 \text{ kg/m}^3$ .” Asimismo, deberá estar acorde con las siguientes características:

**a) *Granulometría***

“El tamaño mínimo de las piedras del material de relleno será, por lo menos, 3 cm mayor que las aberturas de la malla de la canasta.” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

**b) *Resistencia a la abrasión***

“El desgaste del material al ser sometido a ensayo en la máquina de Los Ángeles, deberá ser inferior al 50%.” según la norma AASHTO T-96 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

**c) *Absorción***

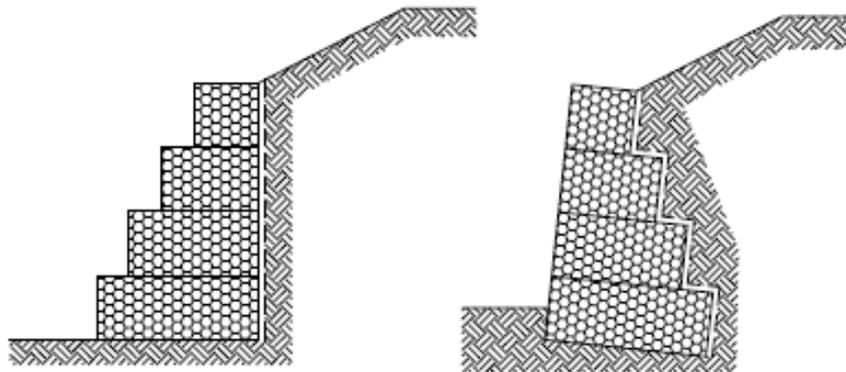
“Su capacidad de absorción de agua será inferior al 2% por peso. Para su determinación se fragmentará una muestra representativa de las piedras y se ensayará” según AASHTO T-85 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

### **2.3.5 Esquemas de armado de las estructuras de gaviones**

Tapia (como se cito en Piñar 2008) indica que: “Para iniciar el análisis, debe suponerse una cierta geometría del muro. Para ello, es importante tener idea del peso específico de los gaviones. Este varía según el tipo de bloques de roca que se utilicen para rellenar las cajas de gaviones, así como el grado de acomodo que se logre, lo cual depende de la habilidad del operador y de la forma de los bloques.” (ver Figura 15)

## Figura 15

*Muro de gaviones con escalones externos y con escalones internos*



Fuente: (Almeida, 2010)

Además, se debe conocer la altura total que deberá tener el muro y el espacio disponible para la base. “Es recomendable contemplar un ángulo de rotación del muro hacia el interior del terreno, con el fin de disminuir el empuje activo. El ángulo de rotación varía en un rango de  $0^\circ$  y  $20^\circ$ , siendo  $6^\circ$  el valor más utilizado.” (Piñar, 2008)

“Datos experimentales concluyen que, considerando un gavión como un elemento aislado, de  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$  es capaz de soportar 5 ton, quiere decir un equivalente de  $0.5\text{ Kg/cm}^2$  sobre el mismo. Ampliando la base y disminuyendo la sección transversal en forma escalonada, se alcanzan alturas de 10 a 15 m”. (Nuñez, 1987)

### 2.3.6 Peso unitario de las estructuras de gaviones

Según (Nuñez, 1987) “El peso unitario de las estructuras de gaviones está en función del peso específico de los materiales rocosos que componen el relleno, considerándose entre 30 a 35% su coeficiente de porosidad.” (ver Tabla 4)

Para (Camargo y Franco 2021) el peso específico del gavión  $\gamma_g$  está dado por la ecuación (2.1).

$$\gamma_g = \gamma_r(1 - n) \quad (2.1)$$

Donde:

$\gamma_g$  “Peso específico de los gaviones, en tn/m<sup>3</sup>”

$\gamma_r$  “Peso específico de la roca de relleno, en tn/m<sup>3</sup>”

$n$  “Porcentaje de vacíos o coeficiente de porosidad”

**Tabla 4**

*Muro de gaviones con escalones externos y con escalones internos*

| <b>Material</b>                                  | <b>Peso. espec. del material rocoso<br/>tn/m<sup>3</sup></b> | <b>Peso. espec. del relleno de los gaviones<br/>tn/m<sup>3</sup></b> |
|--|--|--|
| Basalto  | 2.9  | 1.9  |
| Granito  | 2.6  | 1.7  |
| Piedra caliza compacta                           | 2.6  | 1.7  |
| Cantos rodados (en promedio 0.15 m. De diámetro) | 2.3  | 1.8  |
| Arenisca   | 2.3  | 1.5  |
| Ladrillo   | 1.8  | 1.3  |

Fuente: (Nuñez, 1987)

### 2.3.7 Coeficiente de fricción entre suelo y estructura de gavión

Según (Nuñez, 1988) En cuanto a la resistencia al deslizamiento se considera:

- “Coeficiente de rozamiento entre gavión y gavión  $F = 0.44$ ”
- “Coeficiente de fricción entre colchón y suelo limoso arenoso  $F = 0.74$ ”
- “Coeficiente en suelo de grano grueso que no contiene limo o arcilla, es prudente tomar  $F = 0.55$ ; y si contiene limo  $F = 0.45$ ” ver Tabla 5.

**Tabla 5***Peso específico de la estructura del gavión en función del material de relleno*

|   | <b>Tipo de suelo</b>                  | <b>F</b> |
|---|---------------------------------------|----------|
| Coeficiente de fricción<br>entre suelo y gaviones | Seco y limo arenoso                   | 0.74     |
|   | Granos gruesos sin<br>limo ni arcilla | 0.55     |
|   | Granos<br>gruesos con limo            | 0.45     |
| Coeficiente de fricción<br>ente gaviones          |                                       | 0.44     |

Fuente: (Nuñez, 1988)

Para (Camargo y Franco 2021) “El coeficiente de fricción es de 0.64 entre una superficie de concreto-gavión. Por seguridad se adopta  $\text{Tang } \phi$  independiente de la cohesión, admitiéndose que el deslizamiento se produce entre suelo y suelo.”

“El valor del ángulo de fricción  $\delta$  entre el suelo y la estructura a lo largo de la superficie de aplicación del empuje activo. Se puede tomar este valor como igual al ángulo de fricción interno del suelo  $\delta = \phi$ . Esto es porque la superficie de los gaviones es bastante rugosa, lo que permite un contacto firme entre el suelo y la estructura. Sin embargo, si se utiliza un filtro geotextil entre la cara del muro y el macizo, se debe reducir el valor de ese ángulo de fricción para  $\delta = 0,9$  a  $0,95 \phi$ ”. (Camargo y Franco 2021)

### **2.3.8 Fuerzas que actúan sobre el muro de contención de gavión**

Las estructuras con gaviones esencialmente son de gravedad, sustentados por su propio peso. Las fuerzas que actúan sobre ellos son debidas al empuje del agua o de tierra,



debiéndose estudiar la estabilidad al deslizamiento y volteo, así como las reacciones del terreno como en cualquier tipo de estructura de mampostería. (Nuñez, 1987)

Para (Almeida, 2010) “Las fuerzas presentes son los empujes  $E_a$  y  $E_p$ , el peso propio de la estructura  $P$  y la reacción de la fundación  $R$ . Esta última fuerza puede ser descompuesta en una fuerza normal  $N$  y una fuerza tangente  $T$  a la base de la estructura de contención.” (Ver figura 16)

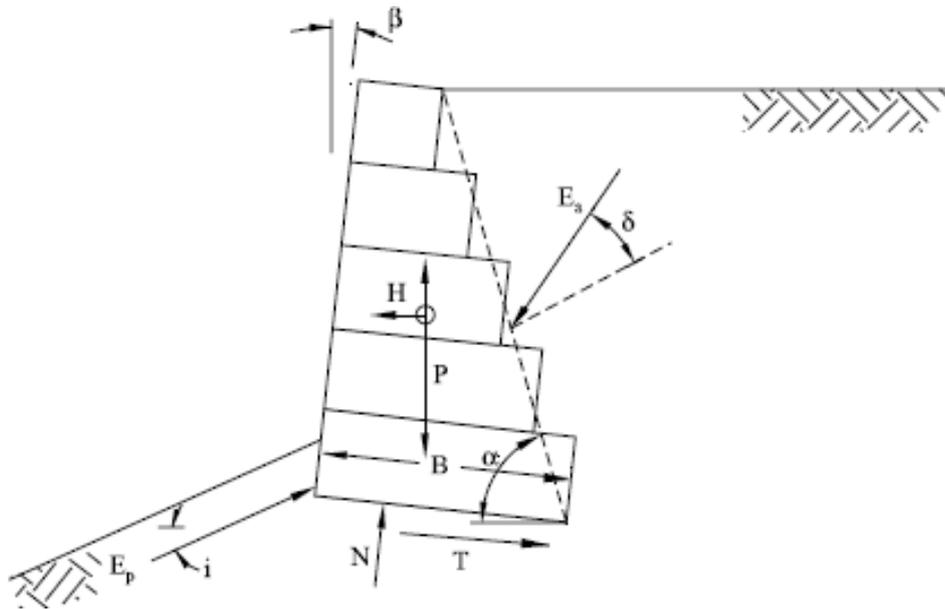
Las circunstancias del gavión pueden ejecutarse en cualquier periodo del año, y aun bajo aplicación de cargas desfavorables o condiciones climatológicas adversas.

Según (Nuñez, 1988) “Para aumentar la estabilidad es recomendable que el muro este inclinado unos 5 ó 6 grados. Los factores de seguridad de la estructura contra el volteo, el deslizamiento y la presión en la base, los estimara el diseñador de acuerdo a las condiciones particulares del lugar de construcción. Para los dos primeros generalmente es de 1.5 y para el tercero se tomarán en cuenta: las recomendaciones de un estudio de mecánica de suelos.”

Para (Almeida, 2010) “Las fuerzas presentes son los empujes  $E_a$  y  $E_p$ , el peso propio de la estructura  $P$  y la reacción de la fundación  $R$ . Esta última fuerza puede ser descompuesta en una fuerza normal  $N$  y una fuerza tangente  $T$  a la base de la estructura de contención.” (Ver Figura 16)

## Figura 16

### *Fuerzas aplicadas al muro*



Fuente: (Almeida, 2010)

Donde:

$E_a$  “Empuje activo”

$E_p$  “Empuje pasivo”

$P$  “Peso de la estructura”

$N$  “Fuerza normal actuando en la base”

$T$  “Fuerza de corte actuando en la base”

En el caso que deba ser considerado el efecto sísmico, se deben incluir también las fuerzas “H” y “V”. En los casos en que se deba considerar también un efecto sísmico, además del peso “P” actúan sobre el muro dos fuerzas de inercia aplicadas en “G”: una de ellas horizontal “H” y la otra vertical “V” dadas por las ecuaciones (2.2) y (2.3) (Maccaferri, 2010.)



$$H = C_h \cdot P \quad (2.2)$$

$$V = C_v \cdot P \quad (2.3)$$

Dónde:  $C_h$  y  $C_v$  son los valores de coeficientes de aceleración sísmica en direcciones horizontales y verticales en relación los datos estadísticos de ocurrencia de sismos en el lugar.

### 2.3.8.1. Fuerza Normal y cortante en la base del muro

Las fuerzas “N” y “T” son determinadas a partir del equilibrio de las fuerzas que actúan en las dirección normal y tangencial a la base, respectivamente, ver ecuaciones (2.5) y (2.7) (Maccaferri, 2010.)

#### - Sumatoria de fuerzas respecto a la fuerza normal N:

$$N - (P - V) \cdot \cos(\beta) - E_a \cdot \cos(\alpha - \delta - \beta) - E_p \cdot \cos(90 - (i + \beta)) - H \cdot \text{sen}(\beta) = 0 \quad (2.4)$$

Desarrollando se obtiene la ecuación (2.5)

$$N = (P - V) \cdot \cos(\beta) + E_a \cdot \cos(\alpha - \delta - \beta) - E_p \cdot \text{sen}(i + \beta) + H \cdot \text{sen}(\beta) = 0 \quad (2.5)$$

#### - Sumatoria de fuerzas respecto a la fuerza de corte T

$$T + (P - V) \cdot \text{sen}(\beta) - E_p \cdot \text{sen}(i + \beta) - E_a \cdot \text{sen}(\alpha - \delta - \beta) - H \cdot \cos(\beta) = 0 \quad (2.6)$$

Desarrollando se obtiene la ecuación (2.7)

$$T = -(P - V) \cdot \text{sen}(\beta) - E_a \cdot \text{sen}(\alpha - \delta - \beta) - E_p \cdot \text{sen}(i + \beta) + H \cdot \cos(\beta) = 0 \quad (2.7)$$

### 2.3.8.2. Empuje Activo

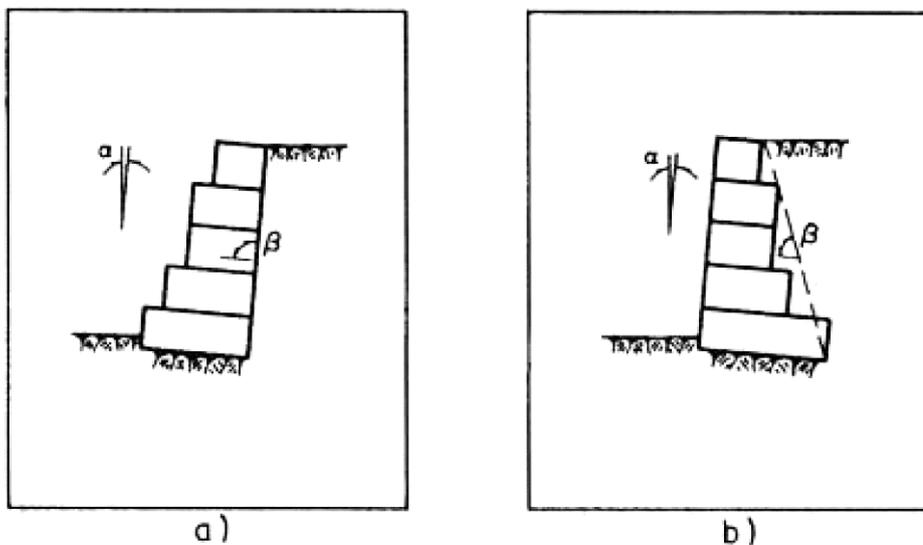
“Para determinar el valor del empuje se utiliza en método Coulomb basado en el estudio del equilibrio de una cuña bidimensional de suelo indeformable sobre la cual actúa

el peso propio del relleno, la fuerza de fricción interna que se distribuye de manera uniforme a lo largo de la superficie de rotura plana, y eventualmente la cohesión del suelo. En el caso particular de muros formados con gaviones se omite el empuje hidrostático por ser permeable la estructura.” (Camargo y Franco 2021)

“Cuando se trata de un muro comparado paramento vertical interno, la superficie de empuje es ese propio paramento, ver Figura 17 (a). En el caso de un muro con escalones internos se considera la superficie que une los extremos internos superior e inferior del muro, ver Figura 17 (b) y quedando así definido el ángulo  $\beta$  formado por el plano de empuje y la horizontal.” (Camargo y Franco 2021)

**Figura 17**

*Planos de empuje en muros de retención*



Fuente: (Camargo y Franco 2021)

Para (Camargo y Franco 2021) “El empuje activo en el muro de sostenimiento se determina con la expresión (2.8):

$$E_a = \frac{1}{2} k a \gamma_s H^2 - 2 k_a^{1/2} C H \quad (2.8)$$

$$H = [h + (B - a)\tan\alpha]\cos\alpha \quad (2.9)$$

$$\beta = \text{Arctang}\left(\frac{h}{B - a}\right) + \alpha \quad (2.10)$$

$$k_a = \frac{\sin^2(\beta + \varphi)}{\sin^2\beta \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta)\sin(\beta + \varepsilon)}}\right]^2} \quad (2.11)$$

Donde

$E_a$  “Empuje activo, en tn/m”

$k_a$  “coeficiente de empuje activo”

$\gamma_s$  “peso específico del suelo, en tn/m<sup>3</sup>”

H “altura donde actúa el empuje, en m”

h “altura de muro, en m”

B “base del muro sin considerar los escalones externos, en m”

a “ancho del muro en la corona, en m”

$\alpha$  “inclinación del muro con la vertical, en grados”

$\beta$  “ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal en grados”

$\varphi$  “ángulo de fricción interna del material, en grados”

$\delta$  “ángulo de fricción entre muro y terreno en grados en muros de gaviones,

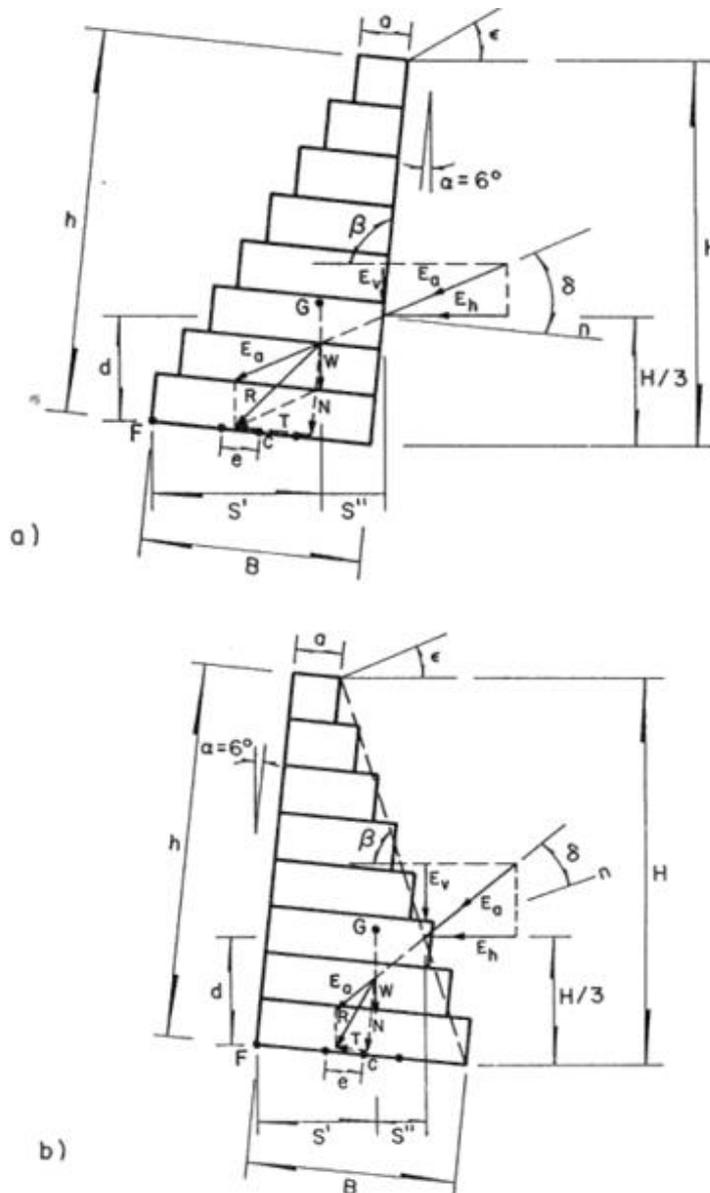
se puede suponer  $\delta = \varphi$ . Si igual si tras en muro hay un geotextil,  $\delta = 0.9\varphi$ ”

$\varepsilon$  “ángulo de talud sobre el muro con la horizontal en grados”

C “cohesión, en tn/m<sup>2</sup>”

**Figura 18**

*Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes en los muros de retención*



Fuente: (Camargo y Franco 2021)

“Generalmente, la cohesión no se toma en cuenta, ya que ella se modifica con el tiempo y no tiene gran influencia en el valor final del empuje. En caso de que exista una sobrecarga encima del muro de retención,  $q$ , ésta es asimilada en un relleno de altura  $h_s$  de las mismas características de relleno.” (Camargo y Franco 2021). De esta manera, se tiene que:

$$hs = q/\gamma_s \quad (2.12)$$

$$E_a = \frac{1}{2}ka\gamma_s H^2 \left[1 + \frac{2hs}{H}\right] - 2k_a^{1/2} CH \quad (2.13)$$

Normalmente, cuando la sobrecargas de vida vehículo, se adopta  $q = 1.5$  a  $2.0$  tn/m<sup>2</sup>.

Para (Camargo y Franco 2021) “la altura del punto de aplicación del empuje es difícil de evaluar y varía bastante en la práctica; en general, dicho punto puede producirse a una altura comprendida entre  $0.5$  y  $0.33 H$ . En algunos casos, la variación se debe al desplazamiento del muro, a su rigidez e inclinación, a modificaciones en las características del terreno y a sobrecarga. Con frecuencia, se considera  $0.33 H$ ” (ver Figura 18)

Para (Camargo y Franco 2021) “la altura del lugar donde se aplique el punto activo “d”, medida verticalmente desde la horizontal que pasa por el punto de giro F” (ver Figura 18), está dado por:

$$d = \frac{H}{3} \left[ \frac{H + 3hs}{H + 2hs} \right] - B \operatorname{sen} \alpha \quad (2.14)$$

para condición con sobrecarga, y

$$d = \frac{H}{3} - B \operatorname{sen} \alpha \quad (2.15)$$

para condición sin sobrecarga.

Si  $\alpha = 0$ ,  $d=H/3$



### 2.3.8.3. Empuje pasivo

Según Macafferri (como se cito en Piñar 2008) “Al moverse, bajo el efecto del terreno sostenido, la estructura puede encontrar cierta resistencia del suelo que está frente a él. En ese punto, se forma un estado pasivo que sirve como obstáculo al deslizamiento de la estructura. Es importante notar que, no en todos los casos, se puede contar con esta fuerza resistente. Si se ejecutara una excavación o se produjera una erosión, esta fuerza podría ser disminuida o incluso podría llegar a anularse. Algunos diseñadores, de manera conservadora, no contemplan el empuje pasivo en el análisis.”

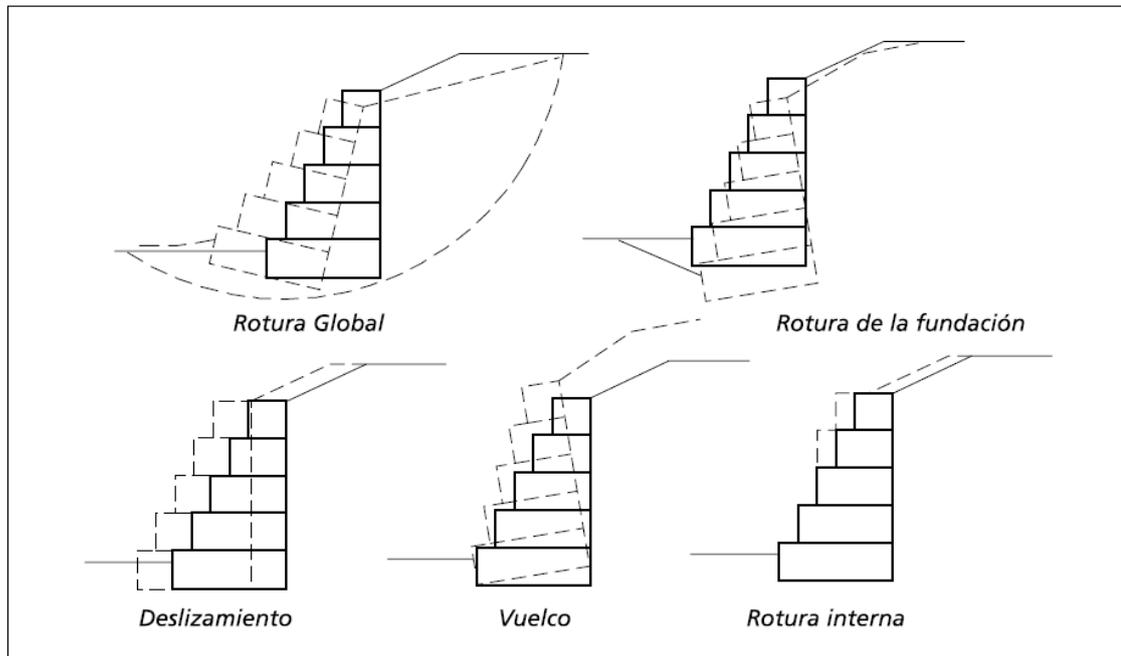
### 2.3.9 Estabilidad del muro de contención de gaviones

“Es necesario la verificación de seguridad de la estructura de contención a los diversos tipos de rotura. En el caso de muros de contención de gaviones, los tipos principales de rotura que pueden ocurrir” están mostrados en la Figura 19 (Almeida, 2010)

- “Verificación de estabilidad contra el deslizamiento”
- “Verificación contra el vuelco”
- “Verificación de las presiones aplicadas a la fundación”
- “Verificación de la estabilidad contra la rotura interna”
- “Verificación de la estabilidad contra la rotura global” (Almeida, 2010)

## Figura 19

### *Tipos de rotura de muros de gaviones*



Fuente: (Maccaferri, 2010.)

#### **2.3.9.1. Verificación de estabilidad contra el deslizamiento**

“En el análisis de muros de contención, existen fuerzas que tienden a desplazar el muro de contención (como el empuje activo o el empuje causado por la sobrecarga). A contraparte, existen fuerzas que mantienen el muro de contención en su posición original.” (R. Vargas, 2013)

“El deslizamiento de la estructura ocurre cuando la resistencia contra el deslizamiento a lo largo de la base del muro de contención, sumado al empuje pasivo disponible en el frente, no es suficiente para contraponer el empuje activo” (Almeida, 2010)

“En ningún caso, el coeficiente de las fuerzas estabilizantes y las desestabilizantes deben ser menor que el coeficiente de deslizamiento entre el terreno donde se construye

el muro y éste o el existente para dos planos del mismo material que tratan de deslizarse.”  
(Camargo y Franco 2021).

“El Factor de seguridad contra el deslizamiento ( $FS_{deslizamiento}$ ) resulta de la comparación de las fuerzas resistentes con las fuerzas que tienden a producir el deslizamiento.” (Piñar, 2008). Ver ecuación (2.16)

$$FS_{deslizamiento} = \left( \frac{\text{sumatoria de fuerzas resistentes}}{\text{sumatoria de fuerzas desestabilizante}} \right) \quad (2.16)$$

“Se sugiere también que el valor de  $FS_{deslizamiento} = 1.5$  sea para suelos no cohesivos y  $FS_{deslizamiento} = 2$  para suelos cohesivos.” (Almeida, 2010)

Según (Camargo y Franco 2021) de la Figura 18 obtenemos las siguientes ecuaciones

$$E_v = E_a \text{sen}(90^\circ + \delta - \beta) \quad (2.17)$$

$$E_h = E_a \text{cos}(90^\circ + \delta - \beta) \quad (2.18)$$

Donde:

$E_v$       Componente vertical del empuje activo  $E_a$ , en tn/m

$E_h$       Componente horizontal del empuje activo  $E_a$ , en tn/m

Para (Camargo y Franco 2021) “el factor de seguridad contra el deslizamiento está dado por la ecuación” (2.19)

$$FS_d = \frac{[(W + E_v)\text{cos}\alpha + E_h\text{sen}\alpha]\text{tan}\varphi + (W + E_v)\text{sen}\alpha + CB}{E_h\text{cos}\alpha} \quad (2.19)$$

$$W = \gamma_g S \quad (2.20)$$



$$S = h(a) + \frac{(B - a)h}{2} \quad (2.21)$$

Donde:

$FS_d$  “Factor de seguridad al deslizamiento”

$W$  “Peso propio de la estructura, en tn/m”

$S$  “Sección transversal del muro de gavión, m<sup>2</sup>”

$\alpha$  “Inclinación del muro con la vertical, en grados”

$B$  “Ancho de la base del muro al desprejar los escalones externos, en grados.”

$C$  “Cohesión, en tn/m<sup>2</sup>”

#### 2.3.9.2. Verificación contra el vuelco

“Se debe verificar la estabilidad del muro de contención ante las fuerzas que pueden Causar el vuelco.” (R. Vargas, 2013)

“El vuelco de la estructura ocurre cuando el momento estabilizante del peso propio del muro en relación al punto de vuelco es insuficiente para neutralizar el momento del empuje activo.”(Almeida, 2010)

Para (Camargo y Franco 2021) al considerar como fuerza estabilizante “el peso propio del muro y el componente vertical del impulso activo y como fuerzas desestabilizantes el componente horizontal del mismo empuje.” “El factor de Seguridad contra el vuelco  $FS_{vuelco}$  se define como la relación entre los momentos de giro que se oponen a la falla (momentos resistentes) y los momentos de giro a favor de la falla (momentos volcantes)” (Piñar, 2008), ver ecuación (2.22)

$$FS_{vuelco} = \left( \frac{\text{sumatoria de momentos resistentes}}{\text{sumatoria de momentos volcantes}} \right) \quad (2.22)$$

Se sugiere que el valor mínimo para el coeficiente de seguridad contra el vuelco sea " $FS_{vuelco} \geq 1.5$ " (Almeida, 2010)

Según (Camargo y Franco 2021) de la Figura 18 obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$M_V = E_h d \quad (2.23)$$

$$M_r = WS'' + E_V S' \quad (2.24)$$

$$S' = B \cos \alpha - \frac{H}{3} \left[ \frac{H + 3h_s}{H + 2h_s} \right] \frac{1}{\tan \beta} \quad (2.25)$$

$$S'' = X_g \cos \alpha + Y_g \sin \alpha \quad (2.26)$$

$$X_g = \frac{\frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot h + \frac{1}{6} \cdot h(B^2 + a \cdot B - 2a^2)}{S} \quad (2.27)$$

$$Y_g = \frac{\frac{1}{2} \cdot a \cdot h^2 + \frac{1}{6} \cdot h^2(B - a)}{S} \quad (2.28)$$

Donde:

- S "Sección transversal del muro de gavión, m<sup>2</sup>"
- S' "Distancia horizontal entre el punto de vuelco F y el punto de aplicación del empuje activo, m"
- S'' "Distancia horizontal entre el punto de vuelco F y el punto de aplicación del peso, m"

$X_g, Y_g$  “Coordenadas del centro de gravedad referidas a un sistema coordenado cuyo origen coincide con el punto F, m”

Para (Camargo y Franco 2021) el factor de seguridad contra el vuelco esta dado por la ecuación (2.29).

$$FS_v = \frac{M_r}{M_v} \geq 1.5 \quad (2.29)$$

### 2.3.9.3. Verificación de las presiones aplicadas a la fundación

“Otra verificación necesaria es la que está relacionada con las presiones que son aplicadas en la fundación por la estructura de contención. Estas presiones no deben superar el valor de la capacidad de carga del suelo de fundación.” (Almeida, 2010)

“La rotura de la fundación o asentamientos excesivos: ocurre cuando las presiones aplicadas por la estructura sobre el suelo de fundación son superiores a su capacidad de carga.” (Almeida, 2010)

(Camargo y Franco 2021) Suponen que existe “una distribución lineal de esfuerzos sobre el terreno, no se debe admitir fatigas mayores que las estipuladas como de trabajo de terreno. Cuando la resultante cae dentro del núcleo central de la base, los esfuerzos resultantes, obtenidos mediante la aplicación de la fórmula de escuadría están dados por la ecuación” (2.30)

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{matrix} \right\} = \frac{N}{B} \left[ 1 \pm \frac{6e}{B} \right] \quad (2.30)$$

Cuando  $e < \frac{B}{6}$

Donde:

$N$  “Resultante de las fuerzas normales en la base del muro” (ver Figura 18)  
y es igual a la ecuación (2.31)

$$N = (W + E_v)\cos\alpha + E_h\sen\alpha \quad (2.31)$$

$e$  “Excentricidad”, en m (ver Figura 18) está dado por la ecuación (2.32)

$$e = \frac{B}{2} - \left[ \frac{M_r - M_v}{N} \right] \quad (2.32)$$

$\sigma_1, \sigma_2$  Esfuerzos de trabajo del terreno

(Camargo y Franco 2021) Indica, “si la resultante cae fuera del núcleo central, se reduce la sección de trabajo de la base, como puede ocurrir en los muros con gaviones por su gran flexibilidad; la excentricidad real valdrá en este caso la ecuación” (2.33)

$$e' = \frac{B}{2} - e \quad (2.33)$$

Para  $e > \frac{B}{6}$ , los esfuerzos de trabajo  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ , están dados por las ecuaciones (2.34)

y (2.35)

$$\sigma_1 = \frac{2N}{3e'} \quad (2.34)$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 \frac{B - 3e'}{3e'} \quad (2.35)$$

(Camargo y Franco 2021) “Recomienda que  $\sigma_2 \leq 2 t/m^2$  en presión y  $\sigma_1$  no debe sobrepasar la presión admisible del terreno.”

#### 2.3.9.4. Verificación de la estabilidad contra la rotura interna

“Se requiere verificar la estabilidad en secciones inmediatas del muro de retención, para evitar la falla de la estructura. Al considerar las fuerzas estabilizantes, que son el peso propio del muro y el componente vertical del empuje activo, y la fuerza desestabilizante, que es el componente horizontal de dicho empuje hasta la sección de análisis” (Camargo y Franco 2021), los esfuerzos resultantes a la compresión y a la tensión tangencial” se obtiene con las ecuaciones (2.36) y (2.37)

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{0.8X} \quad (2.36)$$

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{T}{B} \quad (2.37)$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$  “Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis, en  $\text{tn/m}^2$ ”

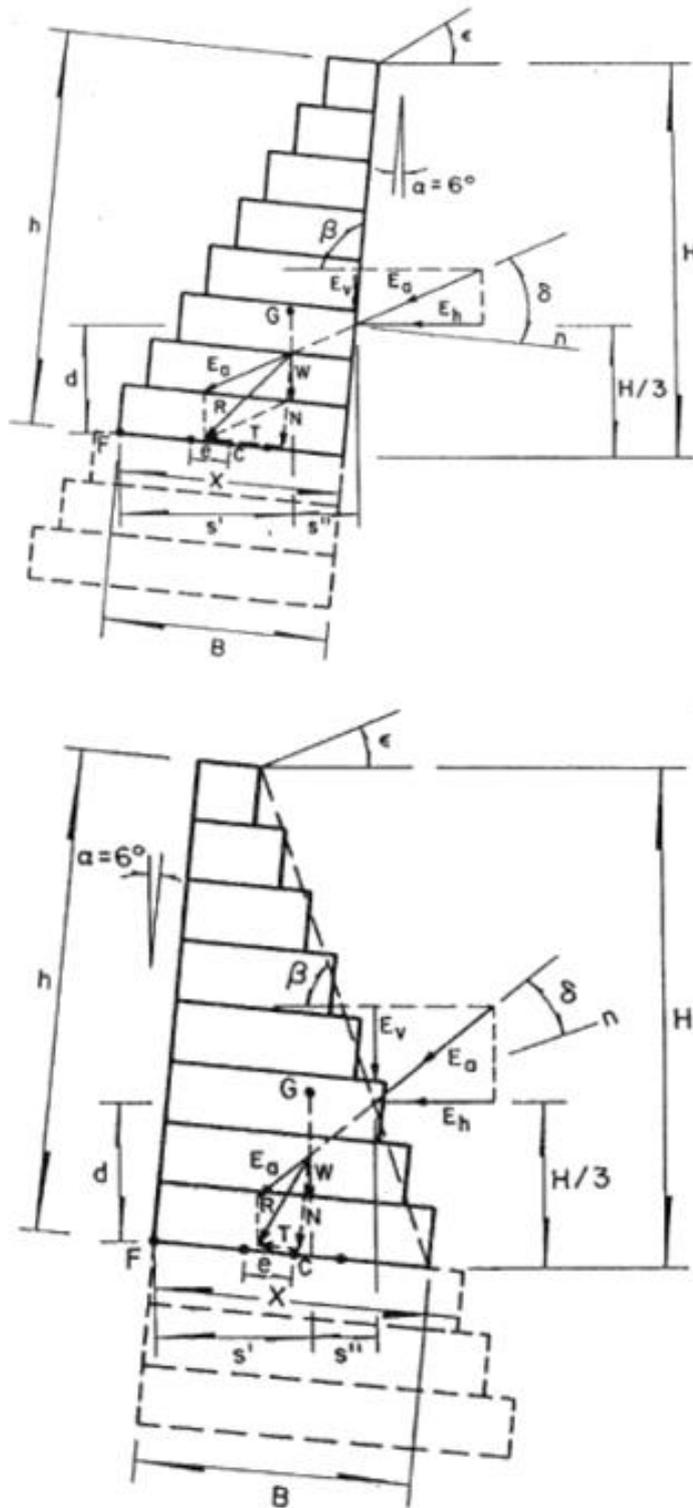
$T_{m\acute{a}x}$  “Tensión tangencial en las en la sección de análisis, en  $\text{tn/m}^2$ ”

$N$  “Resultante de las fuerzas normales en la sección de análisis, en  $\text{tn/m}$ ”  
(Ver Figura 20)

$$N = (W + E_v)\cos\alpha + E_h\text{sen}\alpha \quad (2.38)$$

**Figura 20**

*Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes para una sección intermedia de retención*



Fuente: (Camargo y Franco 2021)

T “Resultante de las fuerzas tangenciales en la sección de análisis” (Ver Figura 20)

$$T = E_h \cos \alpha - (W + E_v) \operatorname{sen} \alpha \quad (2.39)$$

X “Ancho de la sección que está trabajando a la compresión” (Ver Figura 20)

$$X = \frac{0.5B - e}{0.4} \quad (2.40)$$

B “Ancho de la base de la sección de análisis” (Ver Figura 20)

e “Excentricidad de la resultante, en la sección de análisis” (Ver Figura 20)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M}{N} \quad (2.41)$$

M “Momento actual de la sección de análisis”, que tome en cuenta el momento resistente  $M_r$  ver ecuación (2.24) y el de volteo ver ecuación (2.23)

$$M = M_r - M_v \quad (2.42)$$

Los valores de  $\sigma_{m\acute{a}x}$  y  $T_{m\acute{a}x}$  no debe ser superior a las variaciones admisibles dadas por las ecuaciones (2.43) y (2.44)

$$\sigma_{adm} = 50\gamma_g - 30 \quad (2.43)$$

$$T_{adm} = \frac{N}{B} \tan \varphi^* + C_g \quad (2.44)$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  “Esfuerzo normal admisible, en tn/m<sup>2</sup>”

$T_{adm}$  “Tensión tangencial admisible, en tn/m<sup>2</sup>”

$\gamma_g$  “Peso específico de los gaviones, en tn/m<sup>3</sup>” ver ecuación (2.1)

$\varphi^*$  “Ángulo de fricción interna de los gaviones, en grados”

$$\varphi^* = 25\gamma_g - 10 \quad (2.45)$$

$C_g$  “Cohesión (agarre) del gavión en tn/m<sup>2</sup>”

$$C_g = 10(0.03P_u - 0.05) \quad (2.46)$$

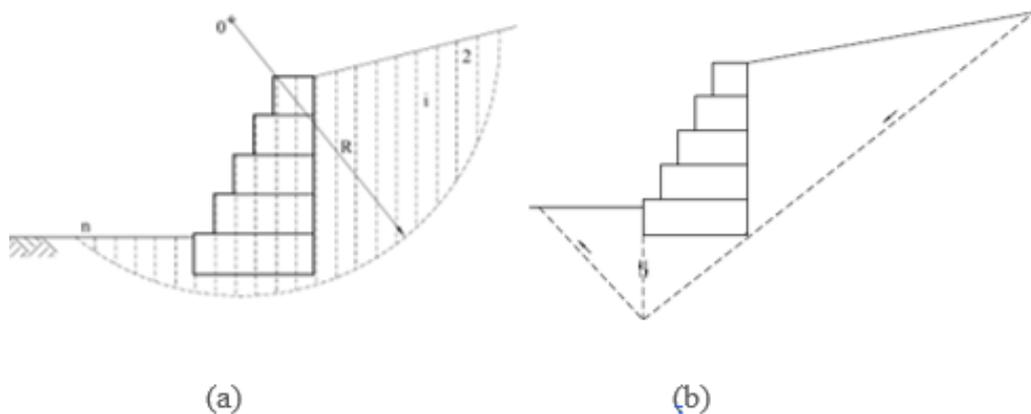
$P_u$  “Peso de la malla metálica en kgf/m<sup>3</sup>; para gaviones tipo estándar, vale entre 8.6 y 12 kgf/m<sup>3</sup> con alturas de gavión h del .0 a 0.5 m respectivamente. En el tercio inferior de muros de considerable altura, conviene ubicar gaviones de 0.5 m”

#### 2.3.9.5. Verificación de la estabilidad contra la rotura global

“La inestabilidad de un muro de retención formado con gaviones puede presentarse por una falla del conjunto suelo - muro a lo largo de una superficie curva de deslizamiento, más o menos cilíndrica [ver Figura 21 (a)]. Por consiguiente, se requiere establecer las condiciones de equilibrio de todas las fuerzas que actúan en la masa deslizante el análisis se realiza para diversas superficies y se determina que haya de falla crítica por ejemplo el método de las fajas pequeños y el de Bishop entre otros. Otro sistema simplificado aproxima la superficie de rotura a una recta” (ver Figura 21 (b)). (Camargo y Franco 2021)

## Figura 21

(a) Superficie de rotura cilíndrica, (b) Superficie de rotura plana



Fuente: (Maccaferri, 2010.)

Según (Almeida, 2010) “esta forma de deslizamiento es similar a la que ocurre en taludes y por lo tanto los métodos utilizados en el análisis de estabilidad de taludes también aquí pueden ser utilizados.”

Para la presente investigación se verificará la estabilidad contra la rotura global mediante el método de las dovelas.

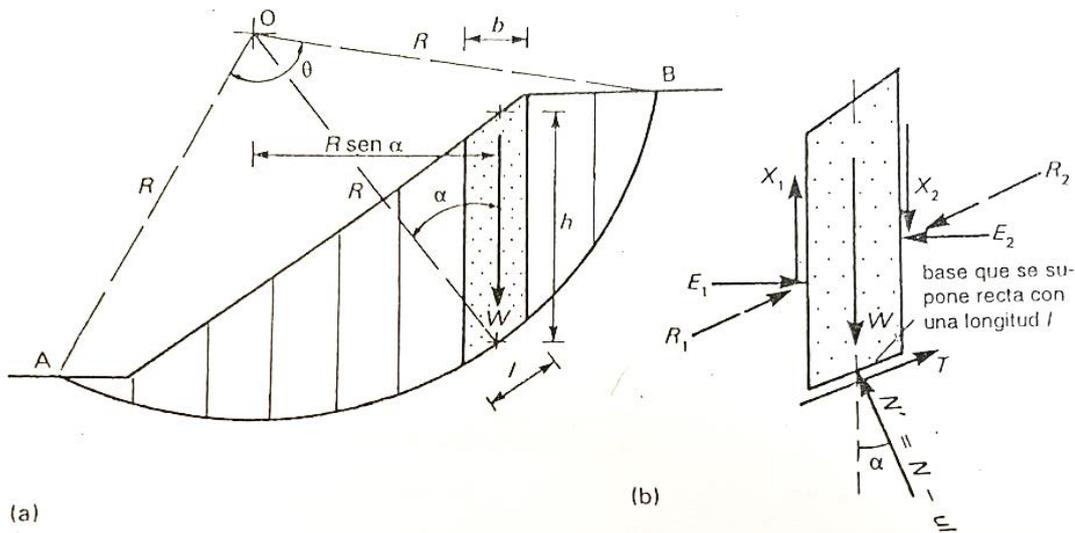
(R. Whitlow, 1999) señala que “debido a las variaciones de los esfuerzos a lo largo de la superficie de deslizamiento de prueba, la masa deslizante se considera como una serie de dovelas. Si selecciona un círculo de deslizamiento de prueba con centro en O y radio R [(ver Figura 22)] y, por conveniencia, la distancia horizontal entre los dos extremos A y B se divide en dovelas de anchuras b iguales. Las fuerzas que actúan en una dovela de 1 m de longitud” son como sigue:

|      |  |
|------|--|
| $W$  | “Peso del cuerpo de la dovela”                               |
| $N'$ | “Fuerza efectiva normal de reacción en la base de la dovela” |
| $T$  | “Fuerza cortante inducido a lo largo de la base”             |

- $R_1, R_2$  “Fuerzas impuestas en las caras laterales de las dovelas, provenientes de las dovelas adyacentes,” que pueden resolverse en:
- $E_1, E_2$  “Fuerzas normales interdovelas”
- $X_1, X_2$  “Fuerzas tangenciales interdovelas” (R. Whitlow, 1999)

**Figura 22**

*Método de las dovelas: (a) División de las masas deslizante, (b) Fuerzas en una dovela*



Fuente: (R. Whitlow, 1999)

“En el cálculo del peso del cuerpo y otras fuerzas, deben incluirse los efectos de la sobrecarga en la superficie. En el punto de equilibrio límite el momento actuante total quedará balanceado exactamente por el momento resistentes de la fuerza cortante movilizada total a lo largo de AB.” (R. Whitlow, 1999)

$$\Sigma \tau_m l R = \Sigma \frac{\tau_f}{F} l R = \Sigma W \text{sen} \alpha R \quad (2.47)$$

Lo que resulta

$$F = \frac{\Sigma \tau_f l}{\Sigma W \text{sen} \alpha} \quad (2.48)$$



Ahora, en términos del esfuerzo efectivo,

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \varphi' \quad (2.49)$$

$$\tau_f l = c'l + N' \tan \varphi' \quad (2.50)$$

Por lo que,

$$F = \frac{\Sigma c'l + \Sigma N' \tan \varphi'}{\Sigma W \operatorname{sen} \alpha} \quad (2.51)$$

O bien, si el suelo es homogéneo,

$$F = \frac{c' L_{AC} + \tan \varphi' \Sigma N'}{\Sigma W \operatorname{sen} \alpha} \quad (2.52)$$

Donde:

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| $F = \frac{\tau_f}{\tau_m}$ | “Factor de seguridad con respecto a la resistencia”                                      |
| $\tau_m$                    | “Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla” |
| $\tau_f$                    | “Resistencia media del suelo al corte”   |
| $l$                         | “Longitud de arco”   |
| $R$                         | “Radio del círculo de falla”   |
| $c'$                        | “Cohesión”   |
| $\sigma'_n$                 | “Esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla”                           |
| $\varphi'$                  | “Ángulo de fricción de drenado”  |
| $L_{AC}$                    | “Longitud de arco $AC = \theta R$ ”  |



Para Tapia (como se cito en Piñar 2008) “Incluyendo las consideraciones de sismo, se requiere un factor de seguridad contra la falla global superior a 1.2.”

### **2.3.10 Estabilidad en muros de contención de gaviones mediante el uso del software GAWACWIN GSC**

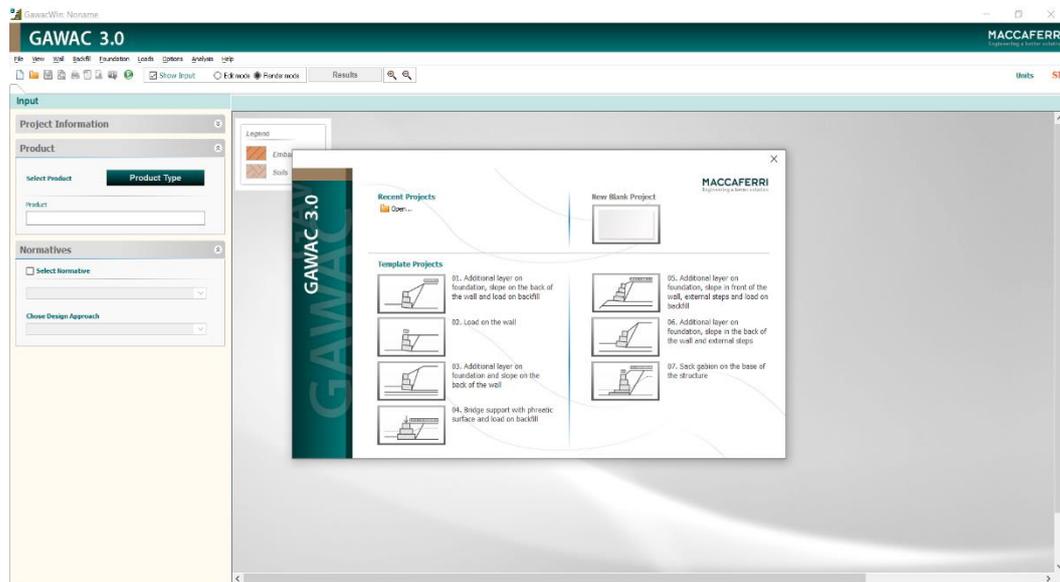
El programa GawacWin GSC “es un sistema de análisis de estabilidad de muros de contención en gaviones sujeto a las más diversas situaciones. Utiliza el método del equilibrio limite, las teorías de Rankine, Coulomb, Meyerhof, Hansen y Bishop (optimizado a través del algoritmo minimizador simplex) para la verificación de la estabilidad global del conjunto suelo/estructura.” (Maccaferri, 2014)

“El programa tiene en consideración las características mecánicas de los gaviones, producidos por el Grupo Maccaferri.” (Maccaferri, 2014)

Maccaferri lanzó la nueva versión del software GawacWin GSC en mayo del 2021 con la denominación GawacWin GSC 3.0 – SP, en la Figura 23 se muestra el interfaz del programa en su última versión, asimismo su última actualización a la fecha fue en mayo del 2022, con un tamaño de 10.66 KB, la descarga del software de diseño es gratuito mediante la página oficial de Maccaferri y para finales de mayo del 2022 se cuenta con 4873 descargas, como se muestra en la Figura 24. (Maccaferri, 2022)

## Figura 23

Interfaz del software GawacWin GSC 3.0 – SP-May-2022



Fuente: (Maccaferri 2022)

## Figura 24

Características del instalador GawacWin GSC 3.0 – SP-May-2022

### Software – BR – Instalador GAWACWIN 3.0 – SP-May-22

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| Version      |                 |
| Categories   | Design Software |
| Download     | 4873            |
| Size         | 10.66 KB        |
| Create Date  | May 5, 2021     |
| Last Updated | May 3, 2022     |

Fuente: (Maccaferri 2022)

“La gran ventaja de Gawac 3.0 es la inclusión del análisis de estabilidad en las condiciones de servicio, a través de GSC (Análisis de la Estructura en la Condición de Servicio). Este tipo de análisis permite al usuario evaluar las secciones transversales del muro en gaviones en las condiciones más adecuadas mediante el mejor desempeño y optimización de los materiales de los gaviones. El software permite al usuario elegir el



tipo de gavión con el revestimiento y la malla tecnológicamente adecuados al entorno del proyecto, además de permitir el uso de estándares internacionales, varios tipos de análisis e informe detallado para impresión,” como se muestra en la Figura 25. (Macafferri, 2022)

### **Funciones del Software** (Macafferri, 2022)

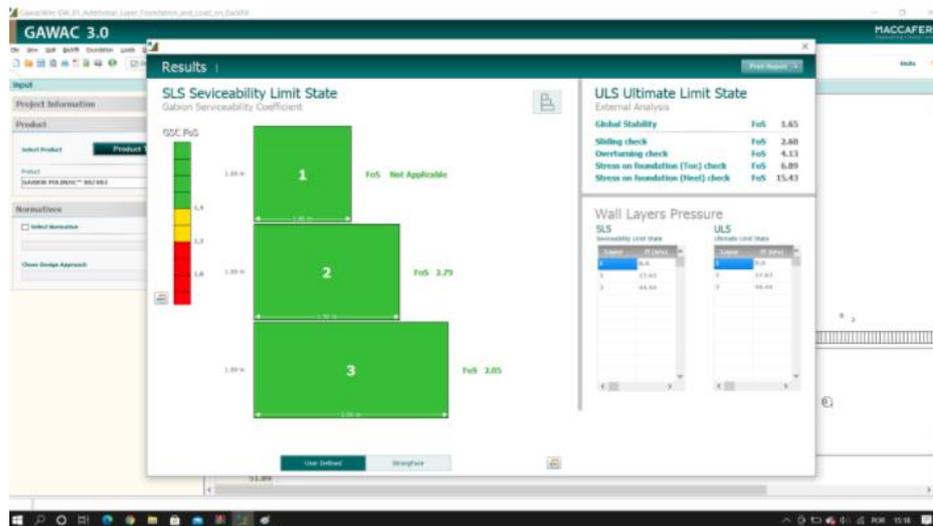
- “Nueva interfaz con un entorno amigable.
- Ejemplos de diseño.
- Se considera la influencia de la malla.
- Se tienen presente los Estados Límite de Servicio (SLS) y los Estado Límite Último (ELU) en el análisis de estabilidad.
- Se toma en cuenta el desempeño a largo plazo del gavión en función del tipo de malla y tecnología del revestimiento.
- Proyecto optimizado con los Gaviones Strong Face
- Informes en diferentes formatos (Imprimir / PDF / JPG).
- Disponible en 8 idiomas.”

### **Análisis realizados por el Software** (Macafferri, 2022)

- “Cálculo del empuje utilizando el método de equilibrio límite.
- Análisis de estado límite máximo: deslizamiento, vuelco, presiones de fundación y estabilidad global.
- Análisis de estado límite de servicio: a través del GSC. (Análisis de la Estructura en la Condición de Servicio).
- Análisis de condiciones de servicio realizado por camada.”

**Figura 25**

*Resultados de análisis realizados por el software GawacWin GSC 3.0 – SP-May-2022*



Fuente: (Maccaferri, 2014)

#### **2.4. BOTELLAS DE POLIETILENO TEREFALATO (PET)**

“Los plásticos son materiales poliméricos derivados del petróleo, que se han utilizado ampliamente por presentar características como suavidad, ligereza y transparencia. Su consumo se ha extendido a nivel mundial generando serios problemas ecológicos por no ser biodegradables.” (Suasnavas, 2017)

“Los termoplásticos como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y tereftalato de polietileno (PET) son resistentes, de bajo costo, fácilmente procesables y de larga vida.” (Suasnavas, 2017)

“Este tipo de polímeros sintéticos son resistentes a la degradación biológica, debido a que las enzimas de los microorganismos no son capaces de romper los enlaces C–C, así mismo el carácter hidrofóbico inhibe la actividad enzimática. Adicionalmente la baja área superficial y su alto peso molecular, contribuyen a que no sean biodegradables. Por lo tanto, la biodegradabilidad de un plástico depende de su estructura



química y de la constitución final del producto, no sólo de las materias primas utilizadas en su producción.” (Suasnavas, 2017)

Según Elias 2009 en (Vela et al., 2016) “en la producción, en cuanto a contaminación por emisiones de aire el HDPE seguido del PET son los plásticos más contaminantes para la atmosfera.”

Por otro lado (De la Rosa Piñon et al., 2011, p.15) opinan que “en buena medida, la cantidad de plásticos en el mercado depende de los costos y disponibilidad de los combustibles fósiles; el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), estima que en 1996 el 4% de la producción de petróleo bruto fue destinada a la fabricación de plástico, calculándose que se requieren 18.7 toneladas de petróleo para fabricar 3.74 toneladas de plástico.” La producción de las botellas PET tiene un gran mercado a nivel mundial. Pero su producción y finalmente como residuo solido genera impactos negativos en nuestro medio ambiente, contaminando agua, aire y suelo.

## **2.4.1 Definición e historia del polietileno tereftalato PET**

### **2.4.1.1. Definición**

El PET (Polietileno Tereftalato) “es un polímero plástico lineal con alto grado de cristalinidad y se comporta como un termoplástico, por lo que se clasifica en el grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres y es de alta calidad.” (Parisier, 2014, p. 54)

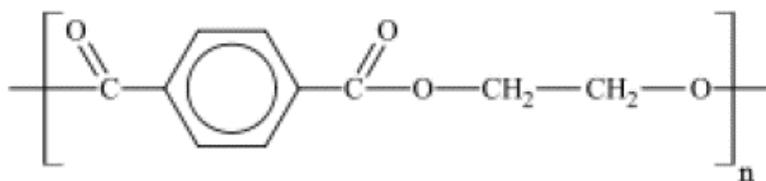
“Estas condiciones lo hacen apto para ser transformado por diferentes procesos: extrusión, inyección, inyección-soplado, soplado de preforma y termoformado.” (Parisier, 2014, p. 54)

“Actualmente, este tipo de plástico es muy usado en envases de bebidas y textiles y se puede obtener de una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico ( $C_6H_4(COOH)_2$ ) y etilenglicol ( $CH_2OHCH_2OH$ ). Es enfriado rápidamente para evitar

el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, que da como resultado un aspecto transparente, ya que estos cristales no alcanzan a desarrollarse completamente, por lo que no intervienen con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible.” (Parisier, 2014, p. 54) el polietileno tereftalato tiene una estructura como se muestra en la Figura 26

**Figura 26**

*Unidad Repetitiva de PET*



Fuente: ( Legajo, 2014)

#### **2.4.1.2. Historia**

El PET se desarrolló inicialmente “en la década de 1940, y pese a que al comienzo se empleaba para la producción de una fibra para la industria textil que combinaba muy bien con otras fibras, su uso se extendió a la fabricación de cintas de empaque en la década de 1960 y, posteriormente, en los años setenta, a la manufactura de los mencionados envases.” (Ruiz Marcos, 2009, p. 124)

También se tiene como dato que “los orígenes del PET datan de 1929, en escritos del estadounidense Wallace Carothers, inventor y líder del departamento de química orgánica de DuPont. Sin embargo, el PET fue patentado por los científicos británicos John Rex Whinfield y James Tennant Dickson al continuar estos con las investigaciones de Wallace Carothers, como un polímero para fibra, entre el año 1939 y 1941.” (Campos, 2017)



“En un periodo de guerras, surge la necesidad de un sustituto al algodón como fibra, por eso todos los estudios en esta materia. A partir del año 1946 se comienza a utilizar industrialmente como fibra, cuyo uso sigue hasta la actualidad, donde se encuentra en un nuevo apogeo debido a su uso en ropas térmicas.” (Campos, 2017)

“En 1952 se comienza a emplear como filme para envasar alimentos, desde ese punto al ver su utilidad con los alimentos, cuya hermeticidad permite la inocuidad del producto, en 1976 se utiliza como envase rígido tipo botella, para refrescos carbonatados y agua mineral.” (Campos, 2017)

#### **2.4.2 Obtención de botellas PET**

El PET “es una resina termoplástica, a nivel industrial se obtiene por la reacción de polimerización de dos petroquímicos secundarios, el monómero etilenglicol y el monómero ácido tereftálico o éster metílico de ácido tereftálico” (Muñoz, 2012).

“En la primera etapa, los monómeros reaccionan con el denominado pre-polímero de PET. Sin embargo, la viscosidad de este pre-polímero es demasiado baja para envases, fibras o cualquier otra aplicación. Por lo tanto, la viscosidad del polímero de PET tiene que aumentarse mediante una reacción de condensación adicional del material de PET en la fase de fusión a temperaturas de hasta 280°C. El producto de reacción de la esterificación (agua o metanol) y monómero excesivo (etilenglicol) se eliminan bajo vacío. Los productos finales de la reacción son gránulos cristalinos” (Welle, 2011).

Garrido et al (como se citó en Cobos, 2016) explica que “el gránulo o pellet obtenido es brillante y transparente debido a su carácter amorfo, posee baja viscosidad y bajo peso molecular, I.V. (Índice de Viscosidad) = 0.55 a 0.65”



“Para la conversión en botellas para el envasado de agua de bebida se requieren dos pasos más: la cristalización y la polimerización en estado sólido.” Garrido et al (como se citó en Cobos, 2016)

El paso de la cristalización consiste en “el cambio de estructura de los polímeros semicristalinos y la conversión de las macromoléculas con disposición desordenada (estructura amorfa y transparente a la luz) a disposición ordenada (estructura uniforme, cristalina y opaca a la luz), lo que le confiere a la resina una coloración blanca lechosa. El tratamiento conlleva temperaturas de entre 130 y 160 °C durante un tiempo que oscila entre 10 y 60 minutos. Estas condiciones se llevan a cabo mientras el gránulo está en agitación por movimientos mecánicos, con la finalidad de que no se bloquee. Como resultado de esta etapa del proceso, además, se aumenta la densidad del PET, que pasa de 1.33 a 1.4 g/cm<sup>3</sup>.” Garrido et al (como se citó en Cobos, 2016)

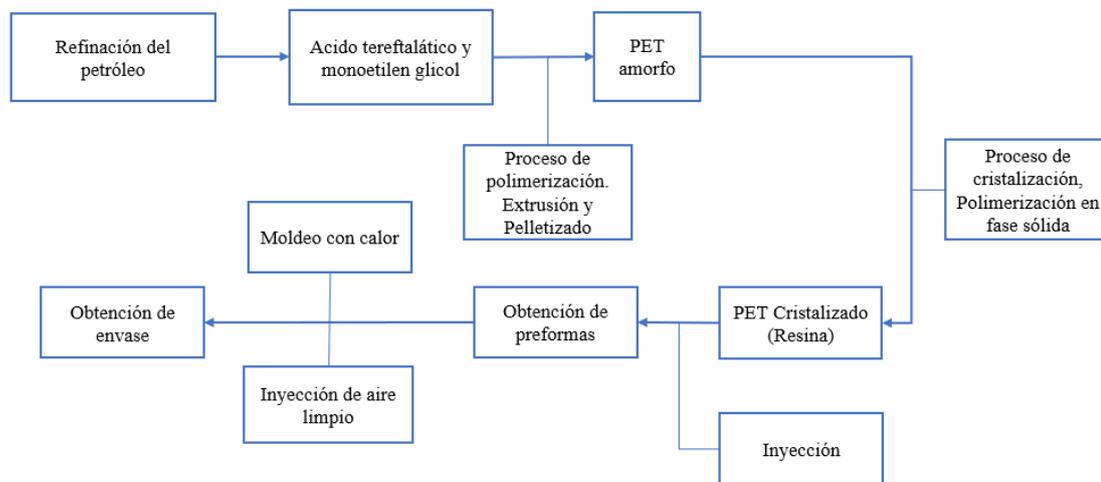
El paso de polimerización en estado sólido o post polimerización consiste “en la carga de los gránulos cristalizados en un reactor cilíndrico en cuyo interior se someten a un flujo de nitrógeno a elevadas temperaturas (en torno a 200 °C) durante tiempos prolongados. Este tratamiento deriva en la reacción de polimerización, la cual causa el aumento del peso molecular de la resina hasta valores de entre 0.72 y 0.86 I.V., idóneos para la fabricación de la botella. Además, durante el tiempo que dura esta etapa, se va eliminando parte del acetaldehído que se forma en la primera polimerización a medida que se ligan las moléculas.” Garrido et al (como se citó en Cobos, 2016)

Posterior a estas etapas se consigue “un PET de elevado porcentaje de cristalinidad (superior al 50%) con una viscosidad denominada en el lenguaje inglés Bottle Grade (Grado para botella)” Garrido et al (como se citó en Cobos, 2016), ver Figura 27.

Para obtener las botellas se procede a realizar el moldeo de estas “mediante un proceso de inyección o soplado de aire caliente, el cual se impulsa a la preforma dispuesta en un molde que contiene la geometría deseada para el envase final.” Garrido et al (como se citó en Cobos 2016)

### Figura 27

Diagrama de flujo para la producción del PET



Fuente: (V. Ramírez, 2002)

### 2.4.3 Propiedades de las botellas PET

(Real, 2002) precisa que “las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.”

“La masa plástica del PET se deteriora con el paso del tiempo en forma irreversible, por la influencia de las condiciones externas como: temperatura ambiental, radiaciones solares, humedad, contaminantes atmosféricos, etc.; estas condiciones, podrían conllevar a una modificación en las propiedades estéticas por ejemplo: el color,

deseccación, variaciones en sus dimensiones, debilitamiento de las propiedades mecánicas, resquebrajamiento o aparición de fisuras, pero debido a su cristalinidad y transparencia en general se le atribuye una buena resistencia al envejecimiento” (Elias y Jurado, 2012).

“En la actualidad se están realizando muchas investigaciones sobre la utilización de polímeros en electrónica debido a su alta aplicabilidad en sensores, circuitos electrónicos, sistemas para almacenar datos, detectores, entre otros. Otra propiedad importante es la disipación de la carga estática porque ésta representa un peligro para los equipos electrónicos,” ver Tabla 6 (Elias y Jurado, 2012).

**Tabla 6**

*Propiedades eléctricas del PET*

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| Constante dieléctrica a 1MHZ    | 3        |
| Factor de disipación a 1khz     | 0.002    |
| Resistividad dieléctrica kv/mm  | 17       |
| Resistividad superficial ohm/sq | 1000     |
| Resistividad de volumen ohm.cm  | > 10 E14 |

Fuente: (Elias y Jurado, 2012).

Muñoz, 2012 (como se citó en (Suasnavas, 2017) señala que “el PET es un plástico resistente al ataque microbiológico, ya que estos no poseen mecanismos para atacarlo, por esta característica en el PET no hay la proliferación de bacterias, hongos o parásitos relacionados con la putrefacción. Al ser no biodegradable mantiene sus características a través del tiempo, lo que le proporciona una larga vida útil.”

Universidades japonesas, han estudiado e identificado un tipo de bacteria “que utiliza enzimas para degradar el PET. Específicamente Kohei Oda del Instituto Tecnológico de Kyoto obtuvo la degradación de envases plásticos en pocas semanas por

un consorcio de bacterias, pero las investigaciones siguen en curso” Muñoz, 2012 (como se citó en (Suasnavas, 2017) ” ver Tabla 7.

**Tabla 7**

*Resumen de las propiedades físicas y químicas del PET*

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Resistencia al ataque químico | Resistente a: combustibles, alcoholes, grasas, éter ácidos y bases diluidas   |
| Solubilidad                   | Insoluble: solventes orgánicos Solubilidad en menor grado: solventes halogenados, aromáticos, cetonas ácidas y bases fuertes. |
| Resistencia al envejecimiento | Buena resistencia: Temperatura ambiental, radiaciones solares, humedad  |
| Estabilidad térmica           | Estable a temperaturas $\leq 71^{\circ}\text{C}$ Cristalizado estable a temperaturas $\leq 230^{\circ}\text{C}$               |
| Permeabilidad                 | Excelente barrera al $\text{CO}_2$ y $\text{O}_2$   |
| Densidad                      | Estado amorfo: $1.33 - 1.37 \text{ g/cm}^3$ Estado cristalino: $1.45 - 1.51 \text{ g/cm}^3$                                   |
| Conductividad térmica         | Buen aislamiento térmico = $0.24 \text{ W/m} \times \text{K}$   |
| Absorción de agua             | $< 0.7 \%$ durante 24 horas   |
| Propiedades ópticas           | Transmisión de luz: $89\%$ Índice de refracción: $1.576$  |
| Propiedades biológicas        | No presenta vulnerabilidad al ataque microbiológico   |

Fuente: (Elias y Jurado, 2012)

#### **2.4.4 Especificaciones técnicas de las botellas PET**

(V. Ramírez, 2002) indica que “se precisan las particularidades siguientes en función del producto a envasar:

- Planos y dimensiones, color y transparencia, acabado del cuello, aspecto general, peso de las botellas.
- Niveles de llenado de botellas producidas, perpendicularidad, disminución del peso, contenido de acetaldehído, longevidad, comportamiento a la presión

vertical, variación de nivel, estabilidad térmica, resistencia a los choques, disminución del gas, distribución de material, eventualmente el peso de las bases, el comportamiento de las bases y su resistencia a los choques. (V. Ramírez, 2002)

Las empresas producen botellas PET bajo las especificaciones indicadas por cada cliente, que solicita la producción de botellas para sus diferentes capacidades” (Ver Tabla 8 y Tabla 9).

**Tabla 8**

*Especificación de Coca-Cola contour de 500ml*

| CARACTERÍSTICA                 | ESPECIFICACIÓN |        |
|--------------------------------|----------------|--------|
|                                | MÍNIMA         | MÁXIMA |
| 1. CONTROL VISUAL              | OK             |        |
| 2. CONTROL DIMENSIONAL         |                |        |
| ALTURA BOTELLA (mm)            | 235.36         | 235.64 |
| DIAMETROS (mm)                 |                |        |
| Diámetro Mayor                 | 64.99          | 66.01  |
| Diámetro Cuerpo                |                |        |
| Diámetro Talón                 | 64.99          | 66.01  |
| ESPESORES (mm)                 |                |        |
| Espesor de curvatura de hombro | 0.30           | 0.40   |
| Espesor de hombro              | 0.30           | 0.40   |
| Espesor de pared               | 0.30           | 0.40   |
| Espesor de talón               | 0.30           | 0.40   |
| Espesor de radio de pétalo     | 0.20           | 0.30   |
| Espesor de base de pétalo      | 0.20           | 0.30   |
| Espesor de centro de fondo     | 1.30           | 2.60   |
| CAPACIDAD (ml)                 |                |        |
| Capacidad de rebose            | 512.33         | 526.33 |
| Capacidad a nivel de llenado   | 500.00         | 514.00 |



... continuación

|                           |       |       |
|---------------------------|-------|-------|
| PESO (gr)                 | 27.50 | 28.50 |
| <b>3. ENSAYOS FÍSICOS</b> |       |       |
| PRESIÓN INTERNA (psi)     | >150  |       |

Nota: “Las especificaciones que se mencionan están dadas por la Compañía Coca - Cola, San Miguel Industrial S.A. produce las botellas requeridas por dicha embotelladora.”

Fuente: (V. Ramírez, 2002)

**Tabla 9**

*Especificación para botellas de 1500 ml*

| CARACTERÍSTICA                 | ESPECIFICACIÓN |        |
|--------------------------------|----------------|--------|
|                                | MÍNIMA         | MÁXIMA |
| 1. CONTROL VISUAL              | OK             |        |
| 2. CONTROL DIMENSIONAL         |                |        |
| ALTURA BOTELLA (mm)            | 318.80         | 321.80 |
| DIAMETROS (mm)                 |                |        |
| Diámetro Mayor                 | 87.20          | 88.80  |
| Diámetro Cuerpo                | 86.20          | 87.80  |
| Diámetro Talón                 | 87.20          | 88.80  |
| ESPESORES (mm)                 |                |        |
| Espesor de curvatura de hombro | 0.25           | 0.35   |
| Espesor de hombro              | 0.25           | 0.25   |
| Espesor de pared               | 0.25           | 0.35   |
| Espesor de talón               | 0.25           | 0.35   |
| Espesor de radio de pétalo     | 0.15           | 0.25   |
| Espesor de base de pétalo      | 0.15           | 0.25   |
| Espesor de centro de fondo     | 1.40           | 2.60   |
| CAPACIDAD (ml)                 |                |        |
| Capacidad de rebose            | 1544.00        | 1557.0 |
| Capacidad a nivel de llenado   | 1500.00        | 1513.0 |
| PESO (gr)                      | 46.50          | 47.50  |



... continuación

---

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 3. ENSAYOS FÍSICOS    |      |
| PRESIÓN INTERNA (psi) | >150 |

---

Nota: Las especificaciones que se mencionan son para botellas genéricas de 1.5 litros de volumen

Fuente: (V. Ramírez, 2002)

#### 2.4.5 Reciclado de las botellas PET

En los últimos años a nivel mundial se ha generalizado el cuidado del medio ambiente y de recursos naturales; por esto, “los materiales plásticos enfrentan hoy uno de los retos más importantes, ya que sus ventajas de resistencia a la degradación y economía con respecto a otros elementos han sido cuestionadas por su impacto en el medio. El compromiso ambiental y motivación ecológica de reciclar plásticos involucran también la creación de nuevas industrias que puedan resolver problemas de contaminación, asociado a la obtención de utilidades y producción de empleos.”(Contreras et al., 2015)

En opinión de (Contreras et al., 2015) reciclar “es proponer soluciones para el manejo de desechos plásticos encaminados a la reutilización del PET transformándolo en material de construcción. La tecnología aplicada presenta un enfoque ecológico porque recicla residuos (PET) que en gran parte son enterrados en predios municipales sin utilidad alguna o acumulados y quemados en basurales, lo cual produce degradación del entorno.”

Según el estudio elaborado por el centro de ecoeficiencia y responsabilidad social – CER, que opera el grupo GEA, (Díaz et al., 2020):

- En 2018, Perú produjo 1386 mil tn de plástico. “El 26% (361 mil tn) corresponde a productos que los consumidores utilizaron por un tiempo mayor a un año, el 58% (806 mil tn) corresponde a productos que se



descartaron como residuos en menos de un año, y el 16% a exportaciones de formas primarias, manufacturas y semi manufacturas de plástico. Respecto al PET, se produjo 267 mil tn de PET, de los cuales el 72% (191 mil tn) se consumieron en menos de un año y el 28% (76 mil tn) fueron exportados como formas primarias, manufacturas y semi manufacturas.”

- “El proceso de reciclaje del plástico en el Perú no es eficiente. El 15% (124 mil tn) del total de los residuos de plástico generados en el país son valorizados mientras que el 85% se pierde (408 mil tn en rellenos sanitarios y 274 mil tn en el ambiente). El 21% (26 mil tn) de los residuos de plástico nacionales valorizados tienen procedencia informal.” (Díaz et al., 2020)
- “Los residuos de PET representan el 34% (60 mil tn) de los residuos nacionales de plástico que se comercializan para reciclaje. Al respecto, de acuerdo a las entrevistas se estima que al menos el 50% del total de residuos de PET comercializados se recicla para formar botellas y preformas de PET.” (Díaz et al., 2020)
- “Si bien el porcentaje de reciclaje del PET (22%) respecto al total de residuos de PET generados es mayor al valor correspondiente al plástico (15%); también es un proceso es ineficiente. El 78% de los residuos de PET se pierden (99 mil tn en rellenos sanitarios y 50 mil tn vertidos directamente en el ambiente). El 16% (6.8 mil tn) de los residuos de plástico nacionales valorizados tienen procedencia informal.” (Díaz et al., 2020)

En la Tabla 10 se extrae los valores alcanzados para el procedimiento de colocación de residuos sólidos de plásticos y PET y sus procedimientos de recolección y clasificación, para sus disposiciones finales de manera óptima al medio ambiente.

**Tabla 10**

*Disposición, reciclaje de residuos de origen nacional, disposición en infraestructura adecuada y vertimiento en el ambiente de los residuos de plástico y PET, en Perú, en 2018*

| <b>RESIDUOS DE PLÁSTICO</b> |   | <b>RESIDUOS DE PET</b> |   |
|-----------------------------|---|------------------------|---|
| Disposición:                | Reciclaje de residuos de origen nacional: | Disposición:           | Reciclaje de residuos de origen nacional: |
| 805.91 mil tn,<br>100%      | 123.51 mil tn, 15.33 %                    | 190.18 mil tn,<br>100% | 41.52 mil tn, 21.83 %                     |
|                             | Exportación:                              |                        | Exportación:                              |
|                             | 0.27 mil tn, 0.03%                        |                        | 0.21 mil tn, 0.11%                        |
|                             | Disposición adecuada:                     |                        | Disposición adecuada:                     |
|                             | 408.29 mil tn, 50.66%                     |                        | 98.56 mil tn, 51.83%                      |
|                             | Vertimiento en el ambiente:               |                        | Vertimiento en el ambiente:               |
|                             | 273.83 mil tn, 33.98 %                    |                        | 49.89 mil tn, 26.238 %                    |

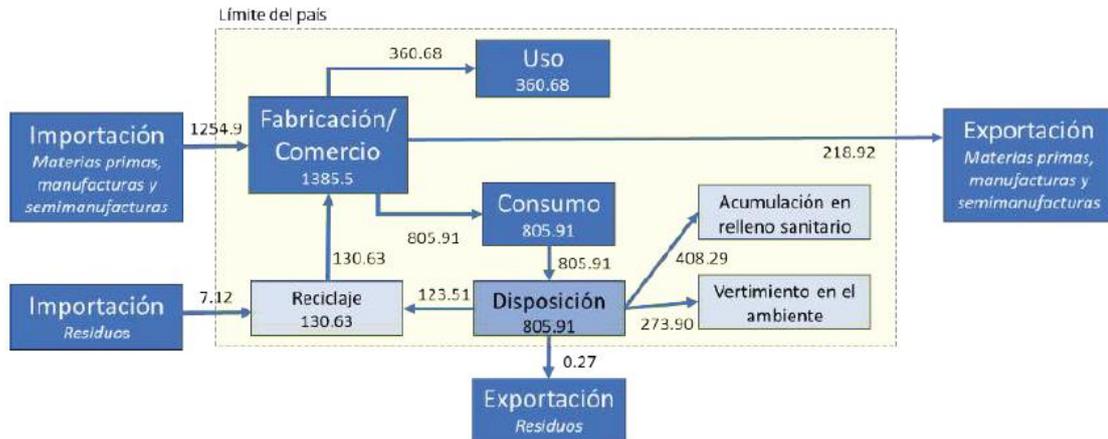
\*Nota: “Los valores del proceso de disposición y sus subprocesos no incluyen el traslado de residuos de plástico a través de los cuerpos de agua, ya sea por las corrientes marinas que traen residuos desde aguas internacionales o por las corrientes de los ríos que compartimos con otros países”

Fuente:(Díaz et al., 2020)

A partir de la información obtenida en los numerales precedentes, se realizó los balances de materia para el plástico y PET en el Perú para el periodo 2018. Los efectos del balance de del plástico son evidenciados en la Figura 28 y Figura 29, respectivamente.

**Figura 28**

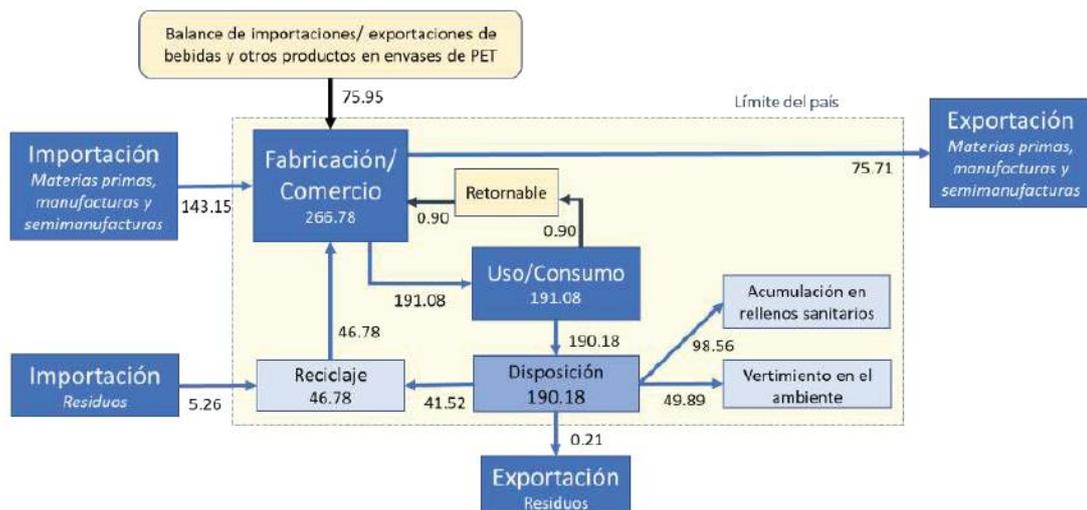
Resultados del balance de materia del plástico para el año 2018, valores expresados en miles de tn



Fuente:(Díaz et al., 2020)

**Figura 29**

Resultados del balance de materia del PET para el año 2018, valores expresados en miles de tn



Fuente:(Díaz et al., 2020)



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta una descripción de los materiales analizados, así como el procedimiento experimental realizado, en el orden en que fueron ejecutados para lograr el objetivo planteado.

Los ensayos experimentales fueron realizados por el autor en el laboratorio de Mecánica de Rocas perteneciente a la sección de ingeniería de minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP, durante la estadía de intercambio universitario de la Red Peruana de Universidades (RPU)

#### 3.2. MATERIALES

##### 3.2.1 Geobotellas

Se denominó geobotellas a las botellas descartables PET rellenas con suelo fino (arena), se utilizó geobotellas de 500 ml y de 3000 ml por su cantidad predominante en la recolección de botellas descartables, 14 unidades de este material fueron utilizadas en el análisis de sus propiedades físicas y mecánicas, como se muestra en la Figura 30.

## Figura 30

### *Geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para obtener las geobotellas se utilizó los siguientes materiales:

- Botellas descartables PET obtenidas mediante una solicitud a Clima de Cambios PUCP, quienes promueven el manejo ambiental responsable de los recursos que se emplean en el campus, entre ellos, botellas de plástico PET que son reciclados mediante tachos ubicados en diversos lugares del campus con un fin social, alcanzando a donar a la asociación Niño quemado (Aniquem) 1,118 kg de botellas plásticas en el 2019.
- Arena fina, como material de relleno de las geobotellas. Para los ensayos de laboratorio se utilizó arena fina de la cantera de Jicamarca ubicada en Camarquilla – Lurigancho (Chosica), provincia de Lima.
- Varilla lisa de diámetro 5/8 en pulgada de 60 cm, con extremo redondeado, para compactar la arena dentro de las botellas descartables.

- Martillo con cabeza de goma, de peso aproximado 600 g, para realizar golpes suaves a las geobotellas y reducir los espacios vacíos.
- Embudo de plástico, formado en la parte superior por un cono y la inferior por un cilindro, utilizado para introducir el material de relleno a las geobotellas.
- Cucharón metálico, para colocar la arena dentro de las botellas a través del embudo.

**Figura 31**

*Materiales para la preparación de las geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.2 Gavión

Se utilizó una canasta de gavión tipo caja, con malla electrosoldada, de dimensiones  $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ m}^3$ , como se muestra en la Figura 32 la cual se relleno con geobotellas, para evaluar: configuración, procedimiento de llenado, atirantado, costura y cierre del gavión.

### Figura 32

*Canasta de gavión de 0.5x0.5x1.0 m<sup>3</sup>*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.3 Equipos de laboratorio

- Para obtener el peso específico de las geobotellas se utilizó:

Balanza digital de precisión: Modelo convencional, Balanza de precisión 10 Kg x 0.1 G, utilizado para obtener el peso de las geobotellaa.

### Figura 33

*Balanza digital de precisión 10 kg x0.1 g*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Para los ensayos de compresión uniaxial sin confinamiento y de tracción indirecta se utilizaron los siguientes equipos:
  - Vernier: Modelo Convencional, marca UYUSTOOLS, sin número de serie, procedencia USA, se utilizó para tomar las medidas de altura y diámetro de las geobotellas.

### Figura 34

*Vernier*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Prensa Universal de ensayos: Modelo E72146 - 7104DCJ, fabricante AVERY – DENISON, activo fijo B 117115 – PUCP; que puede aplicar y medir la carga axial sobre la muestra, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumple con los requerimientos de la Norma ASTM E4 y British Standard 1610.

### Figura 35

*Prensa universal de ensayos*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación, se siguió los procedimientos mostrados por la Tabla 11 y desarrolladas en los siguientes ítems.

**Tabla 11**

*Procedimientos*

| <b>Objetivos</b>  | <b>Procedimientos</b>  |
|---|--|
| Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las geobotellas                          | 1. Preparación de las geobotellas  |
|   | 2. Ensayo de peso específico de las geobotellas  |
|   | 3. Ensayos de resistencia mecánica de las geobotellas (Ensayo de compresión uniaxial y tracción indirecta) |
| Diseñar y verificar las condiciones de estabilidad del muro de contención eco-ambiental | 4. Cálculo de peso unitario del gavión   |
|   | 5. Cálculo del porcentaje de vacíos del gavión   |
|   | 6. Diseño del muro de contención eco-ambiental de gaviones relleno con geobotellas                         |
|   | 7. Análisis de estabilidad del muro de contención por método convencional                                  |
|   | 8. Análisis de estabilidad del muro de contención por el software GawacWin GSC                             |
|   | 9. Relación de base por altura vs factores de seguridad  |
|   | 10. Ejecución del prototipo de gavión eco-ambiental  |
| Comparar los costos entre gaviones tradicional y gaviones eco-ambientales               | 11. Presupuesto del muro de gavión convencional  |
|   | 12. Presupuesto del muro de gavión eco-ambiental   |
|   | 13. Comparación de costos  |

... continuación

---

|   |   |
|---|---|
| Verificar las ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental | 14. ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental |
|---|---|

---

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

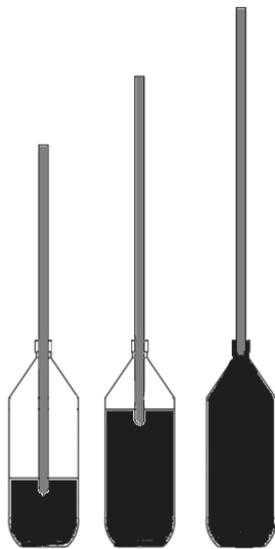
### 3.3.1 Preparación de las Geobotellas

Para la obtención de las geobotellas como se muestra en la Figura 37, se realizó el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar las botellas descartables, teniendo en cuenta que no presenten huecos, ni abolladuras.
2. Se introduce el material de relleno (arena fina) con el cucharón metálico dentro de las botellas a través de un embudo en tres capas por caída libre, cada capa es el tercio de la altura de las botellas, según el detalle mostrado en la Figura 36
3. Para obtener una mínima variación extrema en los pesos de las geobotellas se compactó cada capa con 25 golpes verticales con la varilla lisa, donde el extremo redondeado va hacia abajo e ingresa hasta una pulgada sobre la superficie de la capa.
4. Al finalizar el compactado de las tres capas se debe golpear suavemente alrededor de las geobotellas unas 10 veces para reducir los espacios vacíos,
5. Finalmente, verificar que el relleno este al tope de la botella y no se debe hundir al presionar ninguna de sus caras laterales, en caso falte unos milímetros, rellenarlo por caída libre y proceder a cerrarlo.

**Figura 36**

*Detalle de llenado y compactado de las geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Figura 37**

*Obtención de las geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### **3.3.2 Ensayo de peso específico de las geobotellas**

El ensayo de peso específico consiste en medir las propiedades físicas generales de las geobotellas como son: masa, peso, volumen y densidad para finalmente obtener el

peso específico mediante la ecuación (3.7), siendo este un dato requerido para realizar los cálculos de estabilidad del muro de contención eco-ambiental.

Para obtener el peso específico de las geobotellas, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Pesar las geobotellas rotuladas en la balanza digital de precisión, como se aprecia en la Figura 38 y anotar su peso en cada geobotella.

### Figura 38

*Peso de las geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

2. Determinar el número de muestras y del error para medidas directas - varias medidas de una misma magnitud:

Se realizó un análisis estadístico de la toma de datos de los pesos de las geobotellas, debido a que “los resultados de las medidas individuales pueden ser poco o

muy dispersas, en función a ello será conveniente aumentar o no el número de mediciones de la magnitud.” (Kowalski, 2013).

Para determinar el número de muestras, se debe llevar a cabo lo siguiente:

Realizar tres mediciones  $(x_1, x_2, x_3)$ , de la magnitud en cuestión y cálculo del valor medio:

$$\bar{x}_3 = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \quad (3.1)$$

Determinación de la dispersión D (diferencia entre los valores extremos):

$$D = x_{\text{máximo}} - x_{\text{mínimo}} \quad (3.2)$$

Determinación del tanto por ciento de dispersión T

$$T = 100 \cdot \frac{D}{\bar{x}_3} \quad (3.3)$$

Caso a: Para dispersión D, menor a la sensibilidad del equipo S.

$$D \leq S$$

El error absoluto la sensibilidad es:

$$\bar{x}_3 \pm S$$

Caso b: Para dispersión D, mayor a la sensibilidad del equipo

$$D > S$$

Se incrementa el número de medidas de la magnitud. De acuerdo a la siguiente

Tabla 12.

**Tabla 12***Tanto por ciento de la dispersión*

| <b>T en las tres primeras medidas</b> | <b>N° total de medidas necesarias</b>           |
|---------------------------------------|---|
| $T3 \leq 2\%$                         | Bastan las tres medidas realizadas              |
| $2\% < T3 \leq 8\%$                   | Hay que hacer 3 medidas más hasta un total de 6 |
| $8\% < T6 \leq 15\%$                  | Hay que hacer un total de 15 medidas            |
| $15\% < T15$                          | Hay que hacer un mínimo de 50 medidas           |

Fuente: (Kowalski, 2013)

Según (Kowalski, 2013) una vez realizadas las medidas necesarias, se toma como valor de la magnitud el valor medio de la misma, calculado sobre el número total de medidas realizadas y en cuanto al correspondiente error, se determina según los casos que sigue:

“Si se han realizado tres medidas, se toma como error absoluto el valor de la sensibilidad del aparato, es decir, lo que ya hemos indicado.” (Kowalski, 2013)

$$\Delta x = S \quad (3.4)$$

“Si se han realizado seis medidas, entonces se calcula el *error de dispersión* definido como  $D_6/4$  (la cuarta parte de la dispersión total de las seis medidas es decir, la diferencia entre la mayor y la menor de todas)” (Kowalski, 2013)

“se asigna como error absoluto de las medidas, el mayor de entre este valor y la sensibilidad del aparato” (Kowalski, 2013) Es decir,

$$\Delta x = \max(D_6/4, S) \quad (3.5)$$

“Si se han realizado más de 15 medidas; entonces el error absoluto puede calcularse por la expresión:

$$\Delta x = \left[ \frac{\sum (x_i - \bar{x}_n)^2}{N} \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

que proporciona el llamado *error cuadrático medio* (puesto que es algo así como una media del cuadrado de los errores)” (Kowalski, 2013)

“En donde  $x_i$  son cada una de las medidas realizadas,  $\bar{x}_n$  es la media aritmética de todas las medidas individuales y N es el número total de medidas realizadas.” (Kowalski, 2013)

### 3. Obtener el volumen de las geobotellas.

En la presente investigación se obtuvo el volumen de acuerdo a las especificaciones técnicas de las botellas descartables estudiadas en el capítulo 2, se puede deducir que el volumen total de la botella (capacidad de rebose) es un 5% más de la capacidad a nivel de llenado.

### 4. Cálculo del peso específico

Finalmente, se calcula el peso específico de las geobotellas mediante la ecuación (3.7), y esta es representada gráficamente mediante un diagrama de dispersión entre el volumen vs el peso específico, utilizando el modelo de regresión lineal simple, mediante esta técnica, la función que aproxima los datos es una recta a la cual llamaremos “línea de tendencia”

“El peso específico es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia”. (Mott, 2015) Para identificar el peso específico  $\gamma$  (gama) es posible escribir como la ecuación (3.7)

$$\gamma = W/V \quad (3.7)$$

donde  $V$  representa el volumen de una sustancia que tiene un peso  $W$ . Las unidades de peso específico son newton por metro cúbico ( $N/m^3$ ) en el sistema SI y libras por pie cúbico ( $lb/ft^3$ ) en el sistema de uso común en Estados Unidos. (Mott, 2015)

### 3.3.3 Ensayos de resistencia mecánica de las geobotellas

Se determinó las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión simple y tracción indirecta de las geobotellas, para evaluar su comportamiento como elemento de la estructura.

#### 3.3.3.1. Procedimientos previos a los ensayos de resistencia mecánica

Para realizar los ensayos de resistencia se preparó 14 muestras de geobotellas, con material de relleno de la cantera de Jicamarca, en diferentes tamaños, 500 ml y de 3000 ml, como se muestra en la Figura 39. Los procedimientos previos a los ensayos son los siguientes:

- Pesar las muestras en la balanza digital de precisión
- Medir la longitud y diámetro de cada muestra con Vernier.

#### Figura 39

*Muestras de geobotellas a ensayar*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se realizó el procedimiento 14 veces, para cada una de las muestras y se anotó los resultados en el formato de registro de datos como se muestra en la Figura 44 y Figura 48

### 3.3.3.2. Tipos de fractura

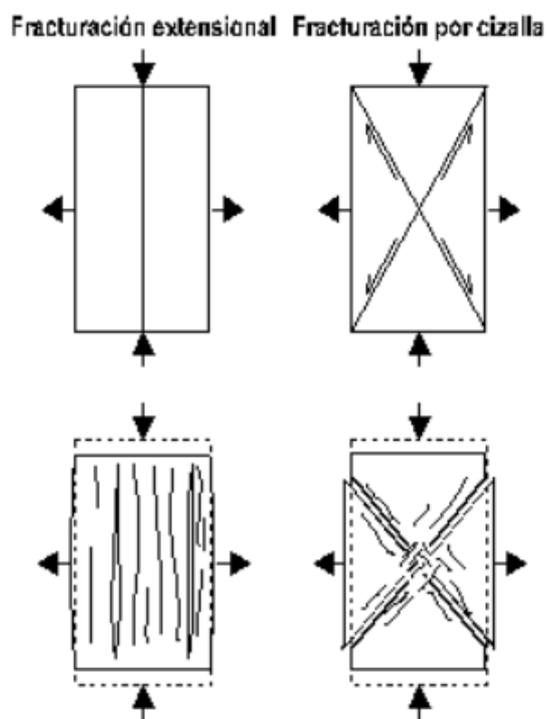
“El material falla (se rompe) por fracturación por cizalla o extensional. Mientras la resistencia a la tensión es el esfuerzo tensional por unidad de área a la que el material falla (se rompe) por fracturación extensional.” (M. Graterol, 2014)

“Las fracturas elípticas paralelas al eje de máximo esfuerzo ( $\sigma$ ) son extensionales y se caracterizan porque no son continuas y las paredes se separan, pero no se desplazan en el sentido de la fractura.” (E. Llambías, 2001)

“Las fracturas de cizalla se desarrollan en los planos donde la componente tangencial es máxima.” (E. Llambías, 2001) ver Figura 40

#### Figura 40

*Desarrollo de fracturas extensionales y de cizalla como resultado de compresión*



Fuente: (<https://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm>)

### 3.3.3.3. Ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento

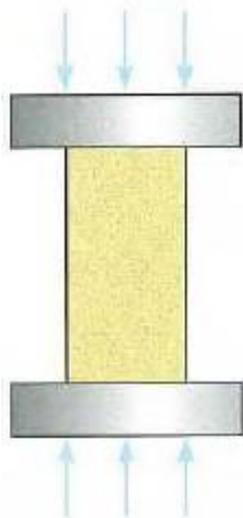
El ensayo permite determinar en laboratorio la resistencia inicial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple y sus componentes elásticas el módulo de Young,  $E$ , y el coeficiente de Poisson  $\nu$ , (Gonzalez et al., 2002).

En la

Figura 41 se muestra el esquema del ensayo de resistencia.

#### Figura 41

Esquema de ensayo de resistencia a compresión simple



Fuente: (Gonzalez et al., 2002)

#### a) Metodología para el ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento

Se tomó como referencia la metodología experimental de las normas ASTM D4543 “Prácticas estándar para preparación de especímenes de núcleos de roca y determinación de tolerancias dimensionales y de forma”, ISRM 1979 “Métodos sugeridos para determinar la resistencia a la compresión uniaxial y la deformabilidad de los materiales rocosos” D2938 “Método de prueba para resistencia a la compresión no confinada de especímenes intactos de núcleos”, NLT -250/91 “Determinación de la



resistencia a compresión simple de probetas de rocas”, debido a que este procedimiento de ensayo no está normado para realizarlo en geobotellas.

**b) *Diámetro y longitud de las muestras para el ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento***

Según la ASTM D4543 las probetas de muestra serán cilíndricas, con una relación longitud/diámetro (L/D) comprendida entre 2.0 a 2.5, y un diámetro no menor a 47 mm.

Según la ISRM (1979) “las probetas deber ser cilindros con una relación de longitud/diámetro (L/D) comprendida entre 2.5-3 y con  $D > 54$  mm, la base de la probeta debe ser plana y paralelas y perpendiculares al eje del cilindro.”

Según la NTL - 250/90 “Se debe ensayar las probetas cuya relación longitud/diámetro (L/D) sea lo más cercano posible a 2”

**c) *Procedimiento para el ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento***

El ensayo se realizó siguiendo los procedimientos de la ASTM 2938, en la presente investigación se ensayaron 7 muestras de geobotellas, 4 de 500 ml, 3 de 3000 ml, ver Figura 42 y Figura 43

1. Asegurar que el asiento esférico pueda girar libremente sobre su base.
2. Limpiar las caras de los bloques de asiento superior e inferior y de la muestra.
3. Colocar la muestra sobre el asiento inferior. La carga y asiento superior se acercan hacia la muestra gradualmente hasta que se obtiene un asentamiento uniforme de la carga sobre la muestra.
4. Limpieza con un paño las caras superior e inferior de contacto de las placas de apoyo y de la probeta.

5. Colocación de escudo protector alrededor de la probeta para impedir que los fragmentos que salten causen lesiones al operador.
6. La carga debe ser aplicada en forma continua con una razón constante de manera que la ruptura ocurra entre 2 y 15 minutos después de iniciada la carga.
7. Registrar la carga máxima aplicada sobre la muestra.
8. Se recomienda realizar un registro o esquema de la muestra fracturada.

### Figura 42

*Ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento de las geobotellas de 500 ml*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Figura 43**

*Ensayo de compresión sin confinamiento de las geobotellas de 3000 ml*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**d) Cálculos para el ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento**

La resistencia a la compresión simple se obtuvo dividiendo la máxima carga aplicada sobre la muestra durante el ensayo entre el área de su sección circular expresado en  $\text{kgf/cm}^2$  o MPa. Ver ecuación (3.8) (ASTM D 2938-95)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.8)$$

Donde:

$\sigma$  Resistencia a la compresión simple (en  $\text{kgf/cm}^2$ ,  $\text{N/m}^2$ )

$P$  Fuerza aplicada longitudinalmente (en kgf, N)



$A$  Área (en  $\text{cm}^2$ ,  $\text{m}^2$ )

Si la relación (L/D) es menor que 2 se hace una corrección utilizando la siguiente expresión:

$$C = \frac{Ca}{0.88 + \left(\frac{0.24b}{h}\right)} \quad (3.9)$$

Donde:

$C$  Resistencia a la compresión simple corregida

$Ca$  Resistencia a la compresión simple última

$b$  Diámetro de la muestra

$h$  Altura de la muestra

**e) *Formato de registro de datos para el ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento***

Para el registro de datos del ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento de las geobotellas, se utilizó el formato de la Figura 44, dicho formato fue facilitado por el laboratorio de ingeniería de minas de la PUCP.

## Figura 44

*Formato de registro de datos del ensayo de compresión sin confinamiento de las geobotellas*

Laboratorio:  
Sección Ingeniería de Minas



### ENSAYO DE COMPRESIÓN SIN CONFINAMIENTO

Solicitado por: .....  
Proyecto: .....  
Procedencia: .....  
Fecha de ensayo: .....

| Muestra | Peso | Diámetro (D) (cm) | Longitud (L) (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga (P) (kgf) | (kg/cm <sup>2</sup> )<br>$\sigma = \frac{P}{A}$ |
|---------|------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|---|
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |
|         |      |                   |                   |                         |                 |   |

Fuente: (PUCP, 2018)

### 3.3.3.4. Ensayo de tracción indirecta o brasileño

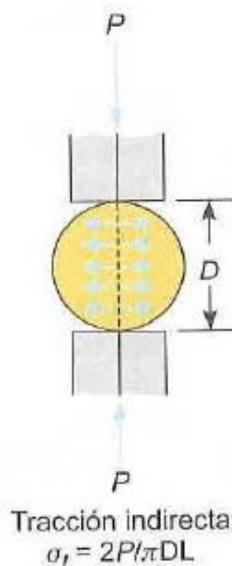
El ensayo de tracción indirecta consiste “en medir la resistencia a tracción inicial de una probeta de roca indirectamente, asumiendo que la rotura se produce por tracción cuando la roca se somete a un estado de esfuerzos biaxial, con un esfuerzo principal

traccional y otro compresivo de magnitud no superior a tres veces el esfuerzo traccional.” (Gonzalez et al., 2002)

“Se aplica una carga vertical compresivas sobre un disco o cilindro de roca, que se coloca en horizontal entre dos placas a través de las cuales se transmite la fuerza hasta conseguir su rotura se pueden emplear placas planas esféricas cóncavas para transmitir las cargas que deberán ser perfectamente paralelas” (Gonzalez et al., 2002) como se muestra en la Figura 45.

### Figura 45

*Esquema de ensayo de tracción indirecta*



Fuente: (Gonzalez et al., 2002)

#### a) *Metodología para el ensayo de tracción indirecta*

Se tomó como referencia la metodología experimental de las normas ASTM 3967 “Método de prueba estándar para resistencia a la tracción por división de muestras intactas de núcleos de roca” y la norma NLT – 253/91 “Determinación de la resistencia tracción indirecta de rocas por el procedimiento brasileño”, debido a que este procedimiento de ensayo no está normado para realizarlo en geobotellas.



**b) *Diámetro y longitud de las muestras para el ensayo de tracción indirecta***

Según la ASTM D3967 “las probetas de muestra deben ser circular con una relación espesor/diámetro (t/D) entre 0.2 y 0.75, y un diámetro de 50 mm podría generalmente satisfacer este criterio.”

Según la NLT - 253/91 “las muestras deben ser cilindros rectos con una altura de dos a tres veces el diámetro y que este no sea menor de 50 mm.”

Según la NLT - 253/91 “Las bases de la probeta deberán ser paralelas y perpendiculares a su eje. Las bases deberán ser planas con una aproximación mayor de 0.02 mm.”

Según la NLT - 253/91 “La perpendicularidad de las bases al eje de la probeta no se debe desviar más de 0.05 m en 50 mm. La cara de la probeta debe ser lisa, libre de irregularidades y recta con una desviación menor de 0.3 mm sobre la magnitud de la probeta.”

**c) *Procedimiento para el ensayo de tracción indirecta***

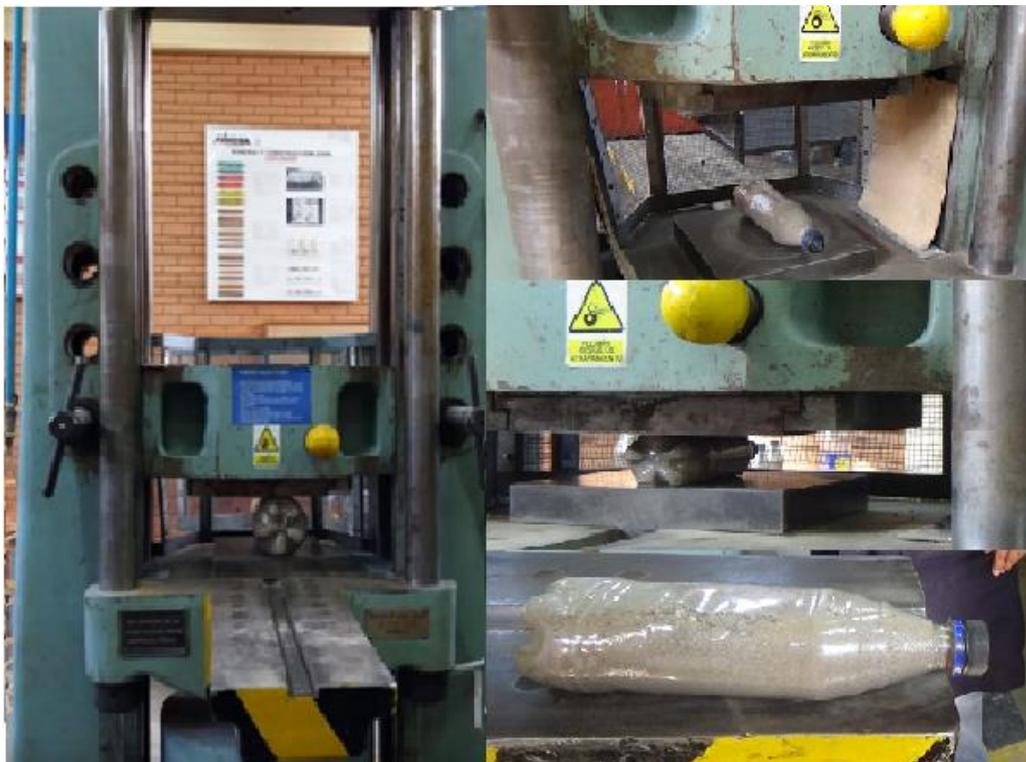
El ensayo se realizó siguiendo los procedimientos de la ASTM D3967. En la presente investigación se ensayaron 7 muestras de geobotellas, 4 de 500 ml y 3 de 3000 ml, ver Figura 46 y Figura 47.

1. La orientación vertical deseada debe ser indicada marcando una línea diametral en cada extremo de la muestra. Estas líneas serán usadas para centrar cada muestra en la máquina de ensayos y asegurar una orientación apropiada, además como líneas de referencia para medir el espesor y el diámetro.

2. La muestra debe ser instalada en la máquina de ensayos asegurando que la carga sea aplicada sobre el diámetro trazado y que los apoyos adicionales coincidan también con la superficie de apoyo con una aproximación de 1.25 mm (0.05 pulgadas).
3. La carga debe ser aplicada en forma continua para producir una rapidez constante de carga o deformación, tal que la ruptura ocurra dentro de 1 a 10 minutos de carga, que debe ser entre 0.05 y 0.35 MPa/s (500 y 3000 psi/min) de rapidez de carga, dependiendo del tipo de roca.
4. Registrar el valor máximo de la carga aplicada sobre la muestra.
5. Se recomienda realizar un registro o esquema de la muestra fracturada.

#### Figura 46

*Ensayo de tracción indirecta de las geobotellas de 500 ml*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Figura 47**

*Ensayo de tracción indirecta de las geobotellas de 3000 ml*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**d) Cálculos para el ensayo de tracción indirecta**

El esfuerzo de tracción indirecta de la muestra se obtuvo según la norma ASTM D3967 con la ecuación (3.10).

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.10)$$

Donde:

$\sigma_t$  Resistencia a la compresión simple (en  $\text{kg/cm}^2$ ,  $\text{N/m}^2$ )

$P$  Fuerza aplicada longitudinalmente (en kilogramos – fuerza, N)

$L$  Longitud de la probeta (en cm, m)

$D$  Diámetro de la probeta (en cm, m)

e) *Formato de registro de datos para el ensayo de tracción indirecta*

Para el registro de datos del ensayo de tracción indirecta de las geobotellas se utilizó el formato de la Figura 48, dicho formato fue facilitado por el laboratorio de ingeniería de minas de la PUCP.

**Figura 48**

*Formato de registro de datos del ensayo de tracción indirecta de las geobotellas*

Laboratorio:  
Sección Ingeniería de Minas



**ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA**

Solicitado por: .....

Proyecto: .....

Procedencia: .....

Fecha de ensayo: .....

| Muestra | Peso | Diámetro (D) (cm) | Longitud (L) (cm) | Carga (P) (kgf) | (kg/cm <sup>2</sup> ) $\sigma_t = \frac{2P}{\pi L D}$ |
|---------|------|-------------------|-------------------|-----------------|---|
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |
|         |      |                   |                   |                 |   |

Fuente: (PUCP, 2018b)

### 3.3.4 Peso unitario del gavión eco-ambiental rellenas con geobotellas

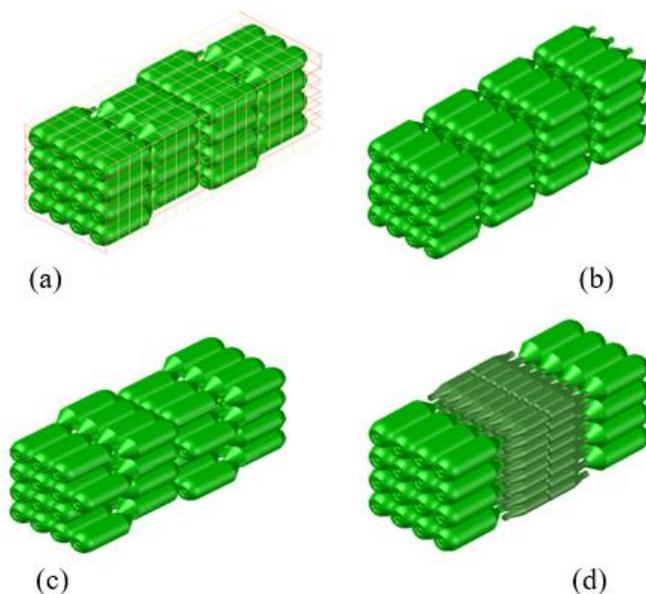
El peso unitario de las estructuras de gaviones está en función al peso específico del material de relleno, como se estudió en el capítulo 2 de la presente investigación, siendo este un dato requerido para realizar los cálculos de estabilidad del muro de contención eco-ambiental, y se obtiene con el siguiente procedimiento:

#### 3.3.4.1. Elección de la mejor propuesta de configuración de llenado del gavión con geobotellas

Se realizó prototipos en Autocad 3D, como se muestra en la Figura 49, con diferentes configuraciones y tamaños de geobotellas en una canasta de gavión, a fin de obtener el menor porcentaje de vacíos en el gavión, asimismo, cuidar que la cara de la botella (diámetro central o longitud) que colinde con la malla de gavión sobrepase en 1.5 a la abertura de la misma, o por lo menos sea 3 cm mayor que las aberturas de la malla del gavión.

**Figura 49**

*Propuestas de configuración de llenado de geobotellas en el gavión*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.4.2. Cálculo del peso específico del gavión relleno con geobotellas

Una vez elegida la mejor configuración de llenado en una canasta de gavión escogido, se calculó el peso específico del gavión eco-ambiental mediante la ecuación

(3.11)

$$\gamma_g = \frac{W_g}{V_g} \quad (3.11)$$

$$W_g = \sum_{i=1}^n W_i \quad (3.12)$$

$$V_g = H \cdot L \cdot A \quad (3.13)$$

Donde:

$\gamma_g$       Peso específico de los gaviones, en  $\text{tn/m}^3$

$W_g$       Peso del gavión, en toneladas “tn”, se obtiene de la sumatoria de los pesos  $W_i$  de “n” cantidad de geobotellas.

$V_g$ .      Volumen del gavión, en  $\text{m}^3$ , se obtiene al multiplicar las medidas de la canasta del gavión utilizado, altura (H), longitud (L) y ancho (A),

### 3.3.5 Porcentaje de vacíos del gavión eco-ambiental rellenas con geobotellas

Para calcular el porcentaje de vacíos del gavión rellenos con geobotellas, ( $n$ ) siendo este un dato requerido para realizar los cálculos de estabilidad del muro de contención eco-ambiental, se obtuvo utilizando la ecuación (2.1) del marco teórico, despejando “ $n$ ” se obtiene la ecuación (3.14)

$$n = 1 - \frac{\gamma_g}{\gamma_r} \quad (3.14)$$



Donde:

$n$  Porcentaje de vacíos o coeficiente de porosidad

$\gamma_g$  Peso específico de los gaviones, en  $\text{tn/m}^3$

$\gamma_r$  Peso específico de la geobotella, en  $\text{tn/m}^3$

### 3.3.6 Diseño del muro de contención eco-ambiental

El muro de contención fue diseñado de acuerdo a las consideraciones estudiadas en el marco teórico del subtítulo 2.3 y criterio del proyectista, teniendo en consideración los siguientes datos:

1. Estudio de la ubicación geográfica donde se ejecutará el proyecto, en el cual se deben conocer los siguientes datos:

- Talud

$\gamma_{\text{Suelo}}$  Peso específico del talud, en  $\text{tn/m}^3$

$\phi$  Ángulo de fricción interna, en grados

$C$  Cohesión, en  $\text{tn/m}^2$

$q$  Sobrecarga encima del talud,  $\text{tn/m}^2$

$\varepsilon$  Ángulo de talud sobre el muro con la horizontal

- Terreno de fundación

$\sigma_{\text{Suelo}}$  Capacidad de carga, en  $\text{tn/m}^2$

$\gamma_{\text{Suelo}}$  Peso específico del suelo del talud

$\phi$  Ángulo de fricción interna

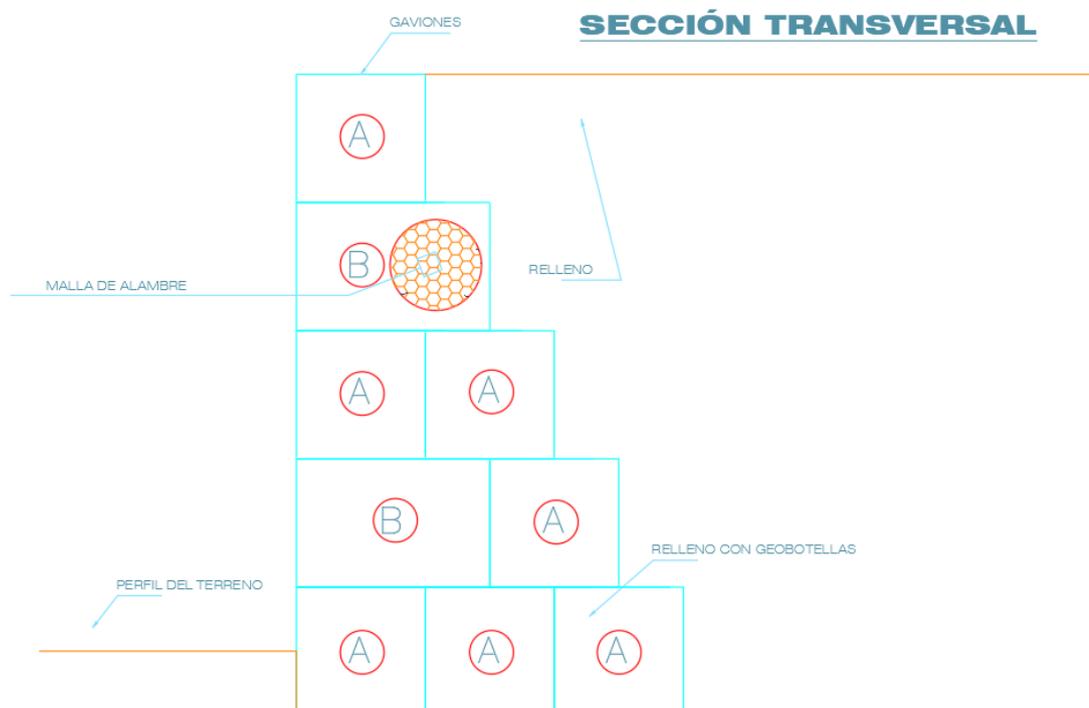
$C$  Cohesión

NF Nivel freático

2. Tener el peso específico del material de relleno, en este caso el de las geobotellas ( $\gamma_r$ ).
3. Tener el porcentaje de vacíos o porosidad del gavión eco ambiental ( $n$ )
4. Escoger el tipo de gavión según su forma, material, dimensiones, tipo y abertura de malla.
5. Suponer la geometría del muro de contención; por ejemplo, la Figura 50, además se debe conocer la base y la altura total que deberá tener el muro, cabe destacar que al contemplar un ángulo de rotación del muro hacia el interior del terreno, disminuye el empuje activo, “esta rotación varia de  $0^\circ$  a  $20^\circ$ , siendo  $6^\circ$  el valor más utilizado.” (Piñar, 2008) ver Figura 51.

**Figura 50**

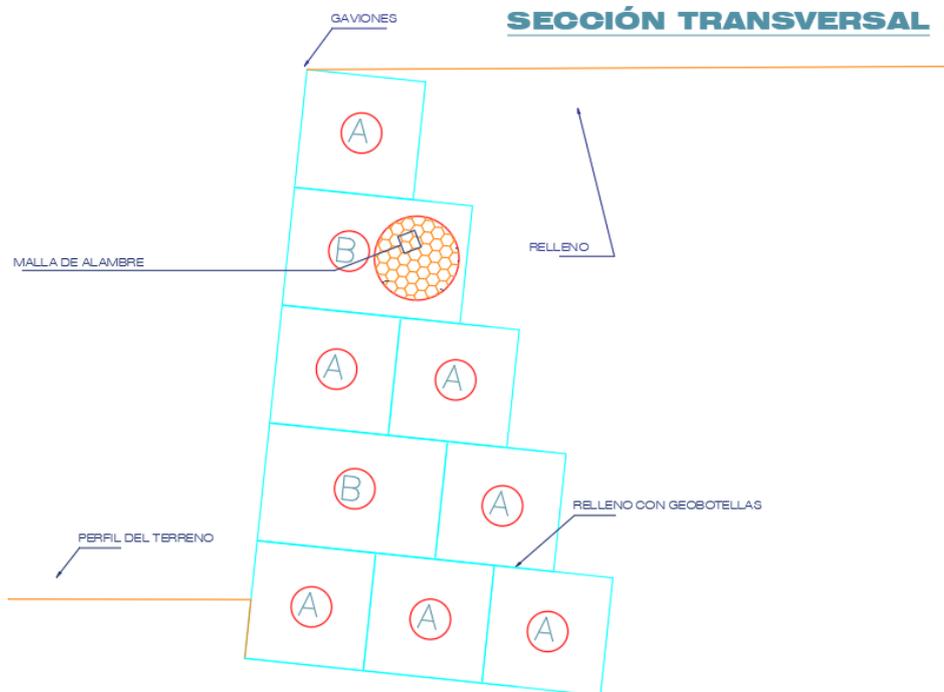
*Geometría del muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Figura 51**

*Ángulo de rotación del muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### **3.3.7 Análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional**

Con el propósito de alcanzar el objetivo de la investigación, se realizó la verificación de las condiciones de estabilidad del muro de contención eco-ambiental a base de geobotellas, mediante la metodología convencional expuesta en marco teórico del subtítulo 2.3.9, donde obtendremos los factores de seguridad contra el deslizamiento y volteo, verificaciones de las presiones aplicadas a la fundación, estabilidad contra rotura interna y estabilidad contra rotura global, para obtener los resultados se programó los procedimientos en una hoja de Excel como se muestra en la Tabla 13 y es como sigue:

**Tabla 13**

*Análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental relleno con geobotellas por el método convencional*

| <b>1. TOMA DE DATOS</b>   |           |                         |                    |
|---|-----------|-------------------------|--------------------|
| DATOS INICIALES   |           | Símbolo                 | Unidad             |
| <b>DATOS DEL MURO DEL GAVIÓN</b>                                      |           |                         |                    |
| Altura del muro   |           | h                       | m                  |
| Ancho de la base del muro   |           | B                       | m                  |
| Ancho de la superficie del muro                                       |           | a                       | m                  |
| Inclinación del muro con la vertical                                  |           | $\alpha$                | grados             |
| Peso específico de las geobotellas                                    |           | $\Upsilon_r$            | tn/m <sup>3</sup>  |
| Porcentaje de vacíos o porosidad                                      |           | n                       | %                  |
| Peso de la red metálica, según especificación                         |           | Pu                      | kgf/m <sup>3</sup> |
| <b>DATOS SOBRE EL TALUD</b>   |           |                         |                    |
| Peso específico del suelo   |           | $\Upsilon_s$            | tn/m <sup>3</sup>  |
| Ángulo de fricción interna  |           | $\varphi$               | grados             |
| Cohesión  |           | C                       | tn/m <sup>2</sup>  |
| Sobrecarga encima del talud   |           | q                       | tn/m <sup>2</sup>  |
| Ángulo de talud sobre el muro con la horizontal                       |           | $\epsilon$              | grados             |
| <b>DATOS SOBRE LA FUNDACIÓN</b>                                       |           |                         |                    |
| Capacidad de carga  |           | $\sigma_{\text{suelo}}$ | tn/m <sup>2</sup>  |
| Ángulo de fricción interna  |           | $\varphi$               | grados             |
| <b>2. CÁLCULO DEL EMPUJE ACTIVO</b>                                   |           |                         |                    |
| 2.1 Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal ( $\beta$ ) |           |                         |                    |
| $\beta = \text{Arctang}\left(\frac{h}{B-a}\right) + \alpha$           |           |                         | (2.10)             |
| Alto del muro   | dato      | h                       | m                  |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B                       | m                  |
| Ancho de la superficie del muro                                       | dato      | a                       | m                  |
| Inclinación del muro con la vertical                                  | dato      | $\alpha$                | grados             |
| Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal en grados       | calculado | $\beta$                 | grados             |

... continuación

### 2.2 Coeficiente de empuje activo ( $k_a$ )

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\beta + \delta)}{\text{sen}^2\beta \text{sen}(\beta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta)\text{sen}(\varphi - \varepsilon)}{\text{sen}(\beta - \delta)\text{sen}(\beta + \varepsilon)}} \right]^2} \quad (2.11)$$

|   |           |               |        |
|---|-----------|---------------|--------|
| Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal en grados   | calculado | ( $\beta$ )   | grados |
| Ángulo de fricción interna del material   | dato      | $\varphi$     | grados |
| Ángulo de fricción entre muro y terreno en grados en muros de gaviones, se puede suponer $\delta=\varphi$ y si tras en muro hay un geotextil, $\delta=0.9\varphi$ | dato      | $\delta$      | grados |
| Ángulo de talud sobre el muro con la horizontal   | dato      | $\varepsilon$ | grados |
| Coeficiente de empuje activo  | calculado | $K_a$         |        |

### 2.3 Altura donde actúa el empuje activo (H)

$$H = [h + (B - a)\tan\alpha]\cos\alpha \quad (2.9)$$

|                                      |           |          |        |
|--------------------------------------|-----------|----------|--------|
| Alto del muro                        | dato      | h        | m      |
| Ancho de la base del muro            | dato      | B        | m      |
| Ancho de la superficie del muro      | dato      | a        | m      |
| Inclinación del muro con la vertical | dato      | $\alpha$ | grados |
| Altura donde actúa el empuje         | calculado | H        | m      |

### 2.4 Altura asimilada de la sobrecarga (hs)

$$hs = q/\gamma_s \quad (2.12)$$

|                                |           |            |                   |
|--------------------------------|-----------|------------|-------------------|
| Sobrecarga encima del talud    | dato      | q          | tn/m <sup>2</sup> |
| Peso específico del suelo      | dato      | $\gamma_s$ | tn/m <sup>3</sup> |
| Altura asimilada de sobrecarga | calculado | hs         | m                 |

### 2.5 Empuje Activo ( $E_a$ )

$$E_a = \frac{1}{2} k_a \gamma_s H^2 \left[ 1 + \frac{2hs}{H} \right] - 2k_a^{1/2} CH \quad (2.13)$$

|                               |           |            |                   |
|-------------------------------|-----------|------------|-------------------|
| Coeficiente del empuje activo | calculado | $K_a$      | tn/m              |
| Peso específico del suelo     | dato      | $\gamma_s$ | tn/m <sup>3</sup> |

...continuación

|   |           |    |                   |
|---|-----------|----|-------------------|
| Altura donde actúa el empuje                  | calculado | H  | m                 |
| Altura asimilada de sobrecarga                | calculado | hs | m                 |
| Cohesión                                      | dato      | C  | tn/m <sup>2</sup> |
| Empuje activo                                 | calculado | Ea | tn/m              |
| 2.6 Punto de aplicación del empuje activo (d) |           |    |                   |

$$d = \frac{H}{3} \left[ \frac{H + 3hs}{H + 2hs} \right] - B \operatorname{sen} \alpha \quad (2.14)$$

|  |           |          |        |
|--|-----------|----------|--------|
| Altura donde actúa el empuje   | calculado | H        | m      |
| Altura asimilada de sobrecarga                                       | calculado | hs       | m      |
| Ancho de la base del muro  | dato      | B        | m      |
| Inclinación del muro con la vertical                                 | dato      | $\alpha$ | grados |
| Medida vertical desde la horizontal donde se aplica el empuje activo | calculado | d        | m      |

2.7 Componente vertical del empuje activo ( $E_v$ )

$$E_v = E_a \operatorname{sen}(90^\circ + \delta - \beta) \quad (2.17)$$

|   |           |          |        |
|---|-----------|----------|--------|
| Empuje activo   | calculado | Ea       | tn/m   |
| Ángulo de fricción entre muro y terreno en grados en muros de gaviones, se puede suponer $\delta = \varphi$ y si tras en muro hay un geotextil, $\delta = 0.9\varphi$ | dato      | $\delta$ | grados |
| Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal en grados   | calculado | $\beta$  | grados |
| Componente vertical del empuje activo   | calculado | $E_v$    | tn/m   |

2.8 Componente Horizontal del empuje activo ( $E_h$ )

$$E_h = E_a \operatorname{cos}(90^\circ + \delta - \beta) \quad (2.18)$$

|   |           |          |        |
|---|-----------|----------|--------|
| Empuje activo   | calculado | Ea       | tn/m   |
| Ángulo de fricción entre muro y terreno en grados en muros de gaviones, se puede suponer $\delta = \varphi$ y si tras en muro hay un geotextil, $\delta = 0.9\varphi$ | dato      | $\delta$ | grados |
| Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal en grados   | calculado | $\beta$  | grados |
| Componente horizontal del empuje activo   | calculado | $E_h$    | tn/m   |

... continuación

### 3. PESO DE LA ESTRUCTURA

#### 3.1 peso específico del gavión ( $\gamma_g$ )

$$\gamma_g = \gamma_r(1 - n) \quad (2.1)$$

|                                  |           |            |                   |
|----------------------------------|-----------|------------|-------------------|
| Peso específico de la geobotella | dato      | $\gamma_r$ | tn/m <sup>3</sup> |
| Porcentaje de vacíos o porosidad | dato      | n          | %                 |
| Peso específico del gavión       | calculado | $\gamma_g$ | tn/m <sup>3</sup> |

#### 3.2 Sección transversal del muro de gavión (S)

$$S = h(a) + \frac{(B - a)h}{2} \quad (2.21)$$

|  |           |   |                |
|--|-----------|---|----------------|
| Alto del muro                          | dato      | h | m              |
| Ancho de la superficie del muro        | dato      | a | m              |
| Ancho de la base del muro              | dato      | B | m              |
| Sección transversal del muro de gavión | calculado | S | m <sup>2</sup> |

#### 3.3 Peso propio de la estructura del gavión (W)

$$W = \gamma_g S \quad (2.20)$$

|   |           |            |                   |
|---|-----------|------------|-------------------|
| Sección transversal del muro de gavión  | calculado | S          | m <sup>2</sup>    |
| Peso específico del gavión              | calculado | $\gamma_g$ | tn/m <sup>3</sup> |
| Peso propio de la estructura del gavión | Calculado | W          | tn/m              |

### 4. VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD CONTRA EL DESLIZAMIENTO

#### 4.1 Factor de seguridad contra el deslizamiento (FSd)

$$FS_d = \frac{[(W + E_v)\cos\alpha + E_h\sin\alpha]\tan\varphi + (W + E_v)\sin\alpha + CB}{E_h\cos\alpha} \quad (2.19)$$

|   |           |                |                   |
|---|-----------|----------------|-------------------|
| Peso propio de la estructura del gavión   | calculado | W              | tn/m              |
| Componente vertical del empuje activo     | calculado | E <sub>v</sub> | tn/m              |
| Componente horizontal del empuje activo   | calculado | E <sub>h</sub> | tn/m              |
| Inclinación del muro con la vertical      | dato      | $\alpha$       | grados            |
| Ángulo de fricción interna del material   | dato      | $\varphi$      | grados            |
| Cohesión                                  | dato      | C              | tn/m <sup>2</sup> |
| Ancho de la base del muro                 | dato      | B              | m                 |
| Factor de seguridad para el deslizamiento | calculado | FSd            |                   |

... continuación

## 5. VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD CONTRA EL VUELCO

### 5.1 Momento de volteo (MV)

$$M_V = E_h d \quad (2.23)$$

|  |           |    |        |
|--|-----------|----|--------|
| Componente horizontal del empuje activo                              | calculado | Eh | tn/m   |
| Medida vertical desde la horizontal donde se aplica el empuje activo | calculado | d  | m      |
| Momento de volteo  | calculado | Mv | tn-m/m |

### 5.2 Distancia horizontal entre el punto de vuelco y el punto de aplicación del empuje activo (S')

$$S' = B \cos \alpha - \frac{H}{3} \left[ \frac{H + 3h_s}{H + 2h_s} \right] \frac{1}{\tan \beta} \quad (2.25)$$

|  |           |          |        |
|--|-----------|----------|--------|
| Ancho de la base del muro  | dato      | B        | m      |
| Inclinación del muro con la vertical   | dato      | $\alpha$ | grados |
| Altura donde actúa el empuje   | calculado | H        | m      |
| Altura asimilada de sobrecarga   | calculado | hs       | m      |
| Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal en grados                          | calculado | $\beta$  | grados |
| Distancia horizontal entre el punto de vuelco y el punto de aplicación del empuje activo | calculado | S'       | m      |

### 5.3 Coordenada horizontal del centro de gravedad (Xg)

$$X_g = \frac{\frac{1}{2} \cdot a^2 \cdot h + \frac{1}{6} \cdot h (B^2 + a \cdot B - 2a^2)}{S} \quad (2.27)$$

|  |           |    |                |
|--|-----------|----|----------------|
| Ancho de la superficie del muro              | dato      | a  | m              |
| Alto del muro                                | dato      | h  | m              |
| Ancho de la base del muro                    | dato      | B  | m              |
| Sección transversal del muro de gavión       | calculado | S  | m <sup>2</sup> |
| Coordenada horizontal del centro de gravedad | calculado | Xg | m              |

... continuación

5.4 Coordenada vertical del centro de gravedad ( $Y_g$ )

$$Y_g = \frac{\frac{1}{2} \cdot a \cdot h^2 + \frac{1}{6} \cdot h^2(B - a)}{S} \quad (2.28)$$

|  |           |       |                |
|--|-----------|-------|----------------|
| Ancho de la superficie del muro            | dato      | a     | m              |
| Alto del muro                              | dato      | h     | m              |
| Ancho de la base del muro                  | dato      | B     | m              |
| Sección transversal del muro de gavión     | calculado | S     | m <sup>2</sup> |
| Coordenada vertical del centro de gravedad | calculado | $Y_g$ | m              |

5.5 Distancia horizontal entre el punto de vuelco y el punto de aplicación del peso ( $S''$ )

$$S'' = X_g \cos \alpha + Y_g \operatorname{sen} \alpha \quad (2.26)$$

|   |           |          |        |
|---|-----------|----------|--------|
| Coordenada horizontal del centro de gravedad                                    | calculado | $X_g$    | m      |
| Coordenada vertical del centro de gravedad                                      | calculado | $Y_g$    | m      |
| Inclinación del muro con la vertical  | dato      | $\alpha$ | grados |
| Distancia horizontal entre el punto de vuelco y el punto de aplicación del peso | calculado | $S''$    | m      |

5.6 Momento resistente al vuelco ( $M_r$ )

$$M_r = W S'' + E_v S' \quad (2.24)$$

|  |           |       |        |
|--|-----------|-------|--------|
| Peso propio de la estructura del gavión  | Calculado | W     | tn/m   |
| Distancia horizontal entre el punto de vuelco y el punto de aplicación del peso          | calculado | $S''$ | m      |
| Componente vertical del empuje activo  | calculado | $E_v$ | tn/m   |
| Distancia horizontal entre el punto de vuelco y el punto de aplicación del empuje activo | calculado | $S'$  | m      |
| Momento resistente   | calculado | $M_r$ | tn-m/m |

5.7 Factor de seguridad contra el vuelco ( $FS_v$ )

$$FS_v = \frac{M_r}{M_v} \quad (2.29)$$

|                    |           |       |        |
|--------------------|-----------|-------|--------|
| Momento resistente | calculado | $M_r$ | tn-m/m |
|--------------------|-----------|-------|--------|

... continuación

|                                      |           |     |        |
|--------------------------------------|-----------|-----|--------|
| Momento de volteo                    | calculado | Mv  | tn-m/m |
| Factor de seguridad contra el vuelco | calculado | FSv |        |

## 6. VERIFICACIÓN DE LAS PRESIONES APLICADAS A LA FUNDACIÓN

### 6.1 Resultante de las fuerzas normales (N)

$$N = (W + E_v) \cos \alpha + E_h \sin \alpha \quad (2.31)$$

|   |           |          |        |
|---|-----------|----------|--------|
| Peso propio de la estructura del gavión | Calculado | W        | tn/m   |
| Componente vertical del empuje activo   | calculado | Ev       | tn/m   |
| Componente horizontal del empuje activo | calculado | Eh       | tn/m   |
| Inclinación del muro con la vertical    | dato      | $\alpha$ | grados |
| Resultante de las fuerzas normales      | calculado | N        | tn/m   |

### 6.2 Excentricidad (e)

$$e = \frac{B}{2} - \left[ \frac{M_r - M_v}{N} \right] \quad (2.32)$$

|  |           |    |        |
|--|-----------|----|--------|
| Ancho de la base del muro              | dato      | B  | m      |
| Momento resistente                     | calculado | Mr | tn-m/m |
| Momento de volteo                      | calculado | Mv | tn-m/m |
| Resultante de las fuerzas normales (N) | calculado | N  | tn/m   |
| Excentricidad                          | calculado | e  | m      |
| Análisis de excentricidad              | calculado |    |        |

### 6.3 Esfuerzo de trabajo en las extremidades de la base para el caso $e < B/6$ ( $\sigma_1$ )

$$\sigma_1 = \frac{N}{B} \left[ 1 + \frac{6e}{B} \right] \quad (2.30)$$

|   |           |            |                   |
|---|-----------|------------|-------------------|
| Resultante de las fuerzas normales (N)                                    | calculado | N          | tn/m              |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B          | m                 |
| Excentricidad   | calculado | e          | m                 |
| Esfuerzo de trabajo en las extremidades de la base para el caso $e < B/6$ | calculado | $\sigma_1$ | tn/m <sup>2</sup> |

### 6.4 Esfuerzo de trabajo en las extremidades de la base para el caso $e < B/6$ ( $\sigma_2$ )

$$\sigma_2 = \frac{N}{B} \left[ 1 - \frac{6e}{B} \right] \quad (2.30)$$



... continuación

|   |           |            |                   |
|---|-----------|------------|-------------------|
| Resultante de las fuerzas normales (N)                                    | calculado | N          | tn/m              |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B          | m                 |
| Excentricidad   | calculado | e          | m                 |
| Esfuerzo de trabajo en las extremidades de la base para el caso $e < B/6$ | calculado | $\sigma_2$ | tn/m <sup>2</sup> |

6.5 Excentricidad real para el caso  $e > B/6$  ( $e'$ )

$$e' = \frac{B}{2} - e \quad (2.33)$$

|                           |           |      |   |
|---------------------------|-----------|------|---|
| Ancho de la base del muro | dato      | B    | m |
| Excentricidad             | calculado | e    | m |
| Excentricidad real        | calculado | $e'$ | m |

6.6 Esfuerzo de trabajo en la extremidad izquierda de la base para el caso  $e > B/6$  ( $\sigma_1$ )

$$\sigma_1 = \frac{2N}{3e'} \quad (2.34)$$

|  |           |            |                   |
|--|-----------|------------|-------------------|
| Resultante de las fuerzas normales (N)   | calculado | N          | tn/m              |
| Excentricidad real   | calculado | $e'$       | m                 |
| Esfuerzo de trabajo en la extremidad izquierda de la base para el caso $e > B/6$ | calculado | $\sigma_1$ | tn/m <sup>2</sup> |

6.7 Esfuerzo de trabajo en la extremidad derecha de la base para el caso  $e > B/6$  ( $\sigma_2$ )

$$\sigma_2 = \sigma_1 \frac{B - 3e'}{3e'} \quad (2.35)$$

|  |           |            |                   |
|--|-----------|------------|-------------------|
| Esfuerzo de trabajo en las extremidades de la base para el caso $e > B/6$      | calculado | $\sigma_1$ | tn/m <sup>2</sup> |
| Ancho de la base del muro  | dato      | B          | m                 |
| Excentricidad real   | calculado | $e'$       | m                 |
| Esfuerzo de trabajo en la extremidad derecha de la base para el caso $e < B/6$ | calculado | $\sigma_2$ | tn/m <sup>2</sup> |

## 7. VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD CONTRA LA ROTURA INTERNA

7.1 – 7.5 Se repiten los procedimientos del 1 al 5 para verificar la estabilidad contra rotura interna entre bloque y bloque, para cada sección.

... continuación

## 7.6 VERIFICACIÓN DE LAS TENSIONES ENTRE BLOQUE Y BLOQUE

### 7.6.1 Resultante de las fuerzas normales (N)

$$N = (W + E_v)\cos\alpha + E_h\text{sen}\alpha \quad (2.38)$$

|   |           |          |        |
|---|-----------|----------|--------|
| Peso propio de la estructura del gavión | Calculado | W        | tn/m   |
| Componente vertical del empuje activo   | calculado | Ev       | tn/m   |
| Componente horizontal del empuje activo | calculado | Eh       | tn/m   |
| Inclinación del muro con la vertical    | dato      | $\alpha$ | grados |
| Resultante de las fuerzas normales      | calculado | N        | tn/m   |

### 7.6.2 Momento actual de la sección de análisis (M)

$$M = M_r - M_v \quad (2.42)$$

|  |           |    |        |
|--|-----------|----|--------|
| Momento resistente                       | calculado | Mr | tn-m/m |
| Momento de volteo                        | calculado | Mv | tn-m/m |
| Momento actual de la sección de análisis | calculado | M  | tn-m/m |

### 7.6.3 Excentricidad (e)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M}{N} \quad (2.41)$$

|  |           |   |        |
|--|-----------|---|--------|
| Ancho de la base del muro                | dato      | B | m      |
| Momento actual de la sección de análisis | calculado | M | tn-m/m |
| Resultante de las fuerzas normales       | calculado | N | tn/m   |
| Análisis de excentricidad                | calculado | e | m      |

### 7.6.4 Ancho de la sección que está trabajando a la compresión (X)

$$X = \frac{0.5B - e}{0.4} \quad (2.40)$$

|   |           |   |   |
|---|-----------|---|---|
| Ancho de la base del muro                               | dato      | B | m |
| Análisis de excentricidad                               | calculado | e | m |
| Ancho de la sección que está trabajando a la compresión | calculado | X | m |

### 7.6.5 Resultante de las fuerzas tangenciales en la sección de análisis (T)

$$T = E_h\cos\alpha - (W + E_v)\text{sen}\alpha \quad (2.39)$$

|   |           |    |      |
|---|-----------|----|------|
| Componente horizontal del empuje activo | calculado | Eh | tn/m |
|---|-----------|----|------|

... continuación

|  |           |                |                    |
|--|-----------|----------------|--------------------|
| Componente vertical del empuje activo  | calculado | Ev             | tn/m               |
| Peso propio de la estructura del gavión  | Calculado | W              | tn/m               |
| Inclinación del muro con la vertical   | dato      | $\alpha$       | grados             |
| Resultante de las fuerzas tangenciales en la sección de análisis (T)                     | calculado | T              | tn/m               |
| 7.6.6 Ángulo de fricción interna de los gaviones ( $\varphi^*$ )                         |           |                |                    |
| $\varphi^* = 25\gamma_g - 10$  |           |                | (2.45)             |
| Peso específico del gavión   | calculado | $\gamma_g$     | tn/m <sup>3</sup>  |
| Ángulo de fricción interna de los gaviones   | calculado | $\varphi^*$    | grados             |
| 7.6.7 Cohesión (agarre) del gavión $C_g$   |           |                |                    |
| $C_g = 10(0.03P_u - 0.05)$   |           |                | (2.46)             |
| Peso de la red metálica, según especificación  | dato      | $P_u$          | kgf/m <sup>3</sup> |
| Cohesión (agarre) del gavión   | calculado | $C_g$          | tn/m <sup>2</sup>  |
| 7.6.8 Esfuerzo normal admisible ( $\sigma_{adm}$ )                                       |           |                |                    |
| $\sigma_{adm} = 50\gamma_g - 30$   |           |                | (2.43)             |
| Peso específico del gavión   | calculado | $\gamma_g$     | tn/m <sup>3</sup>  |
| Esfuerzo normal admisible  | calculado | $\sigma_{adm}$ | tn/m <sup>2</sup>  |
| 7.6.9 Tensión tangencial admisible ( $T_{adm}$ )   |           |                |                    |
| $T_{adm} = \frac{N}{B} \tan\varphi^* + C_g$  |           |                | (2.44)             |
| Resultante de las fuerzas normales   | calculado | N              | tn/m               |
| Ancho de la base del muro  | dato      | B              | m                  |
| Ángulo de fricción interna de los gaviones   | calculado | $\varphi^*$    | grados             |
| Cohesión (agarre) del gavión   | calculado | $C_g$          | tn/m <sup>2</sup>  |
| Tensión tangencial admisible   | calculado | $T_{adm}$      | tn/m <sup>2</sup>  |
| 7.6.10 Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis ( $\sigma_{máx}$ ) |           |                |                    |
| $\sigma_{máx} = \frac{N}{0.8X}$  |           |                | (2.36)             |
| Resultante de las fuerzas normales   | calculado | N              | tn/m               |
| Ancho de la sección que está trabajando a la compresión                                  | calculado | X              | m                  |



... continuación

|  |           |                       |                   |
|--|-----------|-----------------------|-------------------|
| Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis                           | calculado | $\sigma_{\text{máx}}$ | tn/m <sup>2</sup> |
| 7.6.11 Tensión tangencial en las en la sección de análisis (T <sub>máx</sub> )           |           |                       |                   |
| $T_{\text{máx}} = \frac{T}{B}$   |           |                       | (2.37)            |
| Resultante de las fuerzas tangenciales en la sección de análisis (T)                     | calculado | T                     | tn/m              |
| Ancho de la base del muro  | dato      | B                     | m                 |
| Tensión tangencial en las en la sección de análisis                                      | calculado | T <sub>máx</sub>      | grados            |
| <b>8. VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD CONTRA ROTURA GLOBAL</b>                            |           |                       |                   |
| 8.1 DATOS INICIALES  |           | Símbolo               | Unidad            |
| DATOS DEL MURO DEL GAVIÓN  |           |                       |                   |
| Altura del muro  |           | h                     | m                 |
| Ancho de la base del muro  |           | B                     | m                 |
| Ancho de la superficie del muro  |           | a                     | m                 |
| Inclinación del muro con la vertical   |           | $\alpha$              | grados            |
| Peso específico del gavión   |           | $\Upsilon_g$          | tn/m <sup>3</sup> |
| DATOS SOBRE EL TALUD   |           |                       |                   |
| Peso específico del suelo  |           | $\Upsilon_s$          | tn/m <sup>3</sup> |
| Ángulo de fricción interna   |           | $\phi$                | grados            |
| Cohesión   |           | C                     | tn/m <sup>2</sup> |
| Sobrecarga encima del talud  |           | q                     | tn/m <sup>2</sup> |
| Ángulo de talud sobre el muro con la horizontal  |           | $\epsilon$            | grados            |
| 8.2 Selección del círculo de deslizamiento   |           |                       |                   |
| Coordenada horizontal del centro de la superficie circular con respecto al punto de giro |           | X <sub>c</sub>        | m                 |
| Coordenada vertical del centro de la superficie circular con respecto al punto de giro   |           | Y <sub>c</sub>        | m                 |
| Radio  |           | R                     | m                 |
| 8.3 División de dovelas - gráfico  |           |                       |                   |

... continuación

| 8.4 Calculo del peso de cada dovela - mediante gráfico                |                                 |                     |                                      |                    |                               |                             |
|---|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Dovela  | Descripción                     | Área m <sup>2</sup> | Peso específico<br>tn/m <sup>3</sup> | Peso<br>tn         | Peso por dovela<br>W (tn/m)   |                             |
| 8.5 Tabulación de datos   |                                 |                     |                                      |                    |                               |                             |
| Dovela<br>número  | Peso por<br>dovela<br>W<br>tn/m | $\alpha$<br>grados  | $\text{sen}\alpha$                   | $\text{cos}\alpha$ | Longitud<br>de arco<br>l<br>m | $W\text{sen}\alpha$<br>tn/m |
| 8.6 Factor de seguridad contra la rotura global                       |                                 |                     |                                      |                    |                               |                             |
| $F = \frac{\Sigma c'l + \Sigma N'tan\phi'}{\Sigma W\text{sen}\alpha}$ |                                 |                     |                                      |                    |                               | (3.15)                      |
| Cohesión  |                                 |                     |                                      | dato               | $c'$                          | tn/m <sup>2</sup>           |
| Ángulo de fricción interna  |                                 |                     |                                      | dato               | $\phi$                        | grados                      |
| $\Sigma l$  |                                 |                     |                                      | calculado          |                               | m                           |
| $\Sigma w\text{sen}\alpha$  |                                 |                     |                                      | calculado          |                               | tn/m                        |
| $N'= w\text{cos}\alpha$   |                                 |                     |                                      | calculado          |                               | tn/m                        |
| Factor de seguridad contra la rotura global                           |                                 |                     |                                      | calculado          | F                             |                             |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.8 Análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el software GawacWin GSC 3.0

Para alcanzar el objetivo de la investigación, se realizó la verificación de las condiciones de estabilidad del muro de contención eco-ambiental a base de geobotellas, mediante el software GawacWin GSC 3.0, expuesta en marco teórico del subtítulo 2.3.10, donde obtendremos:

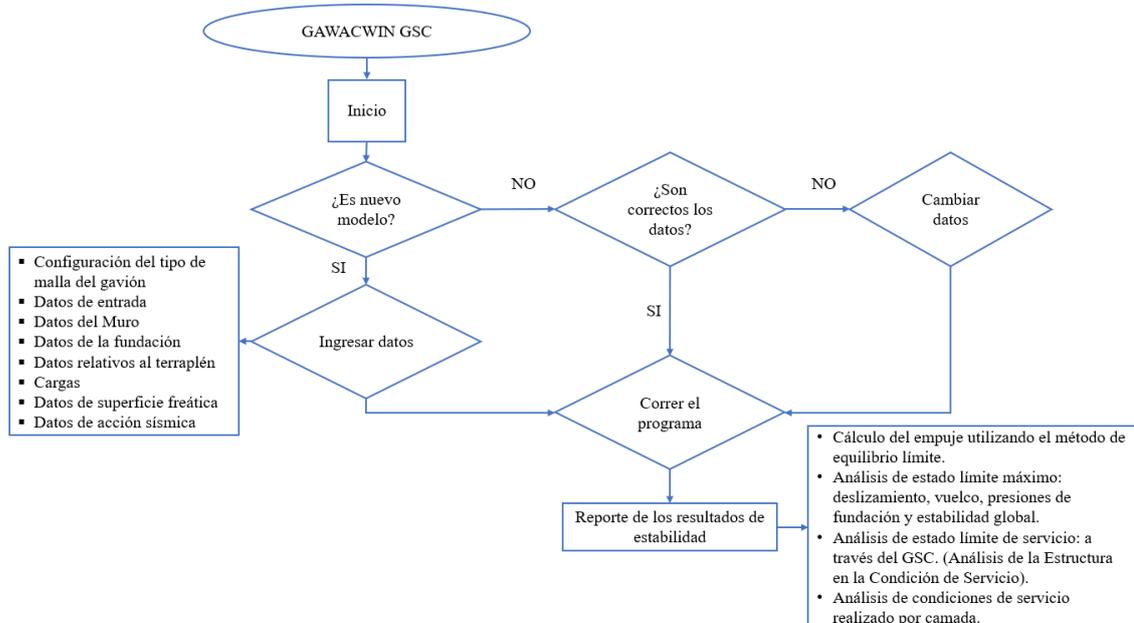
- Cálculo del empuje utilizando el método de equilibrio límite.
- Análisis de estado límite máximo: deslizamiento, vuelco, presiones de fundación y estabilidad global.

- Análisis de estado límite de servicio: a través del GSC. (Análisis de la Estructura en la Condición de Servicio).
- Análisis de condiciones de servicio realizado por camada.

Para obtener los resultados de estabilidad se realizó un flujograma de uso del software GawacWin GSC vista en la Figura 52; Asimismo, se muestra en el Anexo A la guía de utilización del software GawacWin GSC 3.0 (Gabion wall Desing) elaborado por (Pinto et al., 2021) – MACAFERRI.

### Figura 52

Flujograma de uso del software GawacWin GSC 3.0



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.9 Relación de base por altura vs factores de seguridad

Con el propósito de analizar la relación de base por altura vs factores de seguridad factores de seguridad contra el deslizamiento, volteo, verificaciones de las presiones aplicadas a la fundación y estabilidad contra rotura global se realizó un gráfico de líneas, que permite ver los cambios de los factores de seguridad a lo largo del rango base por

altura, las cuales permiten ver la tendencia y comparar simultáneamente los factores de seguridad obtenidos por el método convencional y software GawacWin GSC.

### 3.3.10 Proceso constructivo del prototipo de gavión eco-ambiental

Para obtener el prototipo de gavión eco-ambiental se utilizó una canasta de gavión tipo caja, con malla electrosoldada, de dimensiones  $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ m}^3$ , la cual se procedió a llenar con geobotellas, atirantar y finalmente el proceso de costura y cierre del gavión.

#### 3.3.10.1. Llenado del gavión con geobotellas

Se llenó in situ las geobotellas en una caja de gavión  $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ m}^3$  como se muestra en la Figura 53, siempre teniendo en cuenta que la cara de la botella (diámetro central o longitud) que colinde con la malla de gavión sobrepase en 1.5 a la abertura de la misma, o por lo menos sea 3cm mayor que las aberturas de la malla del gavión.

#### Figura 53

*Llenado de geobotellas en el gavión*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

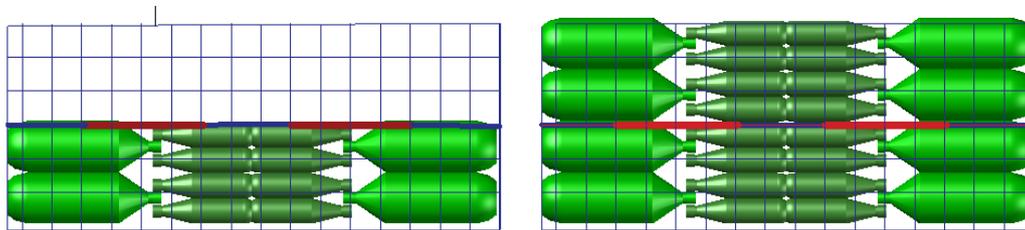
#### 3.3.10.2. Atirantado

Para evitar deformaciones en el llenado de gaviones con geobotellas se colocó tensores internos transversales de alambre galvanizado de diámetro de 2,2 mm, de la siguiente manera:

Rellenar las geobotellas hasta una altura de aproximadamente 0.3 m para gaviones de 1.00 m y 0.25 m para los de 0.5 m, como se muestra en la Figura 54 y luego colocar los tensores a cada metro cúbico, Los tirantes deben ser amarrados a dos torsiones, mínimo a cuatro alambres distintos de la cara frontal y a dos de la posterior de cada célula, ver Figura 54 y Figura 55.

#### Figura 54

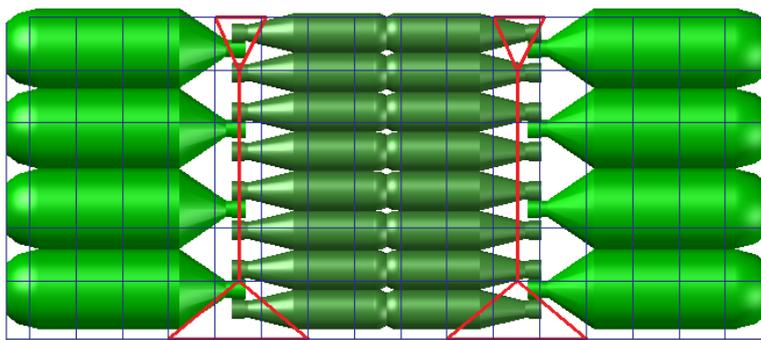
*Proceso de llenado y atirantado de gavión de 0.5 m de altura, llenado en dos etapas (vista frontal)*



Fuente: (Elaborado por el equipo de trabajo 2022)

#### Figura 55

*Detalle de colocación de tirantes (vista en planta)*



Fuente: (Fuente Elaborado por el equipo de trabajo 2022)

#### 3.3.10.3. Costura y Cierre

Terminadas las operaciones de relleno, se instaló la tapa y se procedió a coser a los bordes superiores de la base y de los diafragmas de forma continua, atravesando todas las mallas con el alambre. De esta forma se obtienen uniones resistentes que aseguren una

estructura monolítica y apta para soportar fuertes solicitaciones y deformaciones. El alambre deberá ser de un diámetro mínimo de 2.2 mm, ver Figura 56.

### **Figura 56**

*Costura y cierre del gavión*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **3.3.11 Presupuesto de instalación del muro de contención convencional de gaviones relleno con piedras**

Se llevó a cabo el presupuesto de la instalación de gaviones tradicionales empleando los criterios técnicos para su ejecución, “teniendo en consideración aspectos tales como: costos de materiales, mano de obra y equipo a utilizar, lugar y tiempo de ejecución entre otros”(CAPECO, 2003), tomando como referencia a los procedimientos de CAPECO

Se realizó el presupuesto de instalación de gavión considerando las siguientes partidas:



- Recolección y apilamiento de piedra
- Muro de gaviones de tipo caja
- Flete terrestre, transporte de mallas a almacén
- Flete terrestre, transporte de piedras desde cantera a almacén
- Traslado de piedra del almacén a obra

Para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- Análisis de precios unitarios.
- Metrados
- Presupuesto

### **3.3.12 Presupuesto de instalación del muro de contención eco-ambiental de gaviones relleno con geobotellas**

Se llevó a cabo, el presupuesto de la instalación de gaviones eco-ambientales empleando los criterios técnicos para su ejecución, “teniendo en consideración aspectos tales como: costos de materiales, mano de obra y equipo a utilizar, lugar y tiempo de ejecución entre otros”(CAPECO, 2003), tomando como referencia a los procedimientos de CAPECO

Se realizó el presupuesto de instalación de gavión considerando las siguientes partidas que corresponde a la instalación del gavión:

- Rellenado de botellas PET con material propio
- Muro de gaviones eco-ambientales de tipo caja
- Flete terrestre, transporte de mallas a almacén
- Flete terrestre, transporte de botellas a almacén
- Traslado de geobotellas PET del almacén a obra



Para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- Análisis de precios unitarios.
- Metrados
- Presupuesto

### **3.3.13 Comparación de costos entre gaviones tradicionales y gaviones eco-ambientales**

Con el objetivo de comparar los costos entre gaviones tradicionales y gaviones eco-ambientales, se utilizó gráficos de distribución porcentual de las partidas del presupuesto de cada tipo de gavión; asimismo, se realizó una diferencia de costos entre gaviones tradicionales y gaviones con botellas PET aplicados en muros de contención mediante un gráfico de barras rectangulares con longitudes proporcionales a los valores de la distribución porcentual del presupuesto.

### **3.3.14 Ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental**

A fin de verificar las ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental se realizó un análisis a los resultados de la metodología y estudios del marco teórico, mediante un cuadro de ventajas y desventajas. Los puntos analizados son los siguientes:

- Duración
- Economía
- Social
- Ambiente
- Porcentaje de vacíos del gavión
- Proceso constructivo del gavión eco-ambiental
- Reglamentación y normativa

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE PREPARACIÓN DE LAS GEOBOTELLAS

Siguiendo el procedimiento de preparación de geobotellas se obtuvo 14 muestras, para obtener sus propiedades físicas y mecánicas, 8 de 500 ml y 6 de 3000 ml como se muestra en la Figura 57. De la misma manera, se prepararon geobotellas para el llenado del prototipo de una canasta de gavión de dimensiones  $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ m}^3$ .

**Figura 57**

*Geobotellas de 500 ml y 3000 ml*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.2. RESULTADO DE PESO ESPECÍFICO DE LAS GEOBOTELLAS

Siguiendo el procedimiento de peso específico, inicialmente se realizó el análisis estadístico para la determinación del número de muestras, que consistió en pesar las

geobotellas de 500 ml y 3000 ml, tres muestras de cada una, se calculó el valor medio  $\bar{x}_3$ , dispersión D y el tanto por ciento de dispersión T como se muestra en la Tabla 14

**Tabla 14**

*Resultado del tanto por ciento de dispersión T de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml*

| Muestra | Tamaño  | Peso (kg) | $\bar{x}_3$ (kg) | D (kg) | T (%) |
|---------|---------|-----------|------------------|--------|-------|
| 1-1     | 500 ml  | 1.078     |                  |        |       |
| 1-2     | 500 ml  | 1.087     | 1.077            | 0.021  | 1.95  |
| 1-3     | 500 ml  | 1.066     |                  |        |       |
| 2-1     | 3000 ml | 5.572     |                  |        |       |
| 2-2     | 3000 ml | 5.590     | 5.673            | 0.284  | 5.01  |
| 2-3     | 3000 ml | 5.856     |                  |        |       |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 14 obtenemos una dispersión “D” mayor a la sensibilidad de la balanza “S” (5 mg o 0.000005 kg), para ambos casos; y un tanto por ciento de dispersión “T” de 1.95% para las geobotellas de 500 ml, que indica que bastan las tres medidas realizadas, y para las geobotellas de 3000 ml, un tanto por ciento de dispersión T de 5.01%, que indica que es necesario un total de 6 medidas, de acuerdo a la Tabla 12 de tanto por ciento de la dispersión. El error absoluto para el primer caso, es el valor de la sensibilidad del aparato  $\Delta x = 0.000005$  dada por la ecuación 3.4, para el segundo caso el error absoluto es 0.288 dada por la ecuación 3.5 como se calculó en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Resultado del error absoluto del peso de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml*

| Muestra | Tamaño | Peso (kg) | D (kg) | $\Delta x$             |
|---------|--------|-----------|--------|------------------------|
| 1-1     | 500 ml | 1.078     |        | $\Delta x=S, 0.000005$ |
| 1-2     | 500 ml | 1.087     | 0.021  | $\Delta x=S, 0.000005$ |
| 1-3     | 500 ml | 1.066     |        | $\Delta x=S, 0.000005$ |

... continuación

|     |         |       |       |                             |
|-----|---------|-------|-------|-----------------------------|
| 2-1 | 3000 ml | 5.572 |       | $\Delta x = D_6 / 6, 0.288$ |
| 2-2 | 3000 ml | 5.590 | 0.288 | $\Delta x = D_6 / 6, 0.288$ |
| 2-3 | 3000 ml | 5.856 |       | $\Delta x = D_6 / 6, 0.288$ |
| 2-4 | 3000 ml | 5.860 |       | $\Delta x = D_6 / 6, 0.288$ |
| 2-5 | 3000 ml | 5.671 |       | $\Delta x = D_6 / 6, 0.288$ |
| 2-6 | 3000 ml | 5.834 |       | $\Delta x = D_6 / 6, 0.288$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

El volumen de las geobotellas se obtuvo incrementando el 5% del volumen de la capacidad a rebose respecto a su capacidad a nivel de llenado como se aprecia en la Tabla 16. Finalmente se calculó el peso específico mediante la ecuación (3.7) halladas en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Peso específico de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml*

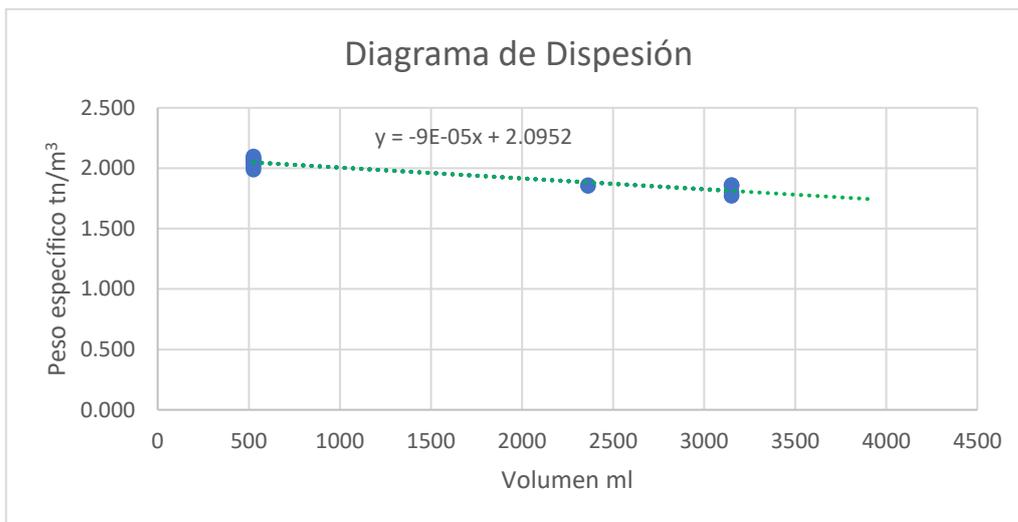
| Muestra | Tamaño  | Peso (kg) | Volumen (ml) | Peso específico<br>( $\text{tn/m}^3$ ) |
|---------|---------|-----------|--------------|--|
| 1-1     | 500 ml  | 1.078     | 525          | 2.053                                  |
| 1-2     | 500 ml  | 1.087     | 525          | 2.070                                  |
| 1-3     | 500 ml  | 1.066     | 525          | 2.030                                  |
| 2-1     | 3000 ml | 5.572     | 3150         | 1.769                                  |
| 2-2     | 3000 ml | 5.59      | 3150         | 1.775                                  |
| 2-3     | 3000 ml | 5.856     | 3150         | 1.859                                  |
| 2-5     | 3000 ml | 5.86      | 3150         | 1.860                                  |
| 2-6     | 3000 ml | 5.671     | 3150         | 1.800                                  |
| 2-8     | 3000 ml | 5.834     | 3150         | 1.852                                  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para calcular la relación que existe entre el volumen de las geobotella con el peso específico, se utilizó el modelo de regresión lineal simple, mediante esta técnica, la función que aproxima los datos es una recta, a la cual llamaremos “línea de tendencia” que está dada por la ecuación:  $Y = -9E-05X + 2.0979$ , como se muestra en la Figura 58.

**Figura 58**

*Diagrama de dispersión – peso específico de geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Los resultados de peso específico de las geobotellas se muestran en la Tabla 17, donde concluimos que las geobotellas de menor tamaño (500 ml) presentan mayor peso específico, esto nos indica que las geobotellas de 500 ml tienen un menor porcentaje de vacíos, respecto a las de 3000 ml.

**Tabla 17**

*Peso específico promedio de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml – Cantera Jicamarca*

| Tamaño  | Peso promedio<br>(tn) | Volumen<br>(m <sup>3</sup> ) | Peso Específico<br>(tn/m <sup>3</sup> ) |
|---------|-----------------------|------------------------------|---|
| 3000 ml | 0.0057305             | 0.00315                      | 1.819                                   |
| 500 ml  | 0.0010764             | 0.000525                     | 2.051                                   |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Para los cálculos de estabilidad tomaremos como peso específico de las geobotellas el menor valor como dato conservador. que resulta ser  $1.819 \text{ tn/m}^3$  debido a que en el proceso de llenado de gaviones se usarán geobotellas de diferentes tamaños.

### **4.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA DE LAS GEOBOTELLAS**

#### **4.3.1 Resultados del ensayo de compresión uniaxial sin confinamiento**

Se realizó el procedimiento 7 veces, para cada muestra y se obtuvo los resultados de resistencia a la compresión sin confinamiento como se muestran en la Tabla 18, donde se observa que las geobotellas de 500 ml presentan menor resistencia a la compresión simple que las de 3000 ml, y la relación entre la longitud y el diámetro (L/D) es mayor a 2; por lo tanto, no se necesita corregir los resultados de resistencia.

Se calculó la relación de longitud/ diámetro a las geobotellas como se muestra en la Tabla 18, donde podemos observar que la relación cumple con la norma ISRM (1979), Las bases de las geobotellas son paralelas y perpendiculares al eje longitudinal cumpliendo así con la norma ASTM D4543, sin embargo, las geobotellas no poseen un volumen regular (cilíndrica circular) como refiere la norma ASTM D4543; por lo tanto, los resultados de resistencia a la compresión son aproximados.

**Tabla 18**

*Resultado del ensayo de compresión sin confinamiento de las geobotellas*

| Muestra | Tamaño  | Peso (kg) | Diámetro central (cm) | Área central (A) (cm <sup>2</sup> ) | Longitud (L) (cm) | Relación entre longitud y diámetro (L/D) | Carga máxima (P) (kgf) | Resistencia a la compresión ( $\sigma = \frac{P}{A}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------|-----------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|--|------------------------|--|
| 1-1     | 500 ml  | 1.078     | 7.2                   | 40.72                               | 23.394            | 3.25                                     | 900                    | 22.10  |
| 1-2     | 500 ml  | 1.087     | 7.2                   | 40.72                               | 23.394            | 3.25                                     | 850                    | 20.88  |
| 1-3     | 500 ml  | 1.066     | 7.2                   | 40.72                               | 23.394            | 3.25                                     | 900                    | 22.10  |
| 1-4     | 500 ml  | 1.043     | 7.2                   | 40.72                               | 23.394            | 3.25                                     | 900                    | 22.10  |
| 2-1     | 3000 ml | 5.572     | 12.2                  | 116.90                              | 36.000            | 2.95                                     | 4150                   | 35.50  |
| 2-2     | 3000 ml | 5.590     | 12.2                  | 116.90                              | 36.000            | 2.95                                     | 3200                   | 27.37  |
| 2-3     | 3000 ml | 5.856     | 12.2                  | 116.90                              | 36.000            | 2.95                                     | 3450                   | 29.51  |

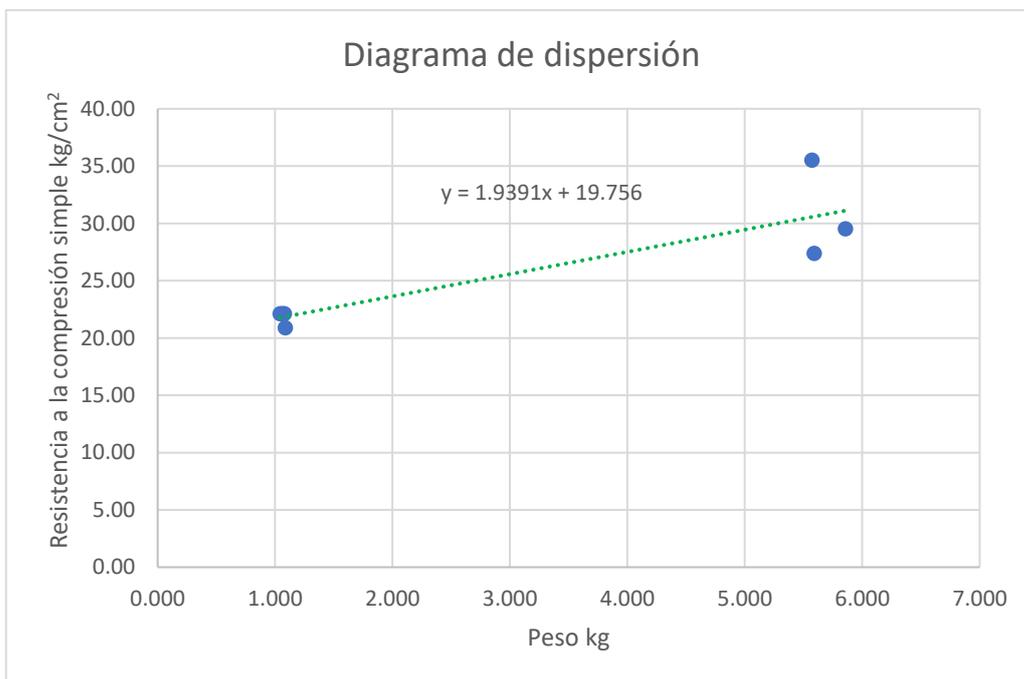
Nota: La validez de los ensayos realizados en laboratorio de mecánica de rocas de la PUCP se presenta mediante una constancia que certifica fehacientemente lo investigado en el Anexo B de la presente investigación.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para calcular la resistencia a la compresión simple promedio de las geobotellas en relación a su peso, se utilizó el modelo de regresión lineal simple, mediante esta técnica, la función que aproxima los datos es una recta, a la cual llamaremos “línea de tendencia” que está dada por la ecuación:  $Y = 1.9391X + 19.756$ , como se observa en la Figura 59

**Figura 59**

*Diagrama de dispersión - compresión simple de geobotellas*



Fuente: (Gonzalez et al., 2002)

Los resultados de la resistencia a la compresión simple se muestran en la Tabla 19. El tipo de fractura que presenta es de tipo extensional porque la fractura elíptica es paralela al eje de máximo esfuerzo.

Concluimos que las geobotellas de 500 ml y 3000 ml presenta una resistencia a la compresión simple promedio de  $21.80 \text{ kg/cm}^2$  y  $30.80 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, siendo las botellas de 3000 ml más resistentes a la compresión simple en comparación con las de 500 ml, como se observa en la Tabla 19.

**Tabla 19***Promedio de la resistencia a la compresión sin confinamiento de las geobotellas*

| <b>Tamaño</b> | <b>Material de relleno</b> | <b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Promedio de resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|---------------|----------------------------|--|--|
| 500 ml        |                            | 22.10  |  |
| 500 ml        | Arena fina de la cantera   | 20.88  | 21.80  |
| 500 ml        |                            | 22.10  |  |
| 500 ml        | Jicamarca                  | 22.10  | 30.80  |
| 3000 ml       |                            | 35.50  |  |
| 3000 ml       |                            | 27.37  |  |
| 3000 ml       |                            | 29.51  |  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.3.2 Resultados para el ensayo de tracción indirecta

Se realizó el procedimiento 7 veces, para cada muestra y se obtuvo los resultados de resistencia a la tracción indirecta como se muestran en la Tabla 20.

Se calculó la relación de espesor/ diámetro (t/D) a las geobotellas como se muestra en la Tabla 20, donde podemos observar que la relación es 1, los diámetros son mayores a 50 mm, las bases son planas, la base es perpendicular al eje de las geobotellas, la cara de las geobotellas es lisa, cumpliendo así con la norma NLT -253/91 , pero sin embargo geobotellas no poseen un volumen regular (cilíndrica circular) como refiere la norma ASTM D3967 y NLT – 253/90; por lo tanto, los resultados de resistencia a tracción indirecta son aproximados.

**Tabla 20**

*Resultado del ensayo de tracción indirecta*

| Muestra | Tamaño  | Peso (kg) | Diámetro central (D) (cm) | Longitud (L) (cm) | Relación entre longitud y diámetro (L/D) | Carga máxima (P) (kgf) | Resistencia a la tracción ( $\sigma_t = \frac{2P}{\pi LD}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------|-----------|---------------------------|-------------------|--|------------------------|--|
| 1-5     | 500 ml  | 1.086     | 7.2                       | 23.394            | 3.25                                     | 4100                   | 15.50  |
| 1-6     | 500 ml  | 1.094     | 7.2                       | 23.394            | 3.25                                     | 4900                   | 18.52  |
| 1-7     | 500 ml  | 1.056     | 7.2                       | 23.394            | 3.25                                     | 6500                   | 24.57  |
| 1-8     | 500 ml  | 1.101     | 7.2                       | 23.394            | 3.25                                     | 5250                   | 19.84  |
| 2-5     | 3000 ml | 5.860     | 12.2                      | 36.000            | 2.95                                     | 9950                   | 14.42  |
| 2-6     | 3000 ml | 5.671     | 12.2                      | 36.000            | 2.95                                     | 12600                  | 18.26  |
| 2-8     | 3000 ml | 5.834     | 12.2                      | 36.000            | 3.43                                     | 12900                  | 18.70  |

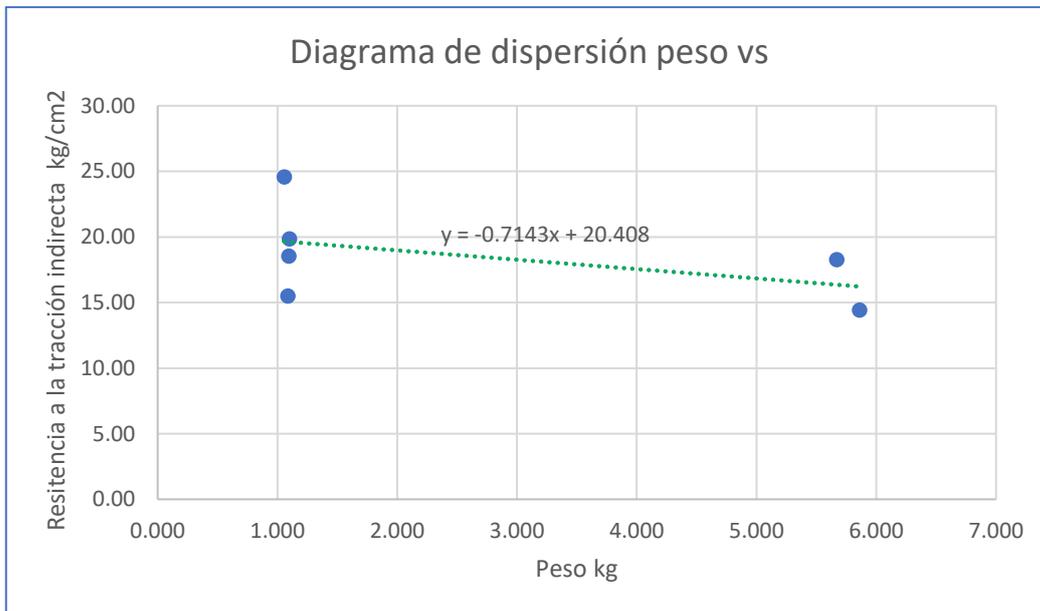
Nota: La validez de los ensayos realizados en laboratorio de mecánica de rocas de la PUCP se presenta mediante una constancia que certifica fehacientemente lo investigado en el Anexo B de la presente investigación.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para calcular la resistencia a la compresión simple promedio de las geobotellas en relación a su peso, se utilizó el modelo de regresión lineal simple, mediante esta técnica, la función que aproxima los datos es una recta, a la cual llamaremos “línea de tendencia” que está dada por la ecuación:  $Y = -7143X + 20.408$ , como se observa en la Figura 60.

**Figura 60**

*Diagrama de dispersión – tracción indirecta de geobotellas*



Fuente: (Gonzalez et al., 2002)

Los resultados de la resistencia a la tracción indirecta de las geobotellas se muestran en la Tabla 20. El tipo de fractura que presenta es de tipo extensional porque la fractura elíptica es paralela al eje de máximo esfuerzo.

Concluimos que las geobotellas de 500 ml y 3000 ml presenta una resistencia a la tracción indirecta promedio de  $19.61 \text{ kg/cm}^2$  y  $17.13 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, como se observa en la Tabla 21

**Tabla 21***Promedio de la resistencia a la tracción indirecta de las geobotellas*

| <b>Tamaño</b> | <b>Material de relleno</b> | <b>Resistencia a la tracción (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Promedio de resistencia a la tracción indirecta (kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|---------------|----------------------------|--|--|
| 500 ml        |                            | 15.50  |  |
| 500 ml        | Arena fina de la           | 18.52  | 19.61  |
| 500 ml        | cantera                    | 24.57  |  |
| 500 ml        | Jicamarca                  | 19.84  |  |
| 3000 ml       |                            | 14.42  |  |
| 3000 ml       |                            | 18.26  | 17.13  |
| 3000 ml       |                            | 18.70  |  |

Fuente: (Gonzalez et al., 2002)

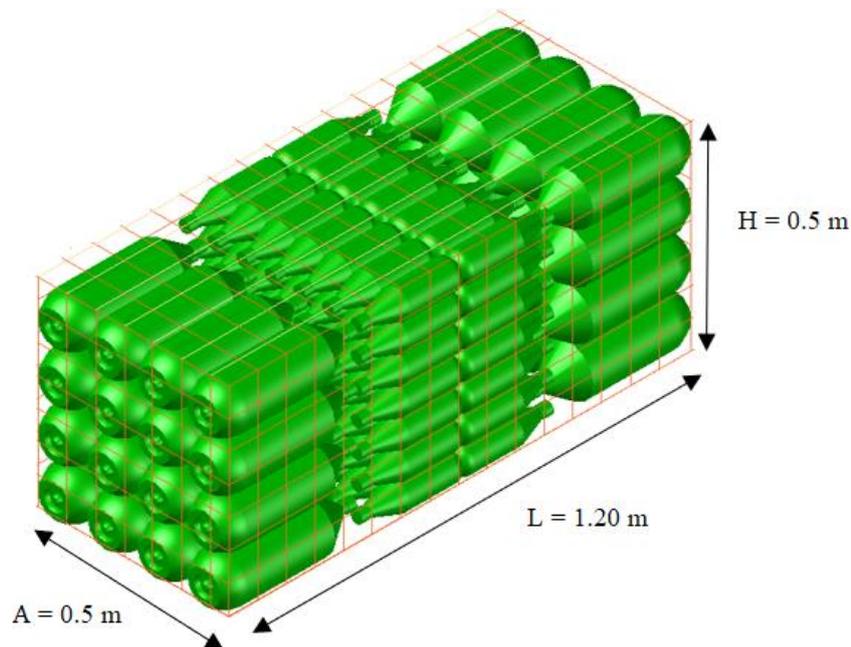
#### **4.4. CÁLCULO DEL PESO UNITARIO DEL GAVIÓN ECO-AMBIENTAL RELLENADAS CON GEOBOTELLAS**

De acuerdo al modelado 3D se llega a la conclusión que la propuesta de la Figura 49(d) tiene menor porcentaje de vacíos, respecto a los demás; por lo tanto, es necesario el uso de botellas de diferentes tamaños, se recomienda las botellas de 3000 ml, con diámetro central de 12.2 cm y las botellas de 500 ml, con diámetro central de 7.2 cm, porque el diámetro central de las botellas de 3000 ml mide aproximadamente el doble del diámetro central de las botellas de 500 ml.

Para calcular el peso unitario del gavión eco-ambiental se tomó la configuración (d) de la Figura 49 para un gavión de dimensiones 0.50x0.50x1.20 m<sup>3</sup>, donde se utilizaron 32 geobotellas de 3000 ml y 98 geobotellas de 500 ml como se muestra en la Figura 61.

**Figura 61**

*Mejor configuración de llenado de geobotellas en el gavión*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla 22 se obtiene el peso del gavión eco-ambiental ( $W_g$ ) de 0.2888632 tn utilizando la ecuación (3.12), que es el resultado de la cantidad de geobotellas multiplicados por su peso.

**Tabla 22**

*Peso del gavión eco-ambiental en tn*

| Tamaño de las geobotellas                                      | Cantidad | Peso por unidad (tn) | Peso (tn) |
|--|----------|----------------------|-----------|
| 3000 ml  | 32       | 0.0057305            | 0.183376  |
| 500 ml   | 98       | 0.0010764            | 0.105487  |
| Peso total de la estructura del gavión eco-ambiental ( $W_g$ ) |          |                      | 0.2888632 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

El volumen del gavión eco-ambiental ( $V_g$ ) se obtiene al multiplicar las medidas de su altura (H), longitud (L) y ancho (A), obteniendo así un volumen de  $0.3 \text{ m}^3$ , para una canasta de gavión de dimensiones  $0.5 \times 0.5 \times 1.20 \text{ m}^3$ .

Por lo tanto, el peso específico del gavión ( $\gamma_g$ ) se obtiene al reemplazar los valores del peso y volumen en la ecuación (3.11), dando resultado un peso específico del gavión de  $.0.9628773 \text{ tn/m}^3$  dado por la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Peso específico del gavión eco-ambiental*

|   |             |                 |
|---|-------------|-----------------|
| Peso total de la estructura del gavión eco-ambiental ( $W_g$ )      | 0.2888632   | tn              |
| Volumen del gavión eco-ambiental ( $V_g$ )                          | 0.30        | $\text{m}^3$    |
| Peso específico del gavión eco-ambiental ( $\gamma_g = W_g / V_g$ ) | ..0.9628773 | $\text{tn/m}^3$ |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **4.5. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE VACÍOS (N) DEL GAVIÓN RELLENADO CON GEOBOTELLAS**

Para la obtención del porcentaje de vacíos del sistema de gaviones rellenos con geobotellas “n” se utilizará la ecuación (3.14). Reemplazando los datos de peso específico del gavión eco-ambiental ( $\gamma_g$ ) y el peso específico de las geobotellas ( $\gamma_s$ ) que son igual a  $0.9628773 \text{ tn/m}^3$  (obtenido en la Tabla 23) y  $1.819 \text{ tn/m}^3$  (obtenido en la Tabla 17) respectivamente. Finalmente se obtiene un porcentaje de vacíos de 50 %

$$n = 1 - \frac{0.9628773 \text{ tn/m}^3}{1.819 \text{ tn/m}^3}$$

$$n = 1 - 0.5293443$$

$$n = 0.4706556$$

“n” en porcentaje:

$$n\% \approx 50 \%$$

#### **4.6. RESULTADO DEL DISEÑO DEL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL**

El ámbito de estudio es aplicable para cualquier lugar que se vea afectado por los deslizamientos y no haya canteras de piedra o estén muy alejadas, sin embargo, abunda el material fino. Debido a lo amplio que es nuestro país existen muchos lugares con estas características por lo que se tomó una muestra como caso de estudio para muros de contención eco-ambiental con gaviones a base de geobotellas, con las siguientes características:

1. Ubicación: Quebrada Tunquini, sector Casahuiri, distrito de San Gaban, provincia de Carabaya, departamento de Puno.

Para los cálculos de estabilidad del muro de contención eco ambiental se consideró los parámetros del suelo obtenidos del estudio de mecánica de suelos elaborado por la empresa B&C CONSULTORES Y CONTRATISTA GENERALES S.A.C (laboratorio de ensayo de materiales, suelos y pavimentos) para la EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABAN. Según los estudios básicos del apartado del expediente técnico del proyecto: “Elaboración de expediente técnico de la inversión de renovación de muro de contención, captación de agua y línea de conducción; reparación de muro de contención; además de otros activos en la central hidroeléctrica San Gaban II sub estación C.H. san gaban II distrito de San Gaban, provincia de Carabaya, departamento de puno”, se extrajeron los siguientes valores:

Tipo de suelo: Grava arcillosa (GC) con una matriz de suelos de arenas arcillosas, (SC), según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

- Talud

$\gamma_{Suelo}$  Peso específico del suelo del talud:  $\gamma_{Suelo} = 2.016 \text{ tn}/\text{m}^3$

$\phi$  Ángulo de fricción interna:  $\phi = 27^\circ$

$C$  Cohesión:  $C = 5.7 \text{ ton}/\text{m}^2$ ; sin embargo, como se citó en el capítulo 2, según (Camargo y Franco 2021) “Generalmente, la cohesión no se toma en cuenta, ya que ella se modifica con el tiempo y no tiene gran influencia en el valor final del empuje”; por lo tanto para el diseño se considera cohesión:  $C = 0 \text{ ton}/\text{m}^2$ .

$q$  Sobrecarga encima del talud:  $q = 0 \text{ tn}/\text{m}^2$

$\varepsilon$  Ángulo de talud sobre el muro con la horizontal:  $\varepsilon = 0^\circ$

- Terreno de fundación

$\sigma_{Suelo}$  Capacidad de carga:  $\sigma_{Suelo} = 13.257 \text{ tn}/\text{m}^2$

$\gamma_{Suelo}$  Peso específico del suelo del talud:  $\gamma_{Suelo} = 2.016 \text{ tn}/\text{m}^3$

$\phi$  Ángulo de fricción interna:  $\phi = 27^\circ$

$C$  Cohesión:  $C = 5.7 \text{ ton}/\text{m}^2$ , sin embargo, por lo mencionado líneas arriba, se asume cohesión:  $C = 0 \text{ ton}/\text{m}^2$ .

NF Nivel freático muy profundo

2. Peso específico del material de relleno (geobotellas):

El peso específico de las geobotellas rellenas con arena fina de la cantera Jicamarca es  $1.819 \text{ tn}/\text{m}^3$ ; por otro lado, según los estudios del laboratorio de geotecnia ASSU S.A.C. el peso específico compactado de la arena fina perteneciente a la cantera “Rio Kenjchi” sector Casahuirí, distrito de San Gabán, provincia de Carabaya,



departamento de Puno es de  $1.890 \text{ tn/m}^3$ ; por lo cual se puede deducir que para ambos casos, el peso específico compactado de la arena son equivalentes. Por consiguiente, para los cálculos el peso específico de las geobotellas es de  $1.819 \text{ tn/m}^3$ .

$\gamma_s$       Peso específico de las geobotellas,  $\gamma_s = 1.819 \text{ tn/m}^3$

3.    Porcentaje de vacíos o porosidad del gavión eco ambiental ( $n$ ):

El porcentaje de vacío a utilizar es de 50%, este valor fue calculado en el subcapítulo 4.5

$n$       Porcentaje de vacíos o porosidad:  $n = 50 \%$

4.    Características del gavión:

Gavión tipo caja (8 x 10 cm / 2.7 mm, ZN + AL + PVC)

Dimensión del gavión tipo A:  $1.20 \times 1.0 \times 1.0 \text{ m}^3$  (largo, ancho, alto)

Dimensión del gavión tipo B:  $1.80 \times 1.0 \times 1.0 \text{ m}^3$  (largo, ancho, alto)

5.    Geometría del muro de contención, como se aprecia en la Figura 62.

$\alpha$       El muro no tiene una inclinación contra el terreno:  $\alpha = 0^\circ$

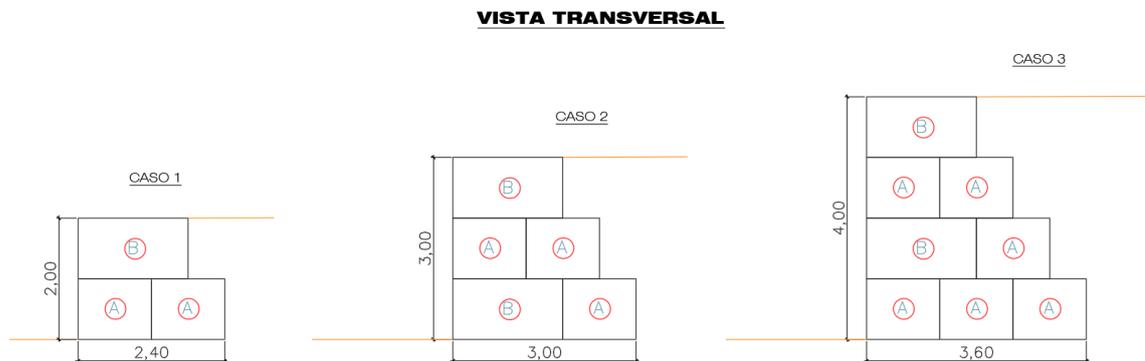
H      Alturas del muro: H = 2m, 3m, 4 m

B      Ancho del muro B=2.40 m, 3.00 m, 3.6m

L      Largo del muro: L= 1m, para el análisis por metro lineal

**Figura 62**

*Geometría del muro de contención eco-ambiental*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **4.7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL POR EL MÉTODO CONVENCIONAL**

Se realizó la verificación de las condiciones de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para los tres diseños, mediante el procedimiento expuesto en el capítulo 3. Los cálculos realizados paso a paso se muestran en los anexos C, D y E.

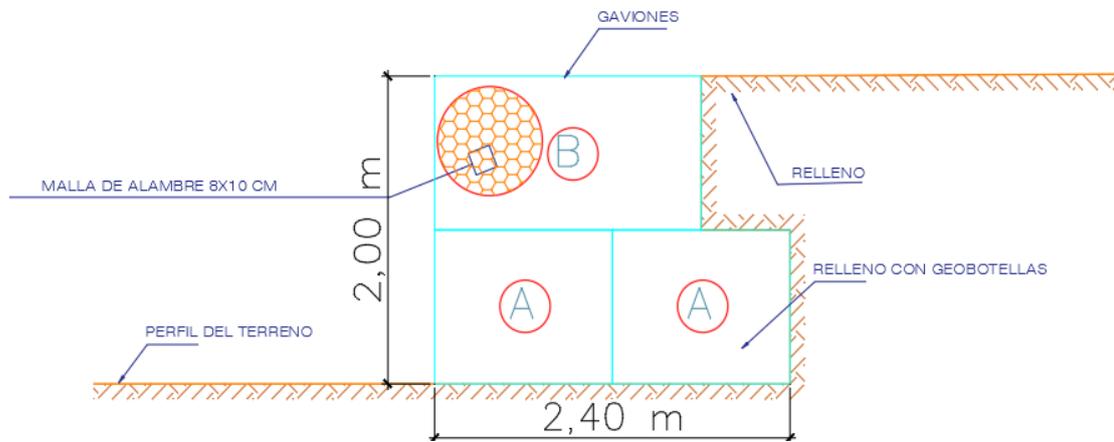
En esta sección se analizaron los resultados de factores de seguridad contra el deslizamiento y volteo, verificaciones de las presiones aplicadas a la fundación, estabilidad contra rotura interna y estabilidad contra rotura global.

##### **4.7.1 Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 1**

Se realizó el análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para una altura total de estructura de 2 m como se muestra en la Figura 63, con las características de la Tabla 24.

**Figura 63**

*Sección transversal del muro de contención eco-ambiental caso 1*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 24**

*Datos iniciales del gavión eco-ambiental – Caso 1*

| DATOS INICIALES                                 | Símbolo      | Unidad             | CASO 1 - H=2 m |
|---|--------------|--------------------|----------------|
| DATOS DEL MURO DEL GAVIÓN                       |              |                    |                |
| Altura del muro                                 | h            | m                  | 2              |
| Ancho de la base del muro                       | B            | m                  | 2.4            |
| Ancho de la superficie del muro                 | a            | m                  | 1.8            |
| Inclinación del muro con la vertical            | $\alpha$     | grados             | 0              |
| Peso específico de las geobotellas              | $\Upsilon_r$ | tn/m <sup>3</sup>  | 1.819          |
| Porcentaje de vacíos o porosidad                | n            | %                  | 50             |
| Peso de la red metálica, según especificación   | Pu           | kgf/m <sup>3</sup> | 8.6            |
| DATOS SOBRE EL TALUD                            |              |                    |                |
| Peso específico del suelo                       | $\Upsilon_s$ | tn/m <sup>3</sup>  | 2.016          |
| Ángulo de fricción interna                      | $\varphi$    | grados             | 27             |
| Cohesión  | C            | tn/m <sup>2</sup>  | 0              |
| Sobrecarga encima del talud                     | q            | tn/m <sup>2</sup>  | 0              |
| Ángulo de talud sobre el muro con la horizontal | $\epsilon$   | grados             | 0              |

... continuación

| DATOS SOBRE LA FUNDACIÓN   |                         |                   |        |
|----------------------------|-------------------------|-------------------|--------|
| Capacidad de carga         | $\sigma_{\text{suelo}}$ | tn/m <sup>2</sup> | 13.257 |
| Ángulo de fricción interna | $\varphi$               | grados            | 27     |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.1.1. Empuje activo - Caso 1

El empuje activo fue calculado mediante el método de Coulomb. Los cálculos realizados para el caso 1 se muestra en el anexo C. El resultado obtenido del empuje activo es de 1.97 tn/m como se muestra en la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Empuje activo del muro de contención eco-ambiental – Caso 1*

| $E_a = \frac{1}{2} k a \gamma_s H^2 \left[ 1 + \frac{2h_s}{H} \right] - 2k_a^{1/2} C H$ (2.13) CASO 1 - H=2 m |           |                |                   |      |
|---|-----------|----------------|-------------------|------|
| Coefficiente del empuje activo  | calculado | Ka             | tn/m              | 0.49 |
| Peso específico del suelo   | dato      | $\gamma_s$     | tn/m <sup>3</sup> | 2.02 |
| Altura donde actúa el empuje  | calculado | H              | m                 | 2.00 |
| Altura asimilada de sobrecarga  | calculado | h <sub>s</sub> | m                 | 0.00 |
| Cohesión  | dato      | C              | tn/m <sup>2</sup> | 0.00 |
| Empuje activo   | calculado | E <sub>a</sub> | tn/m              | 1.97 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.1.2. Verificación de estabilidad contra el deslizamiento - Caso 1

La verificación de la estabilidad contra el deslizamiento fue evaluada según las fuerzas actuantes sobre la estructura, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 1 se muestran en el anexo C. El factor de seguridad contra el deslizamiento debe ser mayor a 1.5, el cual según la Tabla 26 es satisfecha con un valor de 1.85; por lo tanto, la estructura para el caso 1 es estable ante el deslizamiento.

**Tabla 26**

*Factor de seguridad contra el deslizamiento – Caso 1*

$$FS_d = \frac{[(W + E_v)\cos\alpha + E_h\sin\alpha]\tan\phi + (W + E_v)\sin\alpha + CB}{E_h\cos\alpha} \quad (2.19) \quad \text{CASO 1 - H=2 m}$$

|   |           |          |                   |       |
|---|-----------|----------|-------------------|-------|
| Peso propio de la estructura del gavión     | calculado | W        | tn/m              | 3.82  |
| Componente vertical del empuje activo       | calculado | Ev       | tn/m              | 1.36  |
| Componente horizontal del empuje activo     | calculado | Eh       | tn/m              | 1.42  |
| Inclinación del muro con la vertical        | dato      | $\alpha$ | grados            | 0.00  |
| Ángulo de fricción interna del material     | dato      | $\phi$   | grados            | 27.00 |
| Cohesión                                    | dato      | C        | tn/m <sup>2</sup> | 0.00  |
| Ancho de la base del muro                   | dato      | B        | m                 | 2.40  |
| Factor de seguridad contra el deslizamiento | calculado | FSd      |                   | 1.85  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.1.3. Verificación de estabilidad contra el vuelco - Caso 1

La verificación de la estabilidad contra el vuelco fue evaluada según los momentos estabilizantes aportados por el peso propio y el componente horizontal del empuje activo como el momento desestabilizante, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 1 se muestran en el anexo C. El factor de seguridad contra el vuelco debe ser mayor a 1.5, el cual según la Tabla 27 es ampliamente satisfecha con un valor de 7.41; por lo tanto, la estructura para el caso 1 es altamente seguro a la posibilidad de vuelco.

**Tabla 27**

*Factor de seguridad contra el vuelco – Caso 1*

$$FS_v = \frac{M_r}{M_v} \quad (2.29) \quad \text{CASO 1 - H=2 m}$$

|                                      |           |     |        |      |
|--------------------------------------|-----------|-----|--------|------|
| Momento resistente                   | calculado | Mr  | tn-m/m | 7.03 |
| Momento de volteo                    | calculado | Mv  | tn-m/m | 0.95 |
| Factor de seguridad contra el vuelco | calculado | FSv |        | 7.41 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.1.4. Verificación de las presiones aplicadas a la fundación - Caso 1

La verificación de las presiones aplicadas por la estructura a la fundación fue evaluada según la distribución lineal de esfuerzos resultantes sobre el terreno, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 1 se muestran en el anexo C. Las presiones aplicadas en la fundación por parte de la estructura no deben superar el valor de carga del suelo de fundación; según la Tabla 28 los esfuerzos de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base es de 2.30 tn/m<sup>2</sup> y 2.02 tn/m<sup>2</sup> respectivamente; por lo que, ambos resultados son menores a la capacidad de carga del suelo de fundación (13.257 tn/m<sup>2</sup>); por lo tanto, para el caso 1 el suelo de fundación resiste a las presiones aplicadas por la estructura.

**Tabla 28**

*Verificación de las presiones aplicadas a la fundación – Caso 1*

| <b>Esfuerzo de trabajo en la extremidad izquierda de la base para el caso <math>e &lt; B/6</math> (<math>\sigma_1</math>)</b> |           |            |                       |      |
|---|-----------|------------|-----------------------|------|
| $\sigma_1 = \frac{N}{B} \left[ 1 + \frac{6e}{B} \right]$  |           | (2.30)     | <b>CASO 1 - H=2 m</b> |      |
| Resultante de las fuerzas normales (N)  | calculado | N          | tn/m                  | 5.18 |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B          | m                     | 2.40 |
| Excentricidad   | calculado | e          | m                     | 0.03 |
| Esfuerzo de trabajo en la extremidad izquierda de la base para el caso $e < B/6$  | calculado | $\sigma_1$ | tn/m <sup>2</sup>     | 2.30 |
| <b>Esfuerzo de trabajo en la extremidad derecha de la base para el caso <math>e &lt; B/6</math> (<math>\sigma_2</math>)</b>   |           |            |                       |      |
| $\sigma_2 = \frac{N}{B} \left[ 1 - \frac{6e}{B} \right]$  |           | (2.30)     | <b>CASO 1 - H=2 m</b> |      |
| Resultante de las fuerzas normales (N)  | calculado | N          | tn/m                  | 5.18 |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B          | m                     | 2.40 |
| Excentricidad   | calculado | e          | m                     | 0.03 |

... continuación

|  |           |            |                   |      |
|--|-----------|------------|-------------------|------|
| Esfuerzo de trabajo en la extremidad derecha de la base para el caso $e < B/6$ | calculado | $\sigma_2$ | tn/m <sup>2</sup> | 2.02 |
|--|-----------|------------|-------------------|------|

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.1.5. Verificación de la estabilidad contra la rotura interna - Caso 1

La verificación de la estabilidad contra la rotura interna fue evaluada según las tensiones normales y de corte en cada sección intermedia, despreciando el gavión de la base, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 1 se muestran en el anexo C, en este caso, solo cuenta con una sección intermedia, según los resultados de la Tabla 29 los factores de seguridad contra el deslizamiento y el vuelco son 3.07 y 17.64 respectivamente, los cuales son mayor a 1.5; por lo tanto, cumple con las especificaciones, es decir, no se produce deslizamiento, ni vuelco del muro de retención. Los esfuerzos resultantes a la compresión ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) y a la tensión tangencial ( $T_{m\acute{a}x}$ ) son 0.97 tn/m<sup>2</sup> y 0.16 tn/m<sup>2</sup> respectivamente, los cuales son mucho menores a las variaciones admisibles dadas por el esfuerzo normal ( $\sigma_{adm}$ ) y tensión tangencial ( $T_{adm}$ ) que resultó ser 15.48 tn/m<sup>2</sup> y 2.3 tn/m<sup>2</sup> respectivamente; por lo tanto, la estructura para el caso 1 cumple con la estabilidad en secciones intermedias del muro garantizando seguridad ante la posibilidad de falla de la estructura.

**Tabla 29**

*Verificación de la estabilidad contra la rotura interna – Caso 1*

| Factor de seguridad contra el deslizamiento (FSd)  |           | CASO 1 - H=2 m |           |      |
|--|-----------|----------------|-----------|------|
| $FS_d = \frac{[(W + E_v)\cos\alpha + E_n\sen\alpha]\tan\varphi + (W + E_v)\sen\alpha + CB}{E_n\cos\alpha}$ |           | (2.19)         | Sección 1 |      |
| Peso propio de la estructura del gavión  | calculado | W              | tn/m      | 1.64 |
| Componente vertical del empuje activo  | calculado | E <sub>v</sub> | tn/m      | 0.15 |
| Componente horizontal del empuje activo  | calculado | E <sub>h</sub> | tn/m      | 0.30 |

... continuación

|   |           |   |                       |           |
|---|-----------|---|-----------------------|-----------|
| Inclinación del muro con la vertical  | dato      | $\alpha$                                    | grados                | 0.00      |
| Ángulo de fricción interna del material   | dato      | $\varphi$                                   | grados                | 27.00     |
| Cohesión  | dato      | C   | tn/m <sup>2</sup>     | 0.00      |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B   | m                     | 1.80      |
| Factor de seguridad contra el deslizamiento   | calculado | FSd   |                       | 3.07      |
| <b>Factor de seguridad contra el vuelco (FSv)</b>   |           |   | <b>CASO 1 H=2 m</b>   |           |
|   |           | $FS_v = \frac{M_r}{M_v}$                    | (2.29)                | Sección 1 |
| Momento resistente  | calculado | Mr  | tn-m/m                | 1.75      |
| Momento de volteo   | calculado | Mv  | tn-m/m                | 0.10      |
| Factor de seguridad contra el vuelco  | calculado | FSv   |                       | 17.64     |
| <b>Esfuerzo normal admisible (<math>\sigma_{adm}</math>)</b>  |           |   | <b>CASO 1 - H=2 m</b> |           |
|   |           | $\sigma_{adm} = 50\gamma_g - 30$            | (2.43)                | Sección 1 |
| Peso específico del gavión  | calculado | $\gamma_g$                                  | tn/m <sup>3</sup>     | 0.91      |
| Esfuerzo normal admisible   | calculado | $\sigma_{adm}$                              | tn/m <sup>2</sup>     | 15.48     |
| <b>Tensión tangencial admisible (<math>T_{adm}</math>)</b>  |           |   | <b>CASO 1 - H=2 m</b> |           |
|   |           | $T_{adm} = \frac{N}{B} \tan\varphi^* + C_g$ | (2.44)                | Sección 1 |
| Resultante de las fuerzas normales  | calculado | N   | tn/m                  | 1.79      |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B   | m                     | 1.80      |
| Ángulo de fricción interna de los gaviones  | calculado | $\varphi^*$                                 | grados                | 12.74     |
| Cohesión (agarre) del gavión  | calculado | Cg  | tn/m <sup>2</sup>     | 2.08      |
| Tensión tangencial admisible  | calculado | T <sub>adm</sub>                            | tn/m <sup>2</sup>     | 2.30      |
| <b>Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis (<math>\sigma_{m\acute{a}x}</math>)</b> |           |   | <b>CASO 1 - H=2 m</b> |           |
|   |           | $\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{0.8X}$     | (2.36)                | Sección 1 |
| Resultante de las fuerzas normales  | calculado | N   | tn/m                  | 1.79      |
| Ancho de la sección que está trabajando a la compresión   | calculado | X   | m                     | 2.30      |

... continuación

|   |           |                                 |                       |           |
|---|-----------|---------------------------------|-----------------------|-----------|
| Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis                            | calculado | $\sigma_{m\acute{a}x}$          | tn/m <sup>2</sup>     | 0.97      |
| <b>Tensión tangencial en las en la sección de análisis (<math>T_{m\acute{a}x}</math>)</b> |           |                                 | <b>CASO 1 - H=2 m</b> |           |
|   |           | $T_{m\acute{a}x} = \frac{T}{B}$ | (2.37)                | Sección 1 |
| Resultante de las fuerzas tangenciales en la sección de análisis (T)                      | calculado | T                               | tn/m <sup>2</sup>     | 0.30      |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B                               | m                     | 1.80      |
| Tensión tangencial en las en la sección de análisis                                       | calculado | $T_{m\acute{a}x}$               | grados                | 0.16      |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.1.6. Verificación de la estabilidad contra la rotura global - Caso 1

La verificación de la estabilidad contra la rotura global del conjunto suelo estructura, se realizó por el método de las dovelas que analiza la rotura a lo largo de la superficie circular, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 1 se muestran en el anexo C. El factor de seguridad contra la rotura global es 1.26, dada por la Tabla 30, el cual es mayor a 1.2; por lo tanto, la estructura para el caso 1 garantiza seguridad ante la posibilidad de falla global.

**Tabla 30**

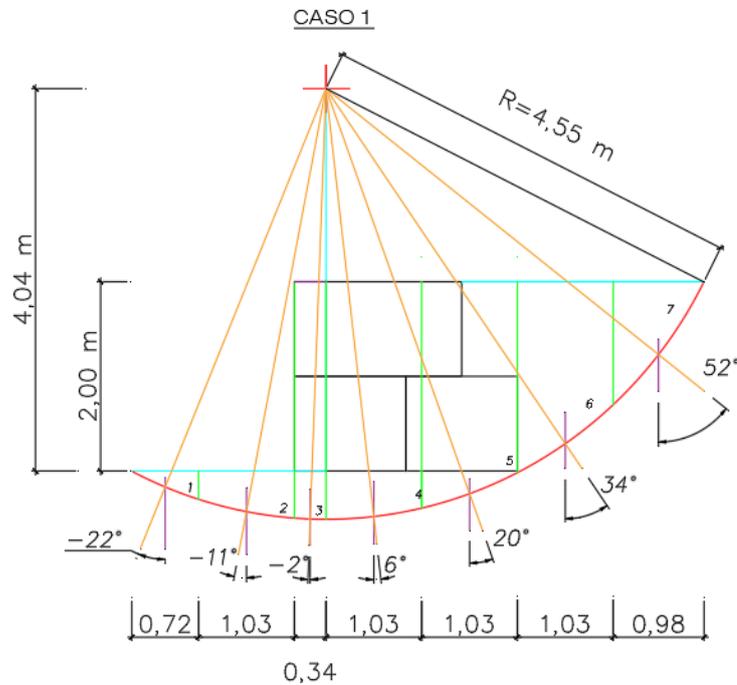
*Factor de seguridad contra la rotura global – Caso 1*

|  |       |                       |  |      |
|--|-------|-----------------------|--|------|
| <b>Selección del circulo de deslizamiento</b>  |       | <b>CASO 1 - H=2 m</b> |  |      |
| Coordenada horizontal del centro de la superficie circular con respecto al punto de giro | $X_c$ | m                     |  | 0.34 |
| Coordenada vertical del centro de la superficie circular con respecto al punto de giro   | $Y_c$ | m                     |  | 4.04 |
| Radio  | R     | m                     |  | 4.55 |

... continuación

**División de dovelas - gráfico**

**CASO 1 - H=2 m**



| Tabulación de datos |                      |          |                    |                    |                       | CASO 1 - H=2 m      |                                      |
|---------------------|----------------------|----------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Dovela              | Peso por dovela<br>W | $\alpha$ | $\text{sen}\alpha$ | $\text{cos}\alpha$ | Longitud de arco<br>l | $w\text{sen}\alpha$ | Normal<br>N'=<br>$w\text{cos}\alpha$ |
| número              | tn/m                 | grados   |                    |                    | m                     | tn/m                | tn/m                                 |
| 1                   | 0.22                 | -22.00   | -0.37              | 0.93               | 0.78                  | -0.08               | 0.20                                 |
| 2                   | 0.83                 | -11.00   | -0.19              | 0.98               | 1.05                  | -0.16               | 0.81                                 |
| 3                   | 0.96                 | -2.00    | -0.03              | 1.00               | 0.34                  | -0.03               | 0.96                                 |
| 4                   | 0.96                 | 6.00     | 0.10               | 0.99               | 1.04                  | 0.10                | 0.96                                 |
| 5                   | 2.81                 | 20.00    | 0.34               | 0.94               | 1.10                  | 0.96                | 2.64                                 |
| 6                   | 3.43                 | 34.00    | 0.56               | 0.83               | 1.25                  | 1.92                | 2.84                                 |
| 7                   | 1.27                 | 52.00    | 0.79               | 0.62               | 1.63                  | 1.00                | 0.78                                 |
|                     |                      |          |                    | $\Sigma$           | 7.19                  | 3.71                | 9.20                                 |

... continuación

| <b>Factor de seguridad contra la rotura global</b>             |           |    |                              |       |
|--|-----------|----|------------------------------|-------|
| $F = \frac{\Sigma c'l + \Sigma N'tan\phi'}{\Sigma Wsen\alpha}$ |           |    | (2.51) <b>CASO 1 - H=2 m</b> |       |
| Cohesión   | dato      | c' | tn/m <sup>2</sup>            | 0.00  |
| Ángulo de fricción interna                                     | dato      | φ  | grados                       | 27.00 |
| Σl   | calculado |    | m                            | 7.19  |
| Σwsenα   | calculado |    | tn/m                         | 3.71  |
| N'= wcosα  | calculado |    | tn/m                         | 9.20  |
| Factor de seguridad contra la rotura global                    | calculado | F  |                              | 1.26  |

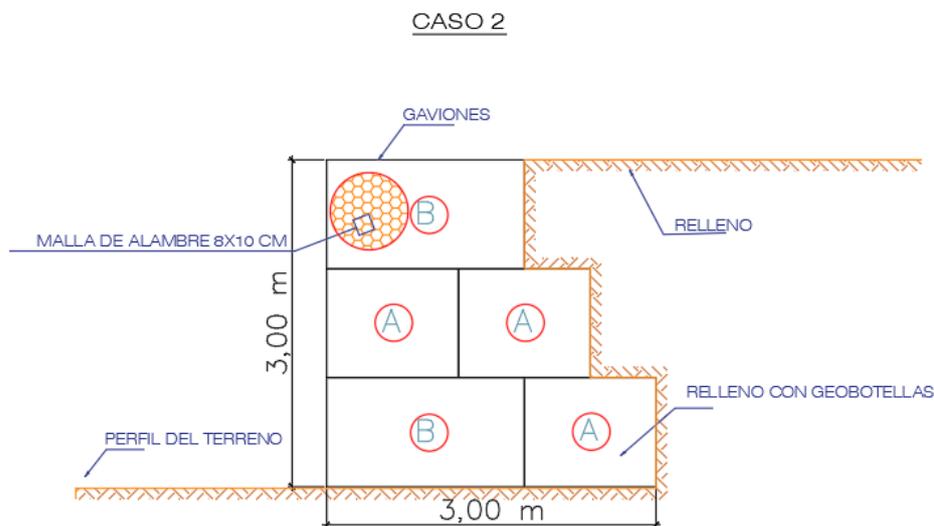
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.2 Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 2

Se realizó el análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para una altura total de estructura de 3 m como se muestra en la Figura 64, con las características de la Tabla 31.

#### Figura 64

*Sección transversal del muro de contención eco-ambiental caso 2*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 31***Datos iniciales del gavión eco-ambiental – Caso 2*

| <b>DATOS INICIALES</b>                          | <b>Símbolo</b>          | <b>Unidad</b>      | <b>CASO 2 - H=3 m</b> |
|---|-------------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>DATOS DEL MURO DEL GAVIÓN</b>                |                         |                    |                       |
| Altura del muro                                 | h                       | m                  | 3                     |
| Ancho de la base del muro                       | B                       | m                  | 3                     |
| Ancho de la superficie del muro                 | a                       | m                  | 1.8                   |
| Inclinación del muro con la vertical            | $\alpha$                | grados             | 0                     |
| Peso específico de las geobotellas              | $\Upsilon_r$            | tn/m <sup>3</sup>  | 1.819                 |
| Porcentaje de vacíos o porosidad                | n                       | %                  | 50                    |
| Peso de la red metálica, según especificación   | Pu                      | kgf/m <sup>3</sup> | 8.6                   |
| <b>DATOS SOBRE EL TALUD</b>                     |                         |                    |                       |
| Peso específico del suelo                       | $\Upsilon_s$            | tn/m <sup>3</sup>  | 2.016                 |
| Ángulo de fricción interna                      | $\varphi$               | grados             | 27                    |
| Cohesión  | C                       | tn/m <sup>2</sup>  | 0                     |
| Sobrecarga encima del talud                     | q                       | tn/m <sup>2</sup>  | 0                     |
| Ángulo de talud sobre el muro con la horizontal | $\epsilon$              | grados             | 0                     |
| <b>DATOS SOBRE LA FUNDACIÓN</b>                 |                         |                    |                       |
| Capacidad de carga                              | $\sigma_{\text{suelo}}$ | tn/m <sup>2</sup>  | 13.257                |
| Ángulo de fricción interna                      | $\varphi$               | grados             | 27                    |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**4.7.2.1. Empuje activo – Caso 2**

El empuje activo fue calculado mediante el método de Coulomb. Los cálculos realizados para el caso 2 se muestran en el anexo D. El resultado obtenido del empuje activo es de 5.03 tn/m como se muestra en la Tabla 32.

**Tabla 32**

*Empuje activo del muro de contención eco-ambiental – Caso 2*

$$E_a = \frac{1}{2} k_a \gamma_s H^2 \left[ 1 + \frac{2hs}{H} \right] - 2k_a^{1/2} CH \quad (2.13) \quad \text{CASO 2 - H=3 m}$$

|                                |           |            |                   |      |
|--------------------------------|-----------|------------|-------------------|------|
| Coefficiente del empuje activo | calculado | Ka         | tn/m              | 0.55 |
| Peso específico del suelo      | dato      | $\gamma_s$ | tn/m <sup>3</sup> | 2.02 |
| Altura donde actúa el empuje   | calculado | H          | m                 | 3.00 |
| Altura asimilada de sobrecarga | calculado | hs         | m                 | 0.00 |
| Cohesión                       | dato      | C          | tn/m <sup>2</sup> | 0.00 |
| Empuje activo                  | calculado | Ea         | tn/m              | 5.03 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.2.2. Verificación de estabilidad contra el deslizamiento – Caso 2

La verificación de la estabilidad contra el deslizamiento fue evaluada según las fuerzas actuantes sobre la estructura, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 2 se muestran en el anexo D. El factor de seguridad contra el deslizamiento debe ser mayor a 1.5, el cual según la Tabla 33 es satisfecha con un valor de 1.59; por lo tanto, la estructura para el caso 2 es estable ante el deslizamiento.

**Tabla 33**

*Factor de seguridad contra el deslizamiento – Caso 2*

$$FS_d = \frac{[(W + E_v)\cos\alpha + E_h\sin\alpha]\tan\varphi + (W + E_v)\sin\alpha + CB}{E_h\cos\alpha} \quad (2.19) \quad \text{CASO 2 - H=3 m}$$

|   |           |           |                   |       |
|---|-----------|-----------|-------------------|-------|
| Peso propio de la estructura del gavión | calculado | W         | tn/m              | 6.55  |
| Componente vertical del empuje activo   | calculado | $E_v$     | tn/m              | 3.78  |
| Componente horizontal del empuje activo | calculado | $E_h$     | tn/m              | 3.31  |
| Inclinación del muro con la vertical    | dato      | $\alpha$  | grados            | 0.00  |
| Ángulo de fricción interna del material | dato      | $\varphi$ | grados            | 27.00 |
| Cohesión                                | dato      | C         | tn/m <sup>2</sup> | 0.00  |

... continuación

|   |           |     |   |      |
|---|-----------|-----|---|------|
| Ancho de la base del muro                   | dato      | B   | m | 3.00 |
| Factor de seguridad contra el deslizamiento | calculado | FSd |   | 1.59 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.2.3. Verificación de estabilidad contra el vuelco – Caso 2

La verificación de la estabilidad contra el vuelco fue evaluada según los momentos estabilizantes aportados por el peso propio y el componente horizontal del empuje activo como el momento desestabilizante, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 2 se muestran en el anexo D. El factor de seguridad contra el vuelco debe ser mayor a 1.5, el cual según la Tabla 34 es satisfecha con un valor de 5.39; por lo tanto, la estructura para el caso 2 es seguro a la posibilidad de vuelco.

**Tabla 34***Factor de seguridad contra el vuelco – Caso 2*

|                                      |           |                              |        |       |
|--------------------------------------|-----------|------------------------------|--------|-------|
| $FS_v = \frac{M_r}{M_v}$             |           | <b>(2.29) CASO 2 - H=3 m</b> |        |       |
| Momento resistente                   | calculado | Mr                           | tn-m/m | 17.86 |
| Momento de volteo                    | calculado | Mv                           | tn-m/m | 3.31  |
| Factor de seguridad contra el vuelco | calculado | FSv                          |        | 5.39  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.2.4. Verificación de las presiones aplicadas a la fundación – Caso 2

La verificación de las presiones aplicadas por la estructura a la fundación fue evaluada según la distribución lineal de esfuerzos resultantes sobre el terreno, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados para el caso 2, según el procedimiento, se muestran en el anexo D. Las presiones aplicadas en la fundación por parte de la estructura no deben superar el valor de carga del suelo de fundación; según la Tabla 35 los esfuerzos

de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base es de 4.08 tn/m<sup>2</sup> y 2.81 tn/m<sup>2</sup> respectivamente, por lo que ambos resultados son menores a la capacidad de carga del suelo de fundación ( 13.257 tn/m<sup>2</sup>); por lo tanto, para el caso 2 el suelo de fundación resiste a las presiones aplicadas por la estructura.

### Tabla 35

*Verificación de las presiones aplicadas a la fundación – Caso 2*

| <b>Esfuerzo de trabajo en la extremidad izquierda de la base para el caso e&lt;B/6 (<math>\sigma_1</math>)</b> |           |                              |                   |       |
|--|-----------|------------------------------|-------------------|-------|
| $\sigma_1 = \frac{N}{B} \left[ 1 + \frac{6e}{B} \right]$   |           | (2.30) <b>CASO 2 - H=3 m</b> |                   |       |
| Resultante de las fuerzas normales (N)   | calculado | N                            | tn/m              | 10.33 |
| Ancho de la base del muro  | dato      | B                            | m                 | 3.00  |
| Excentricidad  | calculado | e                            | m                 | 0.09  |
| Esfuerzo de trabajo en la extremidad izquierda de la base para el caso e<B/6                                   | calculado | $\sigma_1$                   | tn/m <sup>2</sup> | 4.08  |
| <b>Esfuerzo de trabajo en la extremidad derecha de la base para el caso e&lt;B/6 (<math>\sigma_2</math>)</b>   |           |                              |                   |       |
| $\sigma_2 = \frac{N}{B} \left[ 1 - \frac{6e}{B} \right]$   |           | (2.30) <b>CASO 2 - H=3 m</b> |                   |       |
| Resultante de las fuerzas normales (N)   | calculado | N                            | tn/m              | 10.33 |
| Ancho de la base del muro  | dato      | B                            | m                 | 3.00  |
| Excentricidad  | calculado | e                            | m                 | 0.09  |
| Esfuerzo de trabajo en la extremidad derecha de la base para el caso e<B/6                                     | calculado | $\sigma_2$                   | tn/m <sup>2</sup> | 2.81  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.2.5. Verificación de la estabilidad contra la rotura interna – Caso 2

La verificación de la estabilidad contra la rotura interna fue evaluada según las tensiones normales y de corte en cada sección intermedia, despreciando el gavión de la base, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para

el caso 2 se muestran en el anexo D, en este caso, se cuenta con dos secciones intermedias, según los resultados de la

Tabla 36 los factores de seguridad contra el deslizamiento y el vuelco en las 2 secciones son mayores a 1.5; por lo tanto, cumple con las especificaciones, es decir, no se produce deslizamiento, ni vuelco del muro de retención. Los esfuerzos resultantes a la compresión ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) y a la tensión tangencial ( $T_{m\acute{a}x}$ ) en las 2 secciones son menores a las variaciones admisibles dadas por el esfuerzo normal ( $\sigma_{adm}$ ) y tensión tangencial ( $T_{adm}$ ); por lo tanto, la estructura para el caso 2 cumple con la estabilidad en secciones intermedias del muro garantizando seguridad ante la posibilidad de falla de la estructura.

**Tabla 36**

Verificación de la estabilidad contra rotura interna– Caso 2

| <b>Datos iniciales</b>  |           |           |                   | <b>CASO 2 - H=3 m</b> |           |
|---|-----------|-----------|-------------------|-----------------------|-----------|
| Datos del muro del gavión   |           |           |                   | Sección 1             | Sección 2 |
| Altura del muro   | dato      | h         | m                 | 2                     | 1         |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B         | m                 | 2.4                   | 1.8       |
| Ancho de la superficie del muro   | dato      | a         | m                 | 1.8                   | 1.8       |
| <b>Factor de seguridad contra el deslizamiento (FSd)</b>  |           |           |                   | <b>CASO 2 - H=3 m</b> |           |
| $FS_d = \frac{[(W + E_v) \cos \alpha + E_h \sin \alpha] \tan \varphi + (W + E_v) \sin \alpha + CB}{E_h \cos \alpha} \quad (2.19)$ |           |           |                   | Sección 1             | Sección 2 |
| Peso propio de la estructura del gavión   | calculado | W         | tn/m              | 3.82                  | 1.64      |
| Componente vertical del empuje activo   | calculado | Ev        | tn/m              | 1.36                  | 0.15      |
| Componente horizontal del empuje activo   | calculado | Eh        | tn/m              | 1.42                  | 0.30      |
| Inclinación del muro con la vertical  | dato      | $\alpha$  | grados            | 0.00                  | 0.00      |
| Ángulo de fricción interna del material   | dato      | $\varphi$ | grados            | 27.00                 | 27.00     |
| Cohesión  | dato      | C         | tn/m <sup>2</sup> | 0.00                  | 0.00      |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B         | m                 | 2.40                  | 1.80      |
| Factor de seguridad contra el deslizamiento   | calculado | FSd       |                   | 1.85                  | 3.07      |

... continuación

| <b>Factor de seguridad contra el vuelco (FS<sub>v</sub>)</b>                            |           |                  |                   | <b>CASO 2 - H=3 m</b> |           |           |
|---|-----------|------------------|-------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| $FS_v = \frac{M_r}{M_v}$  |           |                  |                   | (2.29)                | Sección 1 | Sección 2 |
| Momento resistente  | calculado | Mr               | tn-<br>m/m        | 7.03                  | 1.75      |           |
| Momento de volteo   | calculado | Mv               | tn-<br>m/m        | 0.95                  | 0.10      |           |
| Factor de seguridad contra el vuelco  | calculado | FS <sub>v</sub>  |                   | 7.41                  | 17.64     |           |
| <b>Esfuerzo normal admisible (σ<sub>adm</sub>)</b>                                      |           |                  |                   | <b>CASO 2 - H=3 m</b> |           |           |
| $\sigma_{adm} = 50\gamma_g - 30$  |           |                  |                   | (2.43)                | Sección 1 | Sección 2 |
| Peso específico del gavión  | calculado | γ <sub>g</sub>   | tn/m <sup>3</sup> | 0.91                  | 0.91      |           |
| Esfuerzo normal admisible   | calculado | σ <sub>adm</sub> | tn/m <sup>2</sup> | 15.48                 | 15.48     |           |
| <b>Tensión tangencial admisible (T<sub>adm</sub>)</b>                                   |           |                  |                   | <b>CASO 2 - H=3 m</b> |           |           |
| $T_{adm} = \frac{N}{B} \tan \varphi^* + C_g$  |           |                  |                   | (2.44)                | Sección 1 | Sección 2 |
| Resultante de las fuerzas normales  | calculado | N                | tn/m              | 5.18                  | 1.79      |           |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B                | m                 | 2.40                  | 1.80      |           |
| Ángulo de fricción interna de los gaviones  | calculado | φ*               | grados            | 12.74                 | 12.74     |           |
| Cohesión (agarre) del gavión  | calculado | C <sub>g</sub>   | tn/m <sup>2</sup> | 2.08                  | 2.08      |           |
| Tensión tangencial admisible  | calculado | T <sub>adm</sub> | tn/m <sup>2</sup> | 2.57                  | 2.30      |           |
| <b>Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis (σ<sub>máx</sub>)</b> |           |                  |                   | <b>CASO 2 H=3 m</b>   |           |           |
| $\sigma_{máx} = \frac{N}{0.8X}$   |           |                  |                   | (2.36)                | Sección 1 | Sección 2 |
| Resultante de las fuerzas normales  | calculado | N                | tn/m              | 5.18                  | 1.79      |           |
| Ancho de la sección que está trabajando a la compresión                                 | calculado | X                | m                 | 2.94                  | 2.30      |           |
| Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis                          | calculado | σ <sub>máx</sub> | tn/m <sup>2</sup> | 2.21                  | 0.97      |           |
| <b>Tensión tangencial en las en la sección de análisis (T<sub>máx</sub>)</b>            |           |                  |                   | <b>CASO 2 H=3 m</b>   |           |           |
| $T_{máx} = \frac{T}{B}$   |           |                  |                   | (2.37)                | Sección 1 | Sección 2 |
| Resultante de las fuerzas tangenciales en la sección de análisis (T)                    | calculado | T                | tn/m <sup>2</sup> | 1.42                  | 0.30      |           |

... continuación

|   |           |                  |        |      |      |
|---|-----------|------------------|--------|------|------|
| Ancho de la base del muro                           | dato      | B                | m      | 2.40 | 1.80 |
| Tensión tangencial en las en la sección de análisis | calculado | $T_{\text{máx}}$ | grados | 0.59 | 0.16 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.2.6. Verificación de la estabilidad contra la rotura global – Caso 2

La verificación de la estabilidad contra la rotura global del conjunto suelo estructura, se realizó por el método de las dovelas que analiza la rotura a lo largo de la superficie circular, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 2 se muestran en el anexo D. El factor de seguridad contra la rotura global es 1.48, dada por la Tabla 37, el cual es mayor a 1.2; por lo tanto, la estructura para el caso 2 garantiza seguridad ante la posibilidad de falla global.

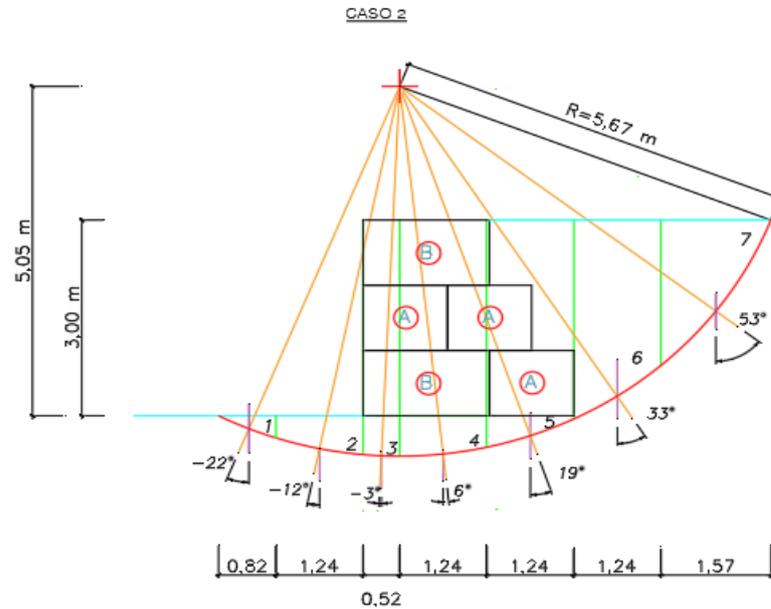
**Tabla 37***Factor de seguridad contra la rotura global – Caso 2*

| Selección del círculo de deslizamiento   |       | CASO 2 - H=3 m |      |
|--|-------|----------------|------|
| Coordenada horizontal del centro de la superficie circular con respecto al punto de giro | $X_c$ | m              | 0.52 |
| Coordenada vertical del centro de la superficie circular con respecto al punto de giro   | $Y_c$ | m              | 5.05 |
| Radio  | R     | m              | 5.67 |

... continuación

**División de dovelas - gráfico**

**CASO 2 - H=3 m**



**Tabulación de datos CASO 2 - H=3 m**

| Dovela<br>número | Peso por<br>dovela<br>W<br>tn/m | $\alpha$<br>grados | $\text{sen}\alpha$ | $\text{cos}\alpha$ | Longitud<br>de arco<br>l<br>m | $w\text{sen}\alpha$<br>tn/m | Normal<br>N'<br>$w\text{cos}\alpha$<br>tn/m |
|------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| 1                | 0.28                            | -22.00             | -0.37              | 0.93               | 0.89                          | -0.10                       | 0.26  |
| 2                | 1.17                            | -12.00             | -0.21              | 0.98               | 1.25                          | -0.24                       | 1.15  |
| 3                | 2.06                            | -3.00              | -0.05              | 1.00               | 0.51                          | -0.11                       | 2.05  |
| 4                | 8.88                            | 6.00               | 0.10               | 0.99               | 1.25                          | 0.93                        | 8.83  |
| 5                | 6.04                            | 19.00              | 0.33               | 0.95               | 1.31                          | 1.97                        | 5.71  |
| 6                | 6.60                            | 33.00              | 0.54               | 0.84               | 1.49                          | 3.59                        | 5.53  |
| 7                | 3.52                            | 53.00              | 0.80               | 0.60               | 2.72                          | 2.81                        | 2.12  |
|                  |                                 |                    |                    | $\Sigma$           | 9.42                          | 8.84                        | 25.65                                       |

**Factor de seguridad contra la rotura global**

$$F = \frac{\Sigma c'l + \Sigma N'tan\phi'}{\Sigma W\text{sen}\alpha} \quad (2.51) \quad \text{CASO 2 - H=3 m}$$

|          |      |      |                   |      |
|----------|------|------|-------------------|------|
| Cohesión | dato | $c'$ | tn/m <sup>2</sup> | 0.00 |
|----------|------|------|-------------------|------|

... continuación

|   |           |           |        |       |
|---|-----------|-----------|--------|-------|
| Ángulo de fricción interna                  | dato      | $\varphi$ | grados | 27.00 |
| $\Sigma l$                                  | calculado |           | m      | 9.42  |
| $\Sigma w \text{sen} \alpha$                | calculado |           | tn/m   | 8.84  |
| $N' = w \text{cos} \alpha$                  | calculado |           | tn/m   | 25.65 |
| Factor de seguridad contra la rotura global | calculado | F         |        | 1.48  |

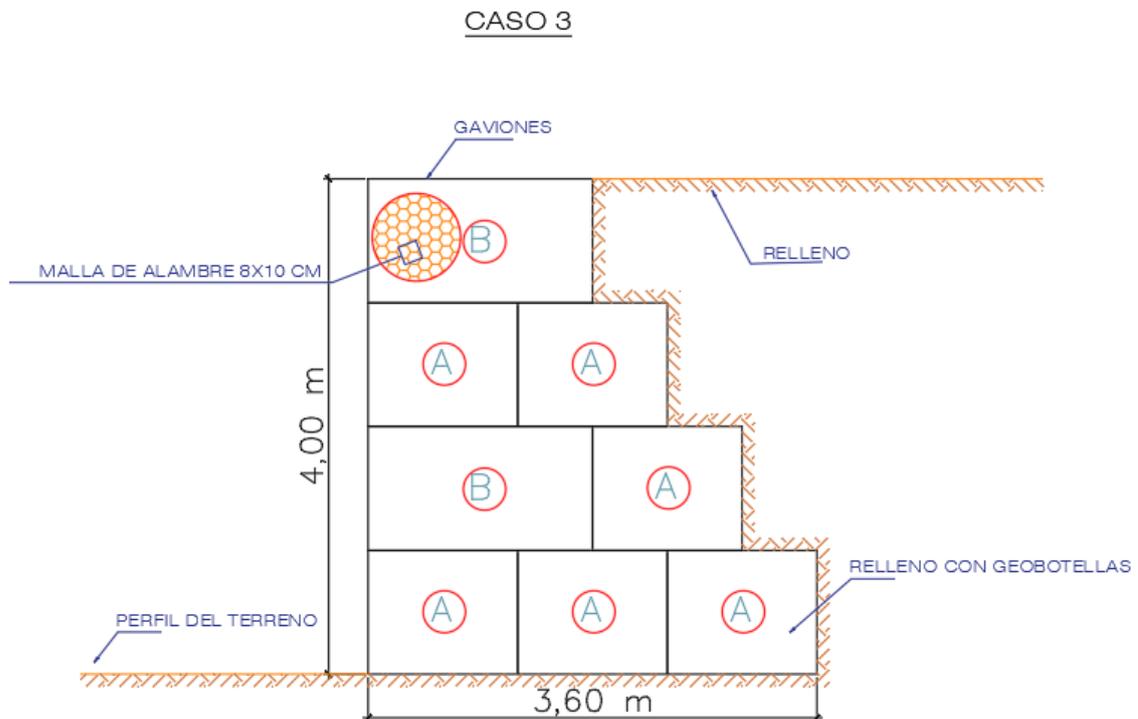
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.3 Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 3

Se realizó el análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para una altura total de estructura de 4 m como se muestra en la Figura 65, con las características de la Tabla 38.

**Figura 65**

*Sección transversal del muro de contención eco-ambiental caso 3*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 38***Datos iniciales del gavión eco-ambiental – Caso 3*

| <b>DATOS INICIALES</b>                          | <b>Símbolo</b>          | <b>Unidad</b>      | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |
|---|-------------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>DATOS DEL MURO DEL GAVIÓN</b>                |                         |                    |                       |
| Altura del muro                                 | h                       | m                  | 4                     |
| Ancho de la base del muro                       | B                       | m                  | 3.6                   |
| Ancho de la superficie del muro                 | a                       | m                  | 1.8                   |
| Inclinación del muro con la vertical            | $\alpha$                | grados             | 0                     |
| Peso específico de las geobotellas              | $\Upsilon_r$            | tn/m <sup>3</sup>  | 1.819                 |
| Porcentaje de vacíos o porosidad                | n                       | %                  | 50                    |
| Peso de la red metálica, según especificación   | Pu                      | kgf/m <sup>3</sup> | 8.6                   |
| <b>DATOS SOBRE EL TALUD</b>                     |                         |                    |                       |
| Peso específico del suelo                       | $\Upsilon_s$            | tn/m <sup>3</sup>  | 2.016                 |
| Ángulo de fricción interna                      | $\varphi$               | grados             | 27                    |
| Cohesión  | C                       | tn/m <sup>2</sup>  | 0                     |
| Sobrecarga encima del talud                     | q                       | tn/m <sup>2</sup>  | 0                     |
| Ángulo de talud sobre el muro con la horizontal | $\epsilon$              | grados             | 0                     |
| <b>DATOS SOBRE LA FUNDACIÓN</b>                 |                         |                    |                       |
| Capacidad de carga                              | $\sigma_{\text{suelo}}$ | tn/m <sup>2</sup>  | 13.257                |
| Ángulo de fricción interna                      | $\varphi$               | grados             | 27                    |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**4.7.3.1. Empuje activo – Caso 3**

El empuje activo fue calculado mediante el método de Coulomb. Los cálculos realizados para el caso 3 se muestran en el anexo E. El resultado obtenido del empuje activo es de 9.52 tn/m como se muestra en la Tabla 39.

**Tabla 39**

*Empuje activo del muro de contención eco-ambiental – Caso 3*

$$E_a = \frac{1}{2} k_a \gamma_s H^2 \left[ 1 + \frac{2h_s}{H} \right] - 2k_a^{1/2} C H \quad (2.13) \quad \text{CASO 3 - H=3 m}$$

|                                |           |    |                   |      |
|--------------------------------|-----------|----|-------------------|------|
| Coefficiente del empuje activo | calculado | Ka | tn/m              | 0.59 |
| Peso específico del suelo      | dato      | γs | tn/m <sup>3</sup> | 2.02 |
| Altura donde actúa el empuje   | calculado | H  | m                 | 4.00 |
| Altura asimilada de sobrecarga | calculado | hs | m                 | 0.00 |
| Cohesión                       | dato      | C  | tn/m <sup>2</sup> | 0.00 |
| Empuje activo                  | calculado | Ea | tn/m              | 9.52 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.3.2. Verificación de estabilidad contra el deslizamiento – Caso 3

La verificación de la estabilidad contra el deslizamiento fue evaluada según las fuerzas actuantes sobre la estructura, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 3 se muestran en el anexo E. El factor de seguridad contra el deslizamiento debe ser mayor a 1.5, sin embargo, para el caso 3 es de 1.47 según la Tabla 40; por consiguiente, el muro de contención eco-ambiental no garantiza estabilidad ante el deslizamiento.

**Tabla 40**

*Factor de seguridad contra el deslizamiento – Caso 3*

$$FS_d = \frac{[(W + E_v) \cos \alpha + E_h \sin \alpha] \tan \varphi + (W + E_v) \sin \alpha + CB}{E_h \cos \alpha} \quad (2.19) \quad \text{CASO 3 - H=3 m}$$

|   |           |    |                   |       |
|---|-----------|----|-------------------|-------|
| Peso propio de la estructura del gavión | calculado | W  | tn/m              | 9.82  |
| Componente vertical del empuje activo   | calculado | Ev | tn/m              | 7.42  |
| Componente horizontal del empuje activo | calculado | Eh | tn/m              | 5.96  |
| Inclinación del muro con la vertical    | dato      | α  | grados            | 0.00  |
| Ángulo de fricción interna del material | dato      | φ  | grados            | 27.00 |
| Cohesión                                | dato      | C  | tn/m <sup>2</sup> | 0.00  |

... continuación

|   |           |     |   |      |
|---|-----------|-----|---|------|
| Ancho de la base del muro                   | dato      | B   | m | 3.60 |
| Factor de seguridad contra el deslizamiento | calculado | FSd |   | 1.47 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.3.3. Verificación de estabilidad contra el vuelco - Caso 3

La verificación de la estabilidad contra el vuelco fue evaluada según los momentos estabilizantes aportados por el peso propio y el componente horizontal del empuje activo como el momento desestabilizante, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 3 se muestran en el anexo E. El factor de seguridad contra el vuelco debe ser mayor a 1.5, el cual según la Tabla 41 es satisfecha con un valor de 4.53; por lo tanto, la estructura para el caso 3 es seguro a la posibilidad de vuelco.

**Tabla 41***Factor de seguridad contra el vuelco – Caso 3*

|                                      |           |        |                |       |
|--------------------------------------|-----------|--------|----------------|-------|
| $FS_v = \frac{M_r}{M_v}$             |           | (2.29) | CASO 3 - H=3 m |       |
| Momento resistente                   | calculado | Mr     | tn-m/m         | 36.01 |
| Momento de volteo                    | calculado | Mv     | tn-m/m         | 7.94  |
| Factor de seguridad contra el vuelco | calculado | FSv    |                | 4.53  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.3.4. Verificación de las presiones aplicadas a la fundación - Caso 3

La verificación de las presiones aplicadas por la estructura a la fundación fue evaluada según la distribución lineal de esfuerzos resultantes sobre el terreno, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 3 se muestran en el anexo E. Las presiones aplicadas en la fundación por parte de la estructura no deben superar el valor de carga del suelo de fundación, según la Tabla 42 los esfuerzos

de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base es de 6.17 tn/m<sup>2</sup> y 3.41 tn/m<sup>2</sup> respectivamente, por lo que ambos resultados son menores a la capacidad de carga del suelo de fundación que es de 13.257 tn/m<sup>2</sup>; por lo tanto, para el caso 3 el suelo de fundación resiste a las presiones aplicadas por la estructura.

#### Tabla 42

*Verificación de las presiones aplicadas a la fundación – Caso 3*

| <b>Esfuerzo de trabajo en la extremidad izquierda de la base para el caso <math>e &lt; B/6</math> (<math>\sigma_1</math>)</b> |           |            |                   |       |
|---|-----------|------------|-------------------|-------|
| $\sigma_1 = \frac{N}{B} \left[ 1 + \frac{6e}{B} \right] \quad (2.30) \quad \text{CASO 3 - H=4 m}$                             |           |            |                   |       |
| Resultante de las fuerzas normales (N)  | calculado | N          | tn/m              | 17.24 |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B          | m                 | 3.60  |
| Excentricidad   | calculado | e          | m                 | 0.17  |
| Esfuerzo de trabajo en la extremidad izquierda de la base para el caso $e < B/6$  | calculado | $\sigma_1$ | tn/m <sup>2</sup> | 6.17  |
| <b>Esfuerzo de trabajo en la extremidad derecha de la base para el caso <math>e &lt; B/6</math> (<math>\sigma_2</math>)</b>   |           |            |                   |       |
| $\sigma_2 = \frac{N}{B} \left[ 1 - \frac{6e}{B} \right] \quad (2.30) \quad \text{CASO 3 H=4 m}$                               |           |            |                   |       |
| Resultante de las fuerzas normales (N)  | calculado | N          | tn/m              | 17.24 |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B          | m                 | 3.60  |
| Excentricidad   | calculado | e          | m                 | 0.17  |
| Esfuerzo de trabajo en la extremidad derecha de la base para el caso $e < B/6$  | calculado | $\sigma_2$ | tn/m <sup>2</sup> | 3.41  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.3.5. Verificación de la estabilidad contra la rotura interna - Caso 3

La verificación de la estabilidad contra la rotura interna fue evaluada según las tensiones normales y de corte en cada sección intermedia, despreciando el gavión de la base, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 3 se muestran en el anexo E, en este caso se cuenta con tres secciones intermedias,

según los resultados de la Tabla 43, los factores de seguridad contra el deslizamiento y el vuelco en las 3 secciones son mayores a 1.5; por lo tanto, cumple con las especificaciones, es decir, no se produce deslizamiento, ni vuelco del muro de retención. Los esfuerzos resultantes a la compresión ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) y a la tensión tangencial ( $T_{m\acute{a}x}$ ) en las 3 secciones son menores a las variaciones admisibles dadas por el esfuerzo normal ( $\sigma_{adm}$ ) y tensión tangencial ( $T_{adm}$ ); por lo tanto, la estructura para el caso 3 cumple con la estabilidad en secciones intermedias del muro garantizando seguridad ante la posibilidad de falla de la estructura.

**Tabla 43**

Verificación de la estabilidad contra rotura interna– Caso 3

| <b>Datos iniciales</b>   |           |                |        | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |              |              |
|--|-----------|----------------|--------|-----------------------|--------------|--------------|
| Datos del muro del gavión  |           |                |        | Sección<br>1          | Sección<br>2 | Sección<br>3 |
| Altura del muro  | dato      | h              | m      | 3                     | 2            | 1            |
| Ancho de la base del muro  | dato      | B              | m      | 3                     | 2.4          | 1.8          |
| Ancho de la superficie del muro  | dato      | a              | m      | 1.8                   | 1.8          | 1.8          |
| <b>Factor de seguridad contra el deslizamiento (FSd)</b>   |           |                |        | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |              |              |
| $FS_d = \frac{[(W + E_v)\cos\alpha + E_h\sin\alpha]\tan\phi + (W + E_v)\sin\alpha + CB}{E_h\cos\alpha} \quad (2.19)$ |           |                |        | Sección<br>1          | Sección<br>2 | Sección<br>3 |
| Peso propio de la estructura del gavión  | calculado | W              | tn/m   | 6.55                  | 3.82         | 1.64         |
| Componente vertical del empuje activo  | calculado | E <sub>v</sub> | tn/m   | 3.78                  | 1.36         | 0.15         |
| Componente horizontal del empuje activo  | calculado | E <sub>h</sub> | tn/m   | 3.31                  | 1.42         | 0.30         |
| Inclinación del muro con la vertical   | dato      | $\alpha$       | grados | 0.00                  | 0.00         | 0.00         |
| Ángulo de fricción interna del material  | dato      | $\phi$         | grados | 27.00                 | 27.00        | 27.00        |



... continuación

|   |           |   |                   |                       |           |           |
|---|-----------|---|-------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| Cohesión  | dato      | C   | tn/m <sup>2</sup> | 0.00                  | 0.00      | 0.00      |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B   | m                 | 3.00                  | 2.40      | 1.80      |
| Factor de seguridad contra el deslizamiento   | calculado | FSd   |                   | 1.59                  | 1.85      | 3.07      |
| <b>Factor de seguridad contra el vuelco (FSv)</b>   |           |   |                   | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |           |           |
|   |           | $FS_v = \frac{M_r}{M_v}$                    | (2.29)            | Sección 1             | Sección 2 | Sección 3 |
| Momento resistente  | calculado | Mr  | tn-m/m            | 17.86                 | 7.03      | 1.75      |
| Momento de volteo   | calculado | Mv  | tn-m/m            | 3.31                  | 0.95      | 0.10      |
| Factor de seguridad contra el vuelco  | calculado | FSv   |                   | 5.39                  | 7.41      | 17.64     |
| <b>Esfuerzo normal admisible (<math>\sigma_{adm}</math>)</b>  |           |   |                   | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |           |           |
|   |           | $\sigma_{adm} = 50\gamma_g - 30$            | (2.43)            | Sección 1             | Sección 2 | Sección 3 |
| Peso específico del gavión  | calculado | $\gamma_g$                                  | tn/m <sup>3</sup> | 0.91                  | 0.91      | 0.91      |
| Esfuerzo normal admisible   | calculado | $\sigma_{adm}$                              | tn/m <sup>2</sup> | 15.48                 | 15.48     | 15.48     |
| <b>Tensión tangencial admisible (<math>T_{adm}</math>)</b>  |           |   |                   | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |           |           |
|   |           | $T_{adm} = \frac{N}{B} \tan\varphi^* + C_g$ | (2.44)            | Sección 1             | Sección 2 | Sección 3 |
| Resultante de las fuerzas normales  | calculado | N   | tn/m              | 10.33                 | 5.18      | 1.79      |
| Ancho de la base del muro   | dato      | B   | m                 | 3.00                  | 2.40      | 1.80      |
| Ángulo de fricción interna de los gaviones  | calculado | $\varphi^*$                                 | grados            | 12.74                 | 12.74     | 12.74     |
| Cohesión (agarre) del gavión  | calculado | Cg  | tn/m <sup>2</sup> | 2.08                  | 2.08      | 2.08      |
| Tensión tangencial admisible  | calculado | T <sub>adm</sub>                            | tn/m <sup>2</sup> | 2.86                  | 2.57      | 2.30      |
| <b>Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis (<math>\sigma_{m\acute{a}x}</math>)</b> |           |   |                   | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |           |           |
|   |           | $\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{0.8X}$     | (2.36)            | Sección 1             | Sección 2 | Sección 3 |
| Resultante de las fuerzas normales  | calculado | N   | tn/m              | 10.33                 | 5.18      | 1.79      |

... continuación

|  |           |                       |                   |                                |           |           |
|--|-----------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| Ancho de la sección que está trabajando a la compresión                      | calculado | X                     | m                 | 3.52                           | 2.94      | 2.30      |
| Esfuerzo resultante de la compresión en la sección de análisis               | calculado | $\sigma_{\text{máx}}$ | tn/m <sup>2</sup> | 3.67                           | 2.21      | 0.97      |
| <b>Tensión tangencial en las en la sección de análisis (T<sub>máx</sub>)</b> |           |                       |                   | <b>CASO 3 - H=4 m</b>          |           |           |
|  |           |                       |                   | $T_{\text{máx}} = \frac{T}{B}$ | (2.37)    |           |
|  |           |                       |                   | Sección 1                      | Sección 2 | Sección 3 |
| Resultante de las fuerzas tangenciales en la sección de análisis (T)         | calculado | T                     | tn/m <sup>2</sup> | 3.31                           | 1.42      | 0.30      |
| Ancho de la base del muro  | dato      | B                     | m                 | 3.00                           | 2.40      | 1.80      |
| Tensión tangencial en las en la sección de análisis                          | calculado | T <sub>máx</sub>      | grados            | 1.10                           | 0.59      | 0.16      |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.7.3.6. Verificación de la estabilidad contra la rotura global - Caso 3

La verificación de la estabilidad contra la rotura global del conjunto suelo estructura, se realizó por el método de las dovelas que analiza la rotura a lo largo de la superficie circular, explicado en el marco teórico. Los cálculos realizados, según el procedimiento, para el caso 3 se muestran en el anexo E. El factor de seguridad contra la rotura global es 1.22, dada por la Tabla 44, el cual es mayor a 1.2; por lo tanto, la estructura para el caso 3 garantiza seguridad ante la posibilidad de falla global.

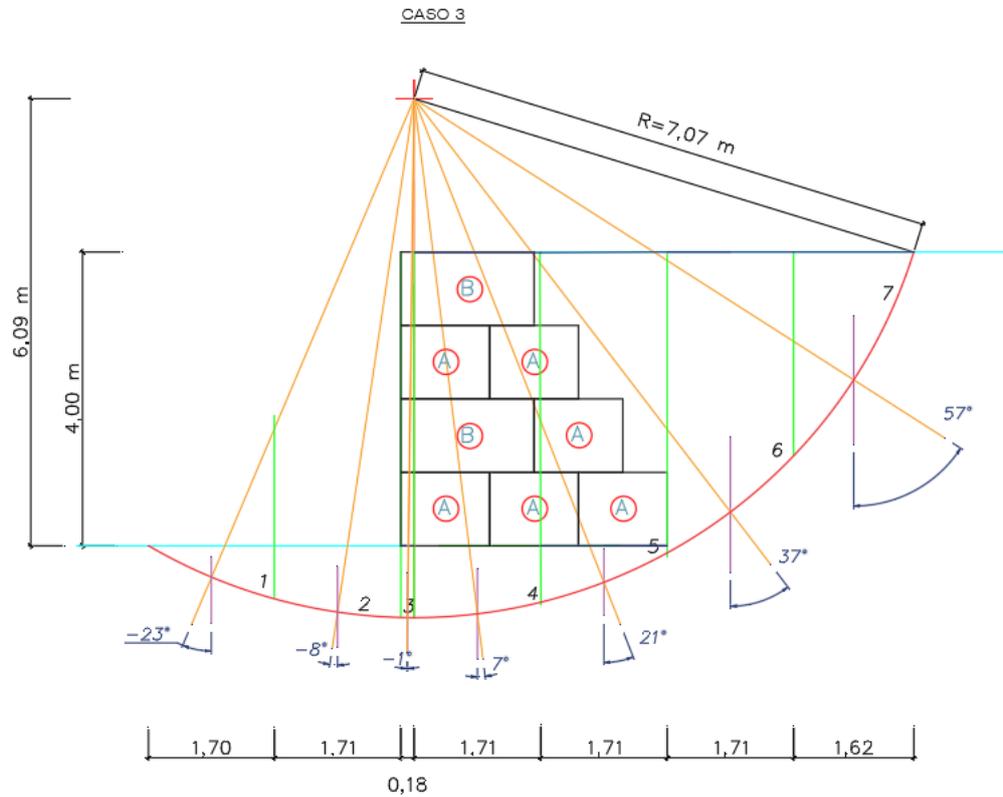
**Tabla 44**

*Factor de seguridad contra la rotura global – Caso 3*

| <b>Selección del círculo de deslizamiento</b>  |    | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |      |
|--|----|-----------------------|------|
| Coordenada horizontal del centro de la superficie circular con respecto al punto de giro | Xc | m                     | 0.18 |
| Coordenada vertical del centro de la superficie circular con respecto al punto de giro   | Yc | m                     | 6.09 |

... continuación

|                                      |   |   |                       |
|--------------------------------------|---|---|-----------------------|
| Radio                                | R | m | 7.07                  |
| <b>División de dovelas - gráfico</b> |   |   | <b>CASO 3 - H=4 m</b> |



| Tabulación de datos |                      |          |                    |                    | CASO 3- H=4 m         |                     |                                   |       |
|---------------------|----------------------|----------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------------|-------|
| Dovela              | Peso por dovela<br>W | $\alpha$ | $\text{sen}\alpha$ | $\text{cos}\alpha$ | Longitud de arco<br>l | $w\text{sen}\alpha$ | Normal<br>N'= $w\text{cos}\alpha$ |       |
| número              | tn/m                 | grados   |                    |                    | m                     | tn/m                | tn/m                              |       |
| 1                   | 1.24                 | -23.00   | -0.39              | 0.92               | 1.85                  | -0.49               | 1.14                              |       |
| 2                   | 2.91                 | -8.00    | -0.14              | 0.99               | 1.73                  | -0.41               | 2.88                              |       |
| 3                   | 1.01                 | -1.00    | -0.02              | 1.00               | 0.18                  | -0.02               | 1.01                              |       |
| 4                   | 9.31                 | 7.00     | 0.12               | 0.99               | 1.72                  | 1.13                | 9.24                              |       |
| 5                   | 11.62                | 21.00    | 0.36               | 0.93               | 1.84                  | 4.16                | 10.85                             |       |
| 6                   | 11.84                | 37.00    | 0.60               | 0.80               | 2.16                  | 7.13                | 9.46                              |       |
| 7                   | 4.70                 | 57.00    | 0.84               | 0.54               | 3.21                  | 3.94                | 2.56                              |       |
|                     |                      |          |                    |                    | $\Sigma$              | 12.69               | 15.46                             | 37.15 |

... continuación

| <b>Factor de seguridad contra la rotura global</b> |           |   |                   |       |
|--|-----------|---|-------------------|-------|
| <b>CASO 3 - H=4 m</b>                              |           |   |                   |       |
|  |           | $F = \frac{\Sigma c'l + \Sigma N'tan\phi'}{\Sigma Wsena}$ | (2.51)            |       |
| Cohesión   | dato      | $c'$  | tn/m <sup>2</sup> | 0.00  |
| Ángulo de fricción interna                         | dato      | $\phi$  | grados            | 27.00 |
| $\Sigma l$   | calculado |   | m                 | 12.69 |
| $\Sigma wsena$                                     | calculado |   | tn/m              | 15.46 |
| $N'= wcos\alpha$                                   | calculado |   | tn/m              | 37.15 |
| Factor de seguridad contra la rotura global        | calculado | $F$   |                   | 1.22  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **4.8. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL CON EL SOFTWARE GAWACWIN GSC**

Se realizó la verificación de las condiciones de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC, mediante el procedimiento expuesto en el capítulo 3. Los reportes de análisis obtenidos para cada caso se muestran en los anexos F, G y H. En esta sección se analizaron los resultados de: cálculo del empuje utilizando el método de equilibrio límite, Análisis de estado límite máximo (deslizamiento, vuelco, presiones de fundación y estabilidad global) y el análisis de estado límite de servicio: a través del GSC. (Análisis de la Estructura en la Condición de Servicio).

##### **4.8.1 Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 1**

Se realizó el análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para una altura total de estructura de 2 m, con las mismas

características analizadas (en la sección 4.7.1.) como se evidencia en la Figura 66. El reporte de los análisis obtenidos para el caso 1 se muestran en el anexo F.

## Figura 66

Reporte de los datos iniciales del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC

– Caso 1

### • Datos Iniciales

#### Datos sobre el muro

|   |       |
|---|-------|
| Inclinación del muro                          | 0.00  |
| Peso esp. de las piedras [tf/m <sup>3</sup> ] | 1.82  |
| Porosidad de los gaviones [%]                 | 50.00 |
| Geotextil en el terraplén                     | No    |
| Reducción en la fricción [%]                  |       |
| Geotextil en la base                          | No    |
| Reducción en la fricción [%]                  | 0.00  |

#### Datos sobre el suelo del terraplén

|  |       |
|--|-------|
| Inclinación del primer trazo [°]               | 0.00  |
| Largo del primer trazo [m]                     | 0.00  |
| Inclinación del segundo trazo [°]              | 0.00  |
| Peso específico del suelo [tf/m <sup>3</sup> ] | 2.02  |
| Ángulo de fricción del suelo [°]               | 27.00 |
| Cohesión del suelo [tf/m <sup>2</sup> ]        | 0.00  |

| Layer | Altura inicial [m] | Inclinación deg | Peso específico [tf/m <sup>3</sup> ] | Cohesión [tf/m <sup>2</sup> ] | Ángulo fricción [deg] |
|-------|--------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|       |                    |                 |                                      |                               |                       |
|       |                    |                 |                                      |                               |                       |
|       |                    |                 |                                      |                               |                       |
|       |                    |                 |                                      |                               |                       |

#### Datos sobre la fundación

|  |       |
|--|-------|
| Profundidad de la fundación [m]                        | 0.00  |
| Largo horiz. en la fundación [m]                       |       |
| Inclinación de la de fundación [°]                     | 0.00  |
| Peso específico del suelo [tf/m <sup>3</sup> ]         | 2.02  |
| Ángulo de fricción del suelo [°]                       | 27.00 |
| Cohesión del suelo [tf/m <sup>2</sup> ]                | 0.00  |
| Presión aceptable en la fundación [tf/m <sup>2</sup> ] | 13.26 |
| Nivel del agua [m]                                     |       |

| Camada | Profundidad [m] | Peso específico [tf/m <sup>3</sup> ] | Cohesión [tf/m <sup>2</sup> ] | Ángulo fricción [deg] |
|--------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|        |                 |                                      |                               |                       |
|        |                 |                                      |                               |                       |
|        |                 |                                      |                               |                       |

#### Datos sobre las cargas

##### Cargas distribuidas sobre el terraplén

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Primer trazo [tf/m <sup>2</sup> ]  | q1 |
| Segundo trazo [tf/m <sup>2</sup> ] | q2 |

##### Cargas distribuidas sobre el muro

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga [tf/m <sup>2</sup> ] |  |
|----------------------------|--|

##### Línea de carga sobre el terraplén

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga 1 [tf/m]             |  |
| Dist. al tope del muro [m] |  |
| Carga 2 [tf/m]             |  |
| Dist. al tope del muro [m] |  |
| Carga 3 [tf/m]             |  |
| Dist. al tope del muro [m] |  |

##### Línea de carga sobre el muro

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga [tf/m]               |  |
| Dist. al tope del muro [m] |  |

#### Datos sobre la napa freática

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Altura inicial[m]                 | 0.00 |
| Inclinación del primer trazo [°]  | 0.00 |
| Largo del primer trazo [m]        | 0.00 |
| Inclinación del segundo trazo [°] | 0.00 |
| Largo del segundo trazo [m]       | 0.00 |

#### Datos sobre efectos sísmicos

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Coficiente Horizontal |  |
| Coficiente Vertical   |  |

#### Producto

|          |                |
|----------|----------------|
| Ambiente | Low Aggressive |
|----------|----------------|

| Mesh                   | GSC 0.5 | GSC 1.0 |
|------------------------|---------|---------|
| Gabion POLIMAC™ 80/410 | 820     | 410     |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **4.8.1.1. Cálculo del empuje activo utilizando el método de equilibrio límite**

##### **– Caso 1**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 1, da como resultado del empuje activo 1.97 tn/m como se muestra en la Figura 67. Asimismo, cabe señalar que el empuje activo es igual al resultado obtenido por el método convencional.

#### **4.8.1.2. Análisis de estado límite máximo: deslizamiento, vuelco, presiones de fundación y estabilidad global – Caso 1**

##### **a) Verificación de estabilidad contra el deslizamiento**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 1, da como resultado el factor de seguridad contra el deslizamiento de 1.85, como se muestra en la Figura 67, lo cual cumple con ser mayor a 1.5; por lo tanto, la estructura para el caso 1 es estable ante el deslizamiento. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra el deslizamiento es igual al obtenido por el método convencional.

##### **b) Verificación de estabilidad contra el vuelco**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 1, da como resultado el factor de seguridad contra el vuelco de 7.41, como se muestra en la Figura 67, lo cual cumple con ser mayor a 1.5; por lo tanto, la estructura para el caso 1 es estable ante la posibilidad de vuelco. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra el vuelco es similar al obtenido por el método convencional que es de 7.40.

##### **c) Presiones de fundación**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 1, da como resultado los esfuerzos de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base es de 2.30 tn/m<sup>2</sup> y 2.02 tn/m<sup>2</sup> respectivamente, como se muestra en la Figura 67, por lo que



ambos resultados son menores a la capacidad de carga del suelo de fundación que es de  $13.257 \text{ tn/m}^2$ ; por lo tanto, para el caso 1 el suelo de fundación resiste a las presiones aplicadas por la estructura. Asimismo, cabe señalar que los esfuerzos de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base son iguales a los obtenidos por el método convencional.

#### **d) Estabilidad Global**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 1, da como resultado el factor de seguridad contra la falla global de 1.59, como se muestra en la Figura 67, lo cual cumple con ser mayor a 1.2; por lo tanto, la estructura para el caso 1 es estable ante la posibilidad de inestabilidad global. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra la falla global es aproximado al obtenido por el método convencional que es de 1.26, a causa de que el método de verificación de estabilidad global por el software es Bishop y por el convencional el método de las dovelas.

#### **4.8.1.3. Análisis de estado límite de servicio: a través del GSC. (Análisis de la Estructura en la Condición de Servicio).**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 1, da como resultado de GSC un estado límite de servicio satisfactorio representado por el color verde, como se muestra en la Figura 68; por lo tanto, la estructura para el caso 1 ante las condiciones de estabilidad garantiza seguridad.

#### **4.8.1.4. Análisis de condiciones de servicio realizado por camadas**

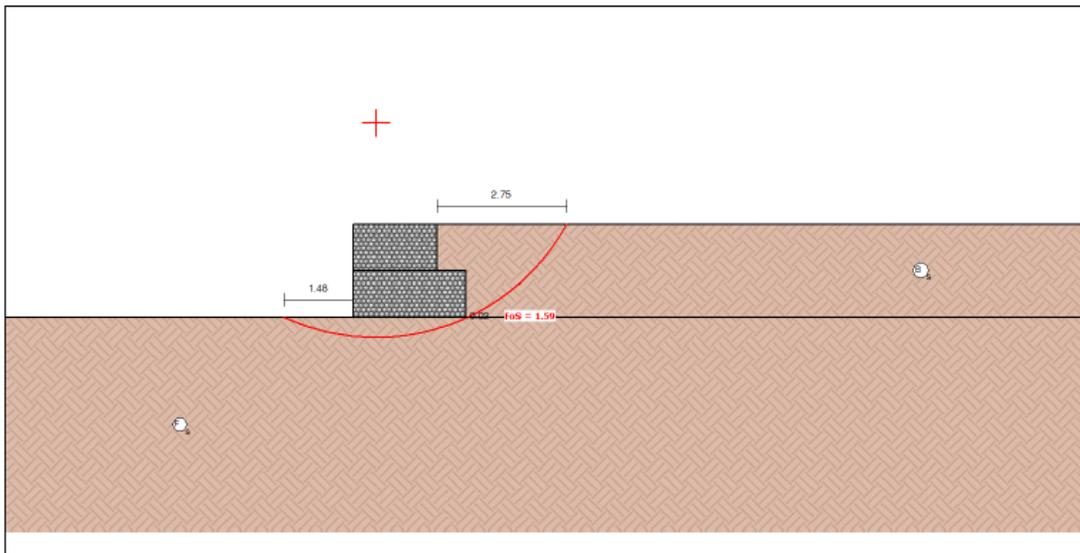
El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 1 da como resultado los esfuerzos resultantes a la compresión ( $\sigma_{\text{máx}}$ ) y a la tensión tangencial ( $T_{\text{máx}}$ ) son  $0.97 \text{ tn/m}^2$  y  $0.17 \text{ tn/m}^2$  respectivamente, los cuales son mucho menores a las variaciones admisibles dadas por el esfuerzo normal ( $\sigma_{\text{adm}}$ ) y tensión tangencial ( $T_{\text{adm}}$ )

que resultó ser  $15.5 \text{ tn/m}^2$  y  $2.44 \text{ tn/m}^2$  respectivamente, como se muestra en la Figura 68; por lo tanto, la estructura para el caso 1 cumple con la estabilidad en secciones intermedias del muro garantizando seguridad ante la posibilidad de falla de la estructura. Asimismo, cabe señalar que los resultados de estabilidad en secciones intermedias son similares a los obtenidos por el método convencional.

### Figura 67

Reporte de los resultados del análisis de estabilidad del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 1

#### ELU Estado Límite Último Geometría del Muro



#### Resultados de los Analisis de Estabilidad

##### Empuje Activo y Pasivo

|  |       |
|--|-------|
| Empuje Activo [tf/m]                       | 1.97  |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m]   | 2.20  |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m]   | 0.67  |
| Dirección del empuje con ref. al eje X [°] | 43.70 |
| Empuje Pasivo [tf/m]                       | 0.00  |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m]   | 0.00  |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m]   | 0.00  |
| Dirección del empuje con ref. al eje X [°] | 0.00  |

##### Deslizamiento

|  |      |
|--|------|
| Fuerza normal en en la base [tf/m]       | 5.19 |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m] | 1.17 |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m] | 0.00 |
| Fuerza actuante tangencial [tf/m]        | 1.43 |
| Fuerza resistente tangencial [tf/m]      | 2.64 |
| Deslizamiento                            | 1.85 |

##### Vuelco

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Momento Activo [tf/m x m]     | 0.95 |
| Momento Resistente [tf/m x m] | 7.04 |
| Vuelco                        | 7.40 |

##### Tensiones Actuantes en la Fundación

|  |       |
|--|-------|
| Excentricidad                                      | 0.03  |
| Tensión normal a la izquierda [tf/m <sup>2</sup> ] | 2.30  |
| Tensión normal a la derecha [tf/m <sup>2</sup> ]   | 2.02  |
| Tensión última de la fundación[tf/m <sup>2</sup> ] | 13.26 |
| Tension de la Base izq.                            | 5.77  |
| Tension de la Base der.                            | 6.56  |

##### Estabilidad Global | Bishop

|   |      |
|---|------|
| Centro del arco con referencia al eje X [m] | 0.49 |
| Centro del arco con referencia al eje Y [m] | 4.17 |
| Global                                      | 1.59 |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

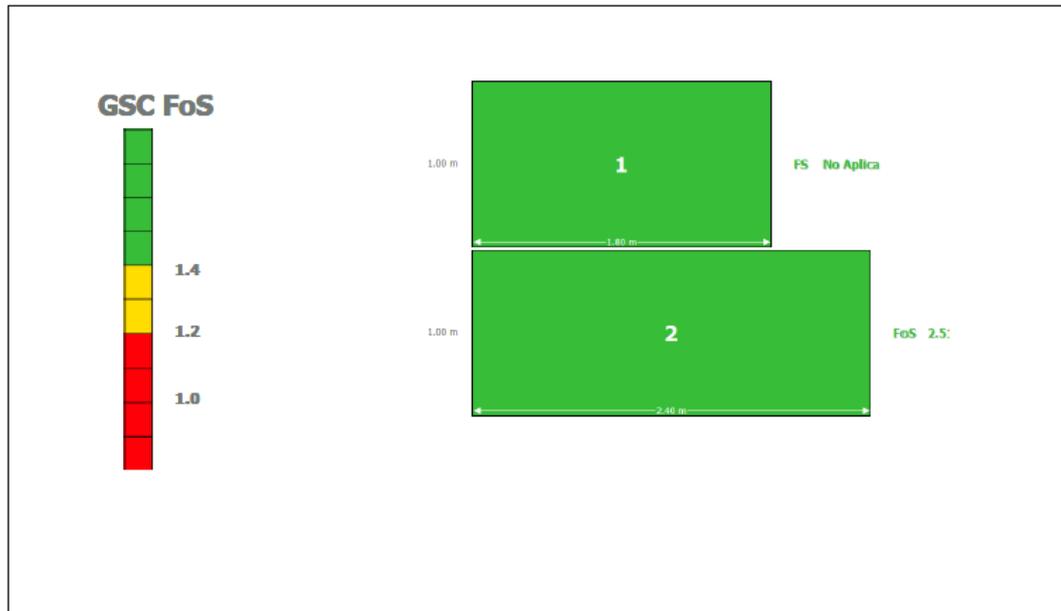
**Figura 68**

Reporte de los resultados de los estados límites de servicio y estado límite último del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 1

● **Resultados**

**ELS Estado Límite de Servicio**

Gabion Serviceability Coefficient



**ELU Estado Límite Último**

Externa

FS para Vuelco

**FoS 7.40**

FS para Deslizamiento

**FoS 1.85**

FS - Tension de la Base izq.

**FoS 5.77**

FS - Tension de la Base der.

**FoS 6.56**

Global

FS Global

**FoS 1.59**

Interna

| Camada | H [m] | N [tf/m] | T [tf/m] | M [tf/m x m] | $\tau_{Max}$ [tf/m] | $\tau_{All}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\tau$ <b>FoS</b> | $\sigma_{Max}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{All}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\sigma$ <b>FoS</b> |
|--------|-------|----------|----------|--------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| 1      | 1.00  | 1.79     | 0.30     | 1.65         | 0.17                | 2.44                              | <b>14.35</b>      | 0.97                                | 15.50                               | <b>15.98</b>        |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**4.8.2 Resultado del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 2**

Se realizó el análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para una altura total de estructura de 3 m, con las mismas características analizadas (en la sección 4.7.2.) como se evidencia en la Figura 69. El reporte de los análisis obtenidos para el caso 2 se muestran en el anexo G.

## Figura 69

Reporte de los datos iniciales del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC

– Caso 2

### • Datos Iniciales

#### Datos sobre el muro

|   |       |
|---|-------|
| Inclinación del muro                          | 0.00  |
| Peso esp. de las piedras [tf/m <sup>2</sup> ] | 1.82  |
| Porosidad de los gaviones [%]                 | 50.00 |
| Geotextil en el terraplén                     | No    |
| Reducción en la fricción [%]                  |       |
| Geotextil en la base                          | No    |
| Reducción en la fricción [%]                  | 0.00  |

#### Datos sobre el suelo del terraplén

|  |       |
|--|-------|
| Inclinación del primer trazo [°]               | 0.00  |
| Largo del primer trazo [m]                     | 0.00  |
| Inclinación del segundo trazo [°]              | 0.00  |
| Peso específico del suelo [tf/m <sup>3</sup> ] | 2.02  |
| Ángulo de fricción del suelo [°]               | 27.00 |
| Cohesión del suelo [tf/m <sup>2</sup> ]        | 0.00  |

| Layer | Altura inicial [m] | Inclinación deg | Peso específico [tf/m <sup>3</sup> ] | Cohesión [tf/m <sup>2</sup> ] | Ángulo fricción [deg] |
|-------|--------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|-------|--------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|

#### Datos sobre la fundación

|  |       |
|--|-------|
| Profundidad de la fundación [m]                        | 0.00  |
| Largo horiz. en la fundación [m]                       |       |
| Inclinación de la de fundación [°]                     | 0.00  |
| Peso específico del suelo [tf/m <sup>3</sup> ]         | 2.02  |
| Ángulo de fricción del suelo [°]                       | 27.00 |
| Cohesión del suelo [tf/m <sup>2</sup> ]                | 0.00  |
| Presión aceptable en la fundación [tf/m <sup>2</sup> ] | 13.26 |
| Nivel del agua [m]                                     |       |

| Camada | Profundidad [m] | Peso específico [tf/m <sup>3</sup> ] | Cohesión [tf/m <sup>2</sup> ] | Ángulo fricción [deg] |
|--------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|--------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|

#### Datos sobre las cargas

##### Cargas distribuidas sobre el terraplén

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Primer trazo [tf/m <sup>2</sup> ]  | q1 |
| Segundo trazo [tf/m <sup>2</sup> ] | q2 |

##### Cargas distribuidas sobre el muro

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga [tf/m <sup>2</sup> ] |  |
|----------------------------|--|

##### Línea de carga sobre el terraplén

|                |  |
|----------------|--|
| Carga 1 [tf/m] |  |
|----------------|--|

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Dist. al tope del muro [m] |  |
|----------------------------|--|

|                |  |
|----------------|--|
| Carga 2 [tf/m] |  |
|----------------|--|

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Dist. al tope del muro [m] |  |
|----------------------------|--|

|                |  |
|----------------|--|
| Carga 3 [tf/m] |  |
|----------------|--|

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Dist. al tope del muro [m] |  |
|----------------------------|--|

##### Línea de carga sobre el muro

|              |  |
|--------------|--|
| Carga [tf/m] |  |
|--------------|--|

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Dist. al tope del muro [m] |  |
|----------------------------|--|

#### Datos sobre la napa freática

|                   |      |
|-------------------|------|
| Altura inicial[m] | 0.00 |
|-------------------|------|

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| Inclinación del primer trazo [°] | 0.00 |
|----------------------------------|------|

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Largo del primer trazo [m] | 0.00 |
|----------------------------|------|

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Inclinación del segundo trazo [°] | 0.00 |
|-----------------------------------|------|

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Largo del segundo trazo [m] | 0.00 |
|-----------------------------|------|

#### Datos sobre efectos sísmicos

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Coefficiente Horizontal |  |
|-------------------------|--|

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Coefficiente Vertical |  |
|-----------------------|--|

#### Producto

|          |                |
|----------|----------------|
| Ambiente | Low Aggressive |
|----------|----------------|

|             |                |                |
|-------------|----------------|----------------|
| <b>Mesh</b> | <b>GSC 0.5</b> | <b>GSC 1.0</b> |
|-------------|----------------|----------------|

|                        |     |     |
|------------------------|-----|-----|
| Gabion POLIMAC™ 80/410 | 820 | 410 |
|------------------------|-----|-----|

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.8.2.1. Cálculo del empuje activo utilizando el método de equilibrio límite.

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 2, da como resultado del empuje activo 5.04 tn/m como se muestra en la Figura 70. Asimismo, cabe señalar que el empuje activo es similar al resultado obtenido por el método convencional.

#### **4.8.2.2. Análisis de estado límite máximo: deslizamiento, vuelco, presiones de fundación y estabilidad global.**

##### **a) Verificación de estabilidad contra el deslizamiento**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 2, da como resultado el factor de seguridad contra el deslizamiento de 1.59, como se muestra en la Figura 70, lo cual cumple con ser mayor a 1.5; por lo tanto, la estructura para el caso 2 es estable ante el deslizamiento. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra el deslizamiento es igual al obtenido por el método convencional.

##### **b) Verificación de estabilidad contra el vuelco**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 2, da como resultado el factor de seguridad contra el vuelco de 5.39, como se muestra en la Figura 70, lo cual cumple con ser mayor a 1.5; por lo tanto, la estructura para el caso 2 es estable ante la posibilidad de vuelco. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra el vuelco es igual al obtenido por el método convencional.

##### **c) Presiones de fundación**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 2, da como resultado los esfuerzos de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base es de 4.08 tn/m<sup>2</sup> y 2.81 tn/m<sup>2</sup> respectivamente, como se muestra en la Figura 70, por lo que ambos resultados son menores a la capacidad de carga del suelo de fundación que es de 13.257 tn/m<sup>2</sup>; por lo tanto, para el caso 2 el suelo de fundación resiste a las presiones aplicadas por la estructura. Asimismo, cabe señalar que los esfuerzos de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base son iguales a los obtenidos por el método convencional.

#### **d) Estabilidad Global**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 2, da como resultado el factor de seguridad contra la falla global de 1.45, como se muestra en la Figura 70, lo cual cumple con ser mayor a 1.2; por lo tanto, la estructura para el caso 2 es estable ante la posibilidad de inestabilidad global. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra la falla global es aproximado al obtenido por el método convencional que es de 1.48, a causa de que el método de verificación de estabilidad global por el software es Bishop y por el convencional el método de las dovelas.

#### **4.8.2.3. Análisis de estado límite de servicio: a través del GSC. (Análisis de la Estructura en la Condición de Servicio).**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 2, da como resultado de GSC un estado límite de servicio satisfactorio representado por el color verde, como se muestra en la Figura 71; por lo tanto, la estructura para el caso 2 ante las condiciones de estabilidad garantiza seguridad.

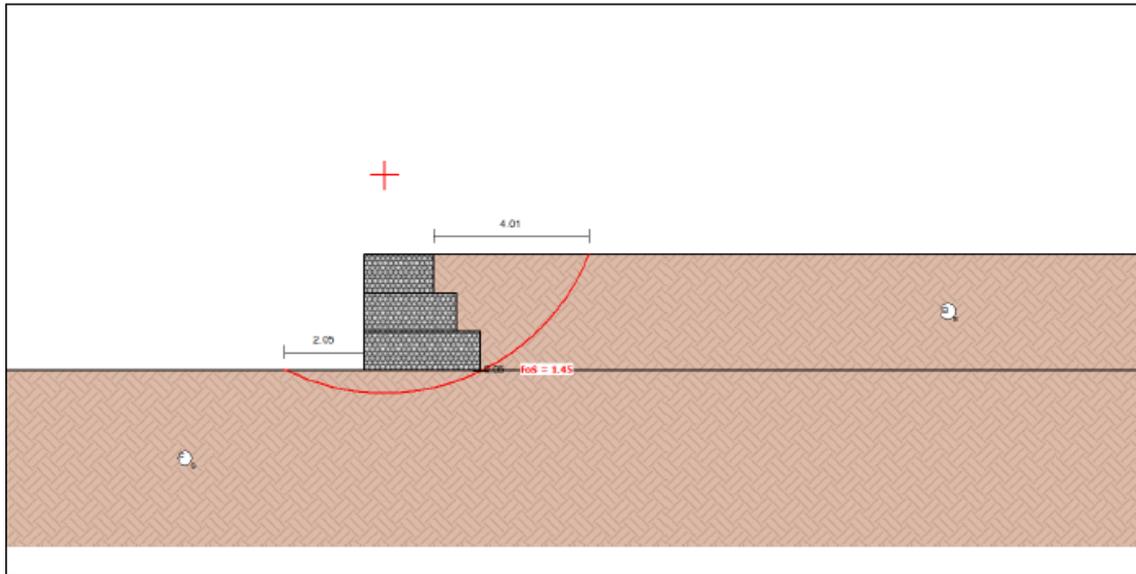
#### **4.8.2.4. Análisis de condiciones de servicio realizado por camadas**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 2 da como resultado los esfuerzos resultantes a la compresión ( $\sigma_{\text{máx}}$ ) y a la tensión tangencial ( $T_{\text{máx}}$ ) menores a las variaciones admisibles dadas por el esfuerzo normal ( $\sigma_{\text{adm}}$ ) y tensión tangencial ( $T_{\text{adm}}$ ), en las dos camadas intermedias, como se muestra en la Figura 71; por lo tanto, la estructura para el caso 2 cumple con la estabilidad en secciones intermedias del muro garantizando seguridad ante la posibilidad de falla de la estructura. Asimismo, cabe señalar que los resultados de estabilidad en secciones intermedias son similares a los obtenidos por el método convencional.

## Figura 70

Reporte de los resultados del análisis de estabilidad del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 2

### ELU Estado Límite Último Geometría del Muro



### Resultados de los Analisis de Estabilidad

#### Empuje Activo y Pasivo

|  |       |
|--|-------|
| Empuje Activo [tf/m]                       | 5.04  |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m]   | 2.60  |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m]   | 1.00  |
| Dirección del empuje con ref. al eje X [°] | 48.80 |
| Empuje Pasivo [tf/m]                       | 0.00  |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m]   | 0.00  |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m]   | 0.00  |
| Dirección del empuje con ref. al eje X [°] | 0.00  |

#### Deslizamiento

|  |       |
|--|-------|
| Fuerza normal en la base [tf/m]          | 10.34 |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m] | 1.41  |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m] | 0.00  |
| Fuerza actuante tangencial [tf/m]        | 3.32  |
| Fuerza resistente tangencial [tf/m]      | 5.27  |
| Deslizamiento                            | 1.59  |

#### Vuelco

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Momento Activo [tf/m x m]     | 3.32  |
| Momento Resistente [tf/m x m] | 17.88 |
| Vuelco                        | 5.39  |

#### Tensiones Actuantes en la Fundación

|  |       |
|--|-------|
| Excentricidad                                      | 0.09  |
| Tensión normal a la izquierda [tf/m <sup>2</sup> ] | 4.08  |
| Tensión normal a la derecha [tf/m <sup>2</sup> ]   | 2.81  |
| Tensión última de la fundación[tf/m <sup>2</sup> ] | 13.26 |
| Tension de la Base izq.                            | 3.25  |
| Tension de la Base der.                            | 4.71  |

#### Estabilidad Global | Bishop

|   |      |
|---|------|
| Centro del arco con referencia al eje X [m] | 0.52 |
| Centro del arco con referencia al eje Y [m] | 5.05 |
| Global                                      | 1.45 |

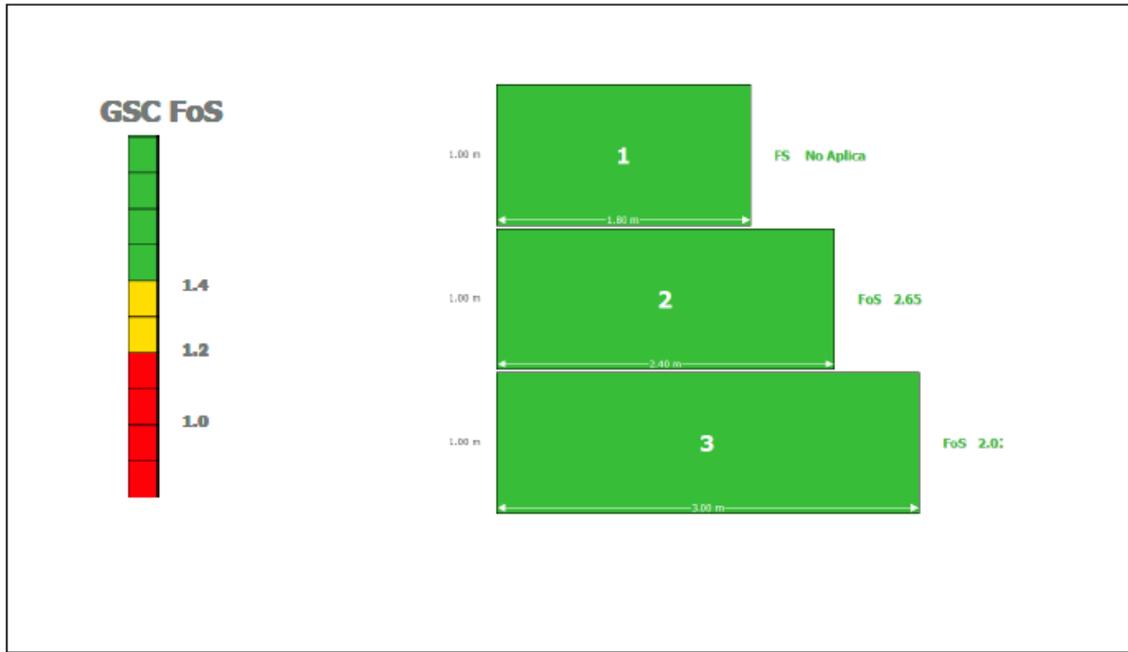
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

## Figura 71

Reporte de los resultados de los estados límites de servicio y estado límite último del gabi6n eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 2

### ELS Estado L6mite de Servicio

Gabion Serviceability Coefficient



### ELU Estado L6mite 6ltimo

Externa

FS para Vuelco

**FoS 5.39**

FS para Deslizamiento

**FoS 1.59**

FS - Tension de la Base izq.

**FoS 3.25**

FS - Tension de la Base der.

**FoS 4.71**

Global

FS Global

**FoS 1.45**

Interna

| Camada | H [m] | N [tf/m] | T [tf/m] | M [tf/m x m] | $\tau_{Max}$ [tf/m] | $\tau_{All}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\tau$ <b>FoS</b> | $\sigma_{Max}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{All}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\sigma$ <b>FoS</b> |
|--------|-------|----------|----------|--------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| 1      | 1.00  | 1.79     | 0.30     | 1.65         | 0.17                | 2.44                              | <b>14.35</b>      | 0.97                                | 15.50                               | <b>15.98</b>        |
| 2      | 2.00  | 5.19     | 1.43     | 6.09         | 0.59                | 3.61                              | <b>6.12</b>       | 2.21                                | 15.50                               | <b>7.01</b>         |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 4.8.3 Resultado del an6lisis de estabilidad del muro de contenci6n eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 3

Se realiz6 el an6lisis de estabilidad del muro de contenci6n eco-ambiental con el software GawacWin GSC para una altura total de estructura de 4 m, con las mismas caracter6sticas analizadas (en la secci6n 4.7.3.) como se evidencia en la Figura 72. El reporte de los an6lisis obtenidos para el caso 3 se muestran en el anexo H.

## Figura 72

Reporte de los datos iniciales del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC

– Caso 3

### • Datos Iniciales

#### Datos sobre el muro

|   |       |
|---|-------|
| Inclinación del muro                          | 0.00  |
| Peso esp. de las piedras [tf/m <sup>3</sup> ] | 1.82  |
| Porosidad de los gaviones [%]                 | 50.00 |
| Geotextil en el terraplén                     | No    |
| Reducción en la fricción [%]                  |       |
| Geotextil en la base                          | No    |
| Reducción en la fricción [%]                  | 0.00  |

#### Datos sobre el suelo del terraplén

|  |       |
|--|-------|
| Inclinación del primer trazo [°]               | 0.00  |
| Largo del primer trazo [m]                     | 0.00  |
| Inclinación del segundo trazo [°]              | 0.00  |
| Peso específico del suelo [tf/m <sup>3</sup> ] | 2.02  |
| Ángulo de fricción del suelo [°]               | 27.00 |
| Cohesión del suelo [tf/m <sup>2</sup> ]        | 0.00  |

| Layer | Altura inicial [m] | Inclinación deg | Peso específico [tf/m <sup>3</sup> ] | Cohesión [tf/m <sup>2</sup> ] | Ángulo fricción [deg] |
|-------|--------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|-------|--------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|

#### Datos sobre la fundación

|  |       |
|--|-------|
| Profundidad de la fundación [m]                        | 0.00  |
| Largo horiz. en la fundación [m]                       |       |
| Inclinación de la de fundación [°]                     | 0.00  |
| Peso específico del suelo [tf/m <sup>3</sup> ]         | 2.02  |
| Ángulo de fricción del suelo [°]                       | 27.00 |
| Cohesión del suelo [tf/m <sup>2</sup> ]                | 0.00  |
| Presión aceptable en la fundación [tf/m <sup>2</sup> ] | 13.26 |
| Nivel del agua [m]                                     |       |

| Camada | Profundidad [m] | Peso específico [tf/m <sup>3</sup> ] | Cohesión [tf/m <sup>2</sup> ] | Ángulo fricción [deg] |
|--------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|--------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|

#### Datos sobre las cargas

##### Cargas distribuidas sobre el terraplén

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Primer trazo [tf/m <sup>2</sup> ]  | q1 |
| Segundo trazo [tf/m <sup>2</sup> ] | q2 |

##### Cargas distribuidas sobre el muro

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga [tf/m <sup>2</sup> ] |  |
|----------------------------|--|

##### Línea de carga sobre el terraplén

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga 1 [tf/m]             |  |
| Dist. al tope del muro [m] |  |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga 2 [tf/m]             |  |
| Dist. al tope del muro [m] |  |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga 3 [tf/m]             |  |
| Dist. al tope del muro [m] |  |

##### Línea de carga sobre el muro

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Carga [tf/m]               |  |
| Dist. al tope del muro [m] |  |

#### Datos sobre la napa freática

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Altura inicial[m]                 | 0.00 |
| Inclinación del primer trazo [°]  | 0.00 |
| Largo del primer trazo [m]        | 0.00 |
| Inclinación del segundo trazo [°] | 0.00 |
| Largo del segundo trazo [m]       | 0.00 |

#### Datos sobre efectos sísmicos

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Coficiente Horizontal |  |
| Coficiente Vertical   |  |

#### Producto

|          |                |
|----------|----------------|
| Ambiente | Low Aggressive |
|----------|----------------|

| Mesh                   | GSC 0.5 | GSC 1.0 |
|------------------------|---------|---------|
| Gabion POLIMAC™ 80/410 | 820     | 410     |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.8.3.1. Cálculo del empuje activo utilizando el método de equilibrio límite.

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 3, da como resultado del empuje activo 9.53 tn/m como se muestra en la Figura 73. Asimismo, cabe señalar que el empuje activo es similar al resultado obtenido por el método convencional.

#### 4.8.3.2. Análisis de estado límite máximo: deslizamiento, vuelco, presiones de fundación y estabilidad global.



**a) Verificación de estabilidad contra el deslizamiento**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 3, da como resultado el factor de seguridad contra el deslizamiento de 1.47, como se muestra en la Figura 73, este resultado no cumple con ser mayor a 1.5; por lo tanto, la estructura para el caso 3 es inestable ante el deslizamiento. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra el deslizamiento es igual al obtenido por el método convencional.

**b) Verificación de estabilidad contra el vuelco**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 3, da como resultado el factor de seguridad contra el vuelco de 4.53, como se muestra en la Figura 73, lo cual cumple con ser mayor a 1.5; por lo tanto, la estructura para el caso 3 es estable ante la posibilidad de vuelco. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra el vuelco es igual al obtenido por el método convencional.

**c) Presiones de fundación**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 3, da como resultado los esfuerzos de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base es de  $6.17 \text{ tn/m}^2$  y  $3.42 \text{ tn/m}^2$  respectivamente, como se muestra en la Figura 73, por lo que ambos resultados son menores a la capacidad de carga del suelo de fundación que es de  $13.257 \text{ tn/m}^2$ ; por lo tanto, para el caso 3 el suelo de fundación resiste a las presiones aplicadas por la estructura. Asimismo, cabe señalar que los esfuerzos de trabajo en las extremidades izquierda y derecha de la base son iguales a los obtenidos por el método convencional.

#### **d) Estabilidad Global**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 3, da como resultado el factor de seguridad contra la falla global de 1.40, como se muestra en la Figura 67, lo cual cumple con ser mayor a 1.2; por lo tanto, la estructura para el caso 3 es estable ante la posibilidad de vuelco. Asimismo, cabe señalar que el factor de seguridad contra la falla global es aproximado al obtenido por el método convencional que es de 1.28, a causa de que el método de verificación de estabilidad global por el software es Bishop y por el convencional el método de las dovelas.

#### **4.8.3.3. Análisis de estado límite de servicio: a través del GSC. (Análisis de la Estructura en la Condición de Servicio).**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 3, da como resultado de GSC un estado límite de servicio satisfactorio representado por el color verde, como se muestra en la Figura 74; por lo tanto, la estructura para el caso 3 ante las condiciones de estabilidad garantiza seguridad.

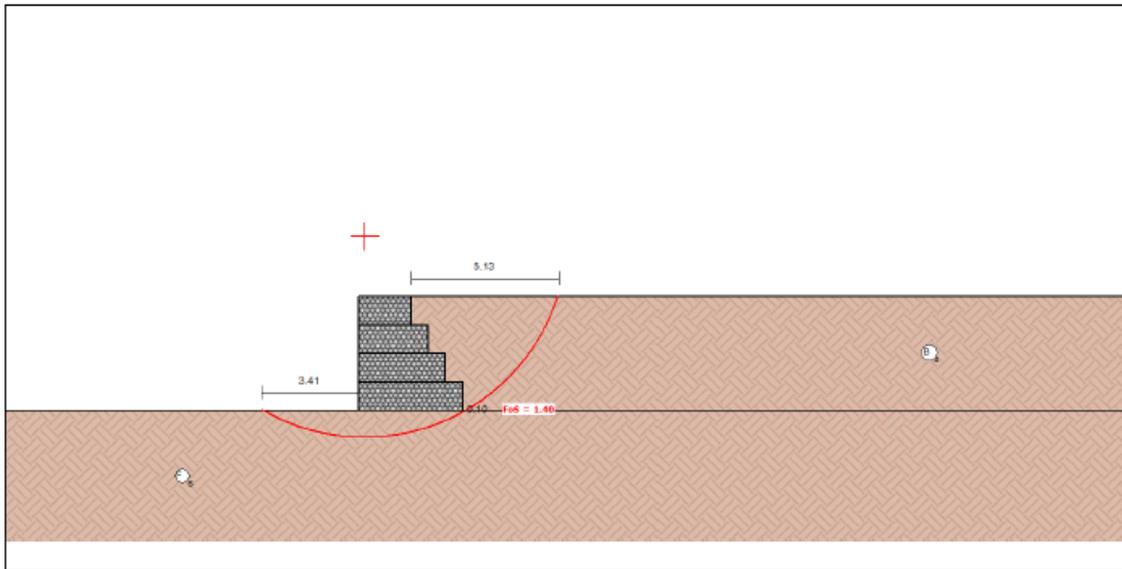
#### **4.8.3.4. Análisis de condiciones de servicio realizado por camadas**

El reporte de análisis del software GawacWin GSC para el caso 3 da como resultado los esfuerzos resultantes a la compresión ( $\sigma_{\text{máx}}$ ) y a la tensión tangencial ( $T_{\text{máx}}$ ) menores a las variaciones admisibles dadas por el esfuerzo normal ( $\sigma_{\text{adm}}$ ) y tensión tangencial ( $T_{\text{adm}}$ ), en las siete camadas intermedias, como se muestra en la Figura 74; por lo tanto, la estructura para el caso 3 cumple con la estabilidad en secciones intermedias del muro garantizando seguridad ante la posibilidad de falla de la estructura. Asimismo, cabe señalar que los resultados de estabilidad en secciones intermedias son similares a los obtenidos por el método convencional.

### Figura 73

Reporte de los resultados del análisis de estabilidad del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 3

#### ELU Estado Límite Último Geometría del Muro



#### Resultados de los Analisis de Estabilidad

##### Empuje Activo y Pasivo

|  |       |
|--|-------|
| Empuje Activo [tf/m]                       | 9.53  |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m]   | 3.00  |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m]   | 1.33  |
| Dirección del empuje con ref. al eje X [°] | 51.23 |
| Empuje Pasivo [tf/m]                       | 0.00  |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m]   | 0.00  |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m]   | 0.00  |
| Dirección del empuje con ref. al eje X [°] | 0.00  |

##### Deslizamiento

|  |       |
|--|-------|
| Fuerza normal en en la base [tf/m]       | 17.26 |
| Punto de aplicación con ref. al eje X[m] | 1.63  |
| Punto de aplicación con ref. al eje Y[m] | 0.00  |
| Fuerza actuante tangencial [tf/m]        | 5.97  |
| Fuerza resistente tangencial [tf/m]      | 8.79  |
| Deslizamiento                            | 1.47  |

##### Vuelco

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Momento Activo [tf/m x m]     | 7.96  |
| Momento Resistente [tf/m x m] | 36.05 |
| Vuelco                        | 4.53  |

##### Tensiones Actuantes en la Fundación

|  |       |
|--|-------|
| Excentricidad                                      | 0.17  |
| Tensión normal a la izquierda [tf/m <sup>2</sup> ] | 6.17  |
| Tensión normal a la derecha [tf/m <sup>2</sup> ]   | 3.42  |
| Tensión última de la fundación[tf/m <sup>2</sup> ] | 13.26 |
| Tension de la Base izq.                            | 2.15  |
| Tension de la Base der.                            | 3.88  |

##### Estabilidad Global | Bishop

|   |      |
|---|------|
| Centro del arco con referencia al eje X [m] | 0.18 |
| Centro del arco con referencia al eje Y [m] | 6.09 |
| Global                                      | 1.40 |

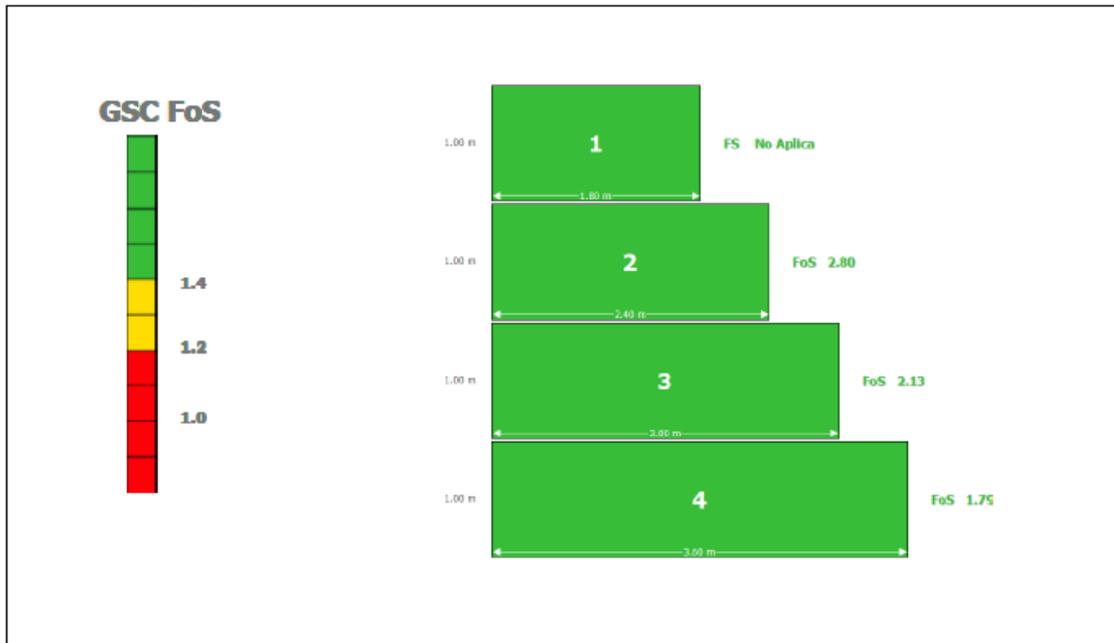
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Figura 74**

Reporte de los resultados de los estados límites de servicio y estado límite último del gavión eco-ambiental por el software GawacWin GSC – Caso 3

**ELS Estado Límite de Servicio**

Gabion Serviceability Coefficient



**ELU Estado Límite Último**

Externa

FS para Vuelco

FS para Deslizamiento

FS - Tension de la Base izq.

FS - Tension de la Base der.

Global

FS Global

|            |             |            |             |            |             |            |             |            |             |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| <b>FoS</b> | <b>4.53</b> | <b>FoS</b> | <b>1.47</b> | <b>FoS</b> | <b>2.15</b> | <b>FoS</b> | <b>3.88</b> | <b>FoS</b> | <b>1.40</b> |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|

Interna

| Camada | H [m] | N [tf/m] | T [tf/m] | M [tf/m x m] | $\tau_{Max}$ [tf/m] | $\tau_{All}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\tau$ <b>FoS</b> | $\sigma_{Max}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{All}$ [tf/m <sup>2</sup> ] | $\sigma$ <b>FoS</b> |
|--------|-------|----------|----------|--------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| 1      | 1.00  | 1.79     | 0.30     | 1.65         | 0.17                | 2.44                              | <b>14.35</b>      | 0.97                                | 15.50                               | <b>15.98</b>        |
| 2      | 2.00  | 5.19     | 1.43     | 6.09         | 0.59                | 3.61                              | <b>6.12</b>       | 2.21                                | 15.50                               | <b>7.01</b>         |
| 3      | 3.00  | 10.34    | 3.32     | 14.56        | 1.11                | 4.90                              | <b>4.41</b>       | 3.67                                | 15.50                               | <b>4.22</b>         |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.9. RESULTADO DE LA RELACIÓN DE BASE POR ALTURA VS FACTORES DE SEGURIDAD DEL MURO

En esta sección se presenta el resumen de los resultados de factores de seguridad contra el deslizamiento, volteo, verificaciones de las presiones aplicadas a la fundación, y estabilidad contra rotura global como se muestra en la Tabla 45 y Tabla 46, para fines de verificar la influencia de la relación de base por altura en los factores de seguridad

**Tabla 45**

*Resumen de los resultados del método convencional*

| CASO | H | B   | B/H | FS<br>contra el<br>deslizamiento | FS<br>contra<br>el<br>vuelco | FS de<br>tensión de<br>la base<br>izq. | FS de<br>Tensión<br>de la base<br>der. | FS<br>global |
|------|---|-----|-----|----------------------------------|------------------------------|--|--|--------------|
| 1    | 2 | 2.4 | 1.2 | 1.85                             | 7.41                         | 5.77                                   | 6.57                                   | 1.26         |
| 2    | 3 | 3   | 1   | 1.59                             | 5.39                         | 3.25                                   | 4.72                                   | 1.48         |
| 3    | 4 | 3.6 | 0.9 | 1.47                             | 4.53                         | 2.15                                   | 3.88                                   | 1.22         |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 46**

*Resumen de los resultados con el software GawacWin*

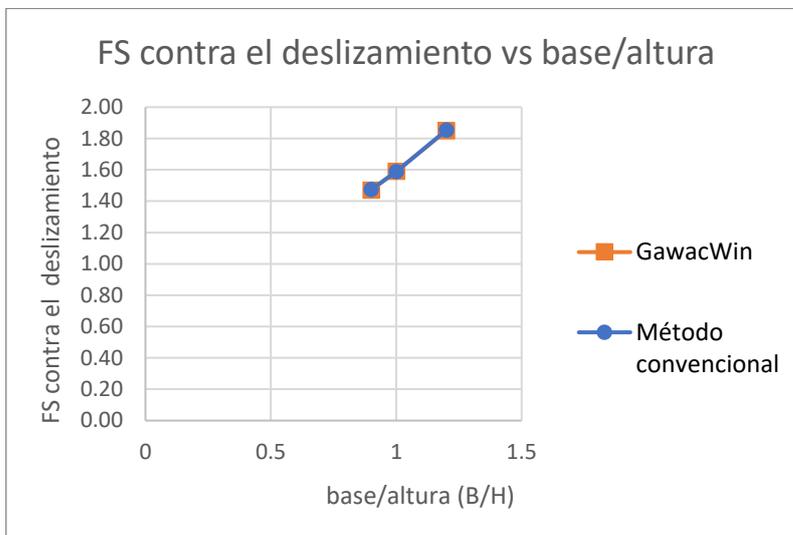
| CASO | H | B   | B/H | FS<br>contra el<br>deslizamiento | FS<br>contra<br>el<br>vuelco | FS de<br>tensión<br>de la base<br>izq. | FS de<br>Tensión<br>de la<br>base der. | FS<br>global |
|------|---|-----|-----|----------------------------------|------------------------------|--|--|--------------|
| 1    | 2 | 2.4 | 1.2 | 1.85                             | 7.41                         | 5.77                                   | 6.56                                   | 1.59         |
| 2    | 3 | 3   | 1   | 1.59                             | 5.39                         | 3.25                                   | 4.71                                   | 1.45         |
| 3    | 4 | 3.6 | 0.9 | 1.47                             | 4.53                         | 2.15                                   | 3.88                                   | 1.40         |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura 75 se aprecia que el factor de seguridad contra el deslizamiento es mayor cuando la relación de base por altura es superior a la unidad.

**Figura 75**

*FS contra el deslizamiento vs base/altura*

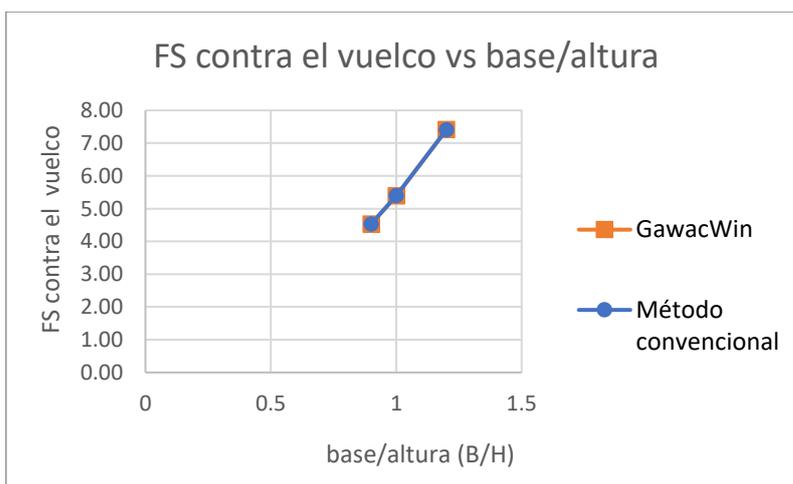


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura 76 se aprecia que el factor de seguridad contra el vuelco es mayor cuando la relación de base por altura es superior a la unidad.

**Figura 76**

*FS contra el vuelco vs base/altura*

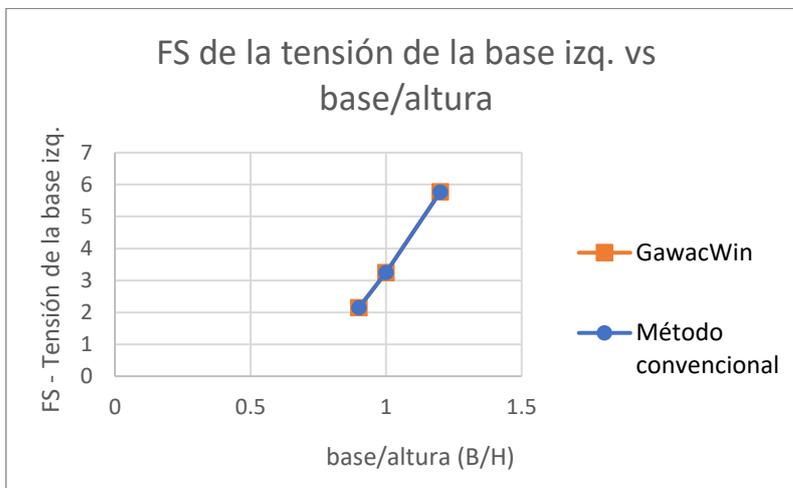


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura 77 se aprecia que el factor de seguridad de la tensión de la base izquierda es mayor cuando la relación de base por altura es superior a la unidad.

**Figura 77**

*FS de la tensión de la base izquierda. vs base/altura*

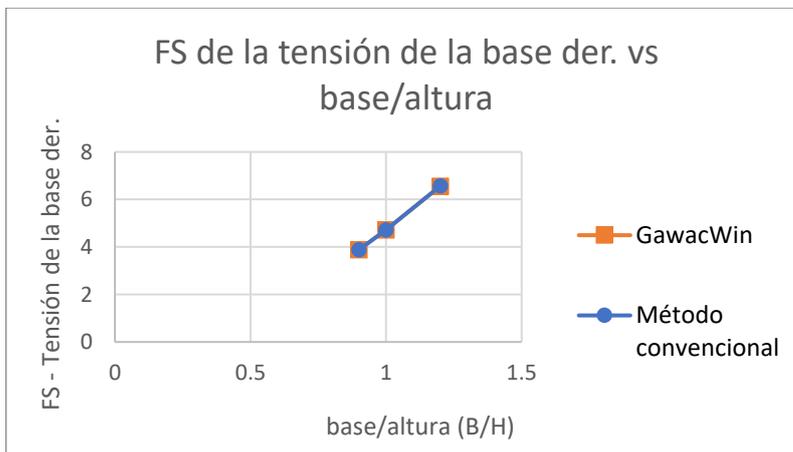


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura 78 se aprecia que el factor de seguridad de la tensión de la base derecha es mayor cuando la relación de base por altura es superior a la unidad.

**Figura 78**

*FS de la tensión de la base derecha vs base/altura*



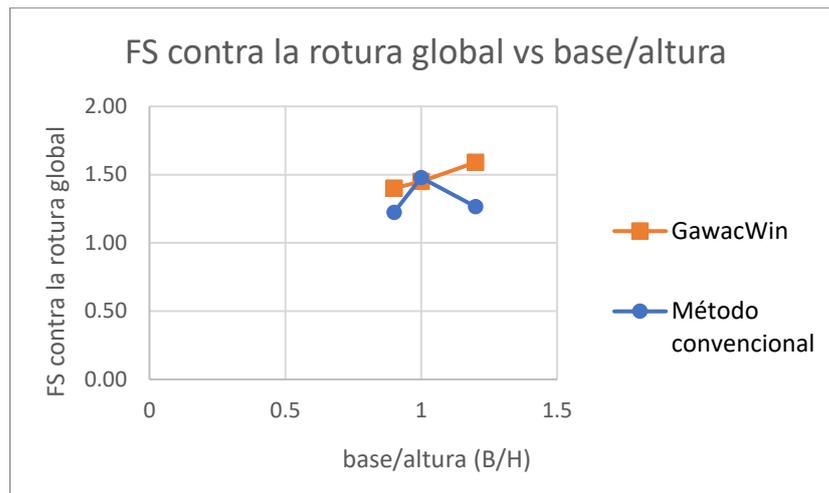
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura 79 se aprecia que el resultado del factor de seguridad contra la rotura global obtenido por el software GawacWin, usando la metodología de Bishop, es mayor cuando la relación de base por altura es superior a la unidad. Por otro lado, los resultados

del factor de seguridad contra la rotura global obtenidos por los cálculos convencionales, usando la metodología de las dovelas, son dispersos y no se puede relacionar los factores de seguridad contra la rotura global vs base/altura.

**Figura 79**

*FS contra la rotura global vs base/altura*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.10. RESULTADO DEL PROTOTIPO DE GAVIÓN ECO-AMBIENTAL

Se realizó el prototipo de gavión para una canasta de gavión tipo caja, con malla electrosoldada, de dimensiones  $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ m}^3$ , la cual se procedió a llenar con geobotellas, atirantar y finalmente el proceso de costura y cierre del gavión, como se indicó en la metodología del capítulo 3. Finalmente se obtiene el prototipo de gavión eco-ambiental mostrado en la Figura 80 que cumple con las características de un gavión tradicional:

**Monolitismo:** La unión de elementos que forma la estructura se realiza entre cajas de gaviones unidos con alambre galvanizados igual que un gavión tradicional por la cual esta propuesta de gavión cumple en responder la incidencia de fuerzas en tres dimensiones.



**Flexibilidad:** Las mallas de gaviones utilizadas para este tipo de estructura eco-ambiental son las mismas que un gavión tradicional, solo basta con tomar en cuenta que, en la selección del tamaño de abertura de las mallas, la cara de la geobotella que colinde con la malla de gavión por lo menos sea 3 cm mayor que las aberturas de la malla de gavión. La alta resistencia de la malla de cables permite deformaciones dentro de los límites aceptables.

**Permeabilidad:** Los vacíos presentes en el relleno del gavión eco-ambiental debido a la forma irregular de las geobotellas permiten el flujo de líquidos a través de esta.

**Durabilidad:** Las cajas de gavión al ser de un material resistente y recubierto con materiales como el GalFan permite resistencia a condiciones bastante severas de exposición a agentes corrosivos, asimismo, el PET tiene un tiempo de degradación de hasta 450 años, es resistente a combustibles, alcoholes, grasas, éteres ácidos y bases diluidas, además tiene buena resistencia a la temperatura ambiental, radiaciones solares y humedad. Por tal motivo el gavión eco-ambiental garantiza el periodo de retorno de 50 años para un muro de contención.

**Versatilidad:** Los gaviones eco-ambientales pueden ser construidos bajo diversas condiciones ambientales, además, no se requiere de mano de obra calificada en la preparación de las geobotellas y la estructura puede ser construido con personal sin gran especialización.

**Integración con el medio ambiente:** La capacidad de permeabilidad y la naturaleza del relleno de geobotellas permite a la estructura de gaviones eco-ambientales integrarse con el medio ambiente. Asimismo, cabe señalar que al reutilizar las botellas descartables PET genera un impacto ambiental positivo.

## Figura 80

### *Prototipo del gavión eco-ambiental*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **4.11. RESULTADO DEL PRESUPUESTO PARA EL MURO DE CONTENCIÓN TRADICIONAL DE GAVIONES RELLENADOS CON PIEDRA**

El presupuesto se desarrolló netamente para las actividades que implican la instalación del muro de contención para gaviones rellenos con piedra como se indicó en la metodología del capítulo 3.

Este análisis de costos se elaboró con fines de aplicación en zonas donde hay poca o nula presencia de material pétreo para el relleno de gaviones, como se indicó en el diseño, los precios de transporte de material se consideraron para el distrito de San Gaban, provincia de Carabaya, departamento de Puno, ya que pertenece a la amazonia puneña y carece de canteras de roca. Los metrados se consideraron para el diseño del muro de

contención eco-ambiental del caso 1 (Figura 63) con una estructura de 2 metros de altura y longitud de 54 m.

En la Tabla 47 (siguiente), se muestra las partidas requeridas con su respectivo presupuesto para la instalación del muro de gavión rellenas con material pétreo. Cabe indicar que el metrado y el análisis de precios unitarios detallado de cada partida se encuentra en el Anexo I (anexo del desarrollo presupuestal).

El presupuesto para el muro de contención tradicional de gaviones rellenos con piedra es S/.164,405.50, como se muestra en la siguiente Tabla 47.

**Tabla 47**

*Resultado del presupuesto para muro de contención con gaviones rellenos con piedra*

| <b>Proyecto: "Construcción de muro contención con gaviones de material pétreo"</b> |   |                |                |                   |                    |
|--|---|----------------|----------------|-------------------|--------------------|
| <b>Fecha: Junio 2021</b>   |   |                |                |                   |                    |
| <b>Partida N°</b>  | <b>Descripción</b>  | <b>Und</b>     | <b>Metrado</b> | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |
| 01.01.   | Recolección y Apilamiento de Piedra de 320 mm - 350mm   | m <sup>3</sup> | 226.80         | 61.98             | 14,057.74          |
| 01.02.   | Muro de Gaviones de Caja (8 x 10 / 2.7, ZN + AL + PVC)  | m <sup>3</sup> | 226.80         | 289.91            | 65,752.19          |
| 01.03.   | Flete terrestre con transporte Juliaca - San Gaban (rollo de mallas para gavión)                  | glb            | 1.00           | 1995.00           | 1,995.00           |
| 01.04.   | Flete terrestre con transporte de piedra (87 km de cantera hasta almacén - distrito de San Gaban) | m <sup>3</sup> | 272.16         | 282.75            | 76,953.24          |

... continuación

|                        |  |                |        |       |                   |
|------------------------|--|----------------|--------|-------|-------------------|
| 01.05.                 | Traslado de piedra (con personal del almacenamiento hasta la obra) | m <sup>3</sup> | 272.16 | 20.75 | 5,647.32          |
| <b>Costo Directo =</b> |  |                |        |       | <b>164,405.50</b> |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **4.12. RESULTADO DEL PRESUPUESTO PARA EL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL DE GAVIONES RELLENADOS CON GEOBOTELLAS**

El presupuesto se desarrolló netamente para las actividades que implican la instalación del muro de contención para gaviones rellenos con piedra como se indicó en la metodología del capítulo 3.

Este análisis de costos se elaboró con fines de aplicación en zonas donde hay poca o nula presencia de material pétreo para el relleno de gaviones, como se indicó en el diseño, los precios de transporte de material se consideraron para el distrito de San Gabán, provincia de Carabaya, departamento de Puno, ya que pertenece a la amazonia puneña y carece de canteras de roca. Los metrados se consideraron para el diseño del muro de contención eco-ambiental del caso 1 (Figura 63) con una estructura de 2 metros de altura y longitud de 54 m.

En la Tabla 48 (siguiente), se muestra las partidas requeridas con su respectivo presupuesto para la instalación de muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas. Cabe indicar que el metrado y el análisis de precios unitarios detallado de cada partida se encuentra en el Anexo J (anexo del desarrollo presupuestal).

El presupuesto para el muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas es S/.135,116.18, como se muestra en la siguiente Tabla 48.

**Tabla 48**

*Resultado del presupuesto para muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas.*

| <b>Proyecto: "Construcción de muro contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas"</b> |  |                |                |                        |                    |
|---|--|----------------|----------------|------------------------|--------------------|
| <b>Fecha: Junio 2021</b>  |  |                |                |                        |                    |
| <b>Partida N°</b>   | <b>Descripción</b>   | <b>Und</b>     | <b>Metrado</b> | <b>Precio S/.</b>      | <b>Parcial S/.</b> |
| 02.01.  | Rellenado de botellas PET con material propio                                    | m <sup>3</sup> | 226.80         | 335.18                 | 76,019.90          |
| 02.02.  | Muro de Gaviones de Caja (8 x 10 / 2.7, ZN + AL + PVC)                           | m <sup>3</sup> | 226.80         | 221.77                 | 50,297.28          |
| 02.03.  | Flete terrestre con transporte Juliaca - San Gaban (rollo de mallas para gavión) | glb            | 1.00           | 1995.00                | 1,995.00           |
| 02.04.  | Flete terrestre con transporte de botellas (compra-almacén)                      | m <sup>3</sup> | 272.16         | 18.00                  | 4,898.88           |
| 02.05.  | Traslado de geobotellas (con personal del almacenamiento hasta la obra)          | m <sup>3</sup> | 272.16         | 7.00                   | 1,905.12           |
|   |  |                |                | <b>Costo Directo =</b> | <b>135,116.18</b>  |

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.13. RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE GAVIONES TRADICIONALES Y GAVIONES ECO-AMBIENTALES

Los resultados de ambos presupuestos mostrados en tablas anteriores (Tabla 47 y Tabla 48) se puede afirmar que los gaviones rellenos con geobotellas tienen enorme ventaja en cuanto al costo del gavión tradicional, pues la diferencia de costos equivale a S/. 29,289.31, siendo el de menor costo el gavión relleno con geobotellas. Por lo que se deduce que el gavión ecoambiental es 17.82% más económico respecto a los gaviones tradicionales.

En la Figura 81 se muestra la influencia del costo de cada partida, para el caso de los gaviones tradicionales.

#### Figura 81

*Distribución porcentual del presupuesto de muro de contención tradicional de gaviones rellenas con material pétreo*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Donde:

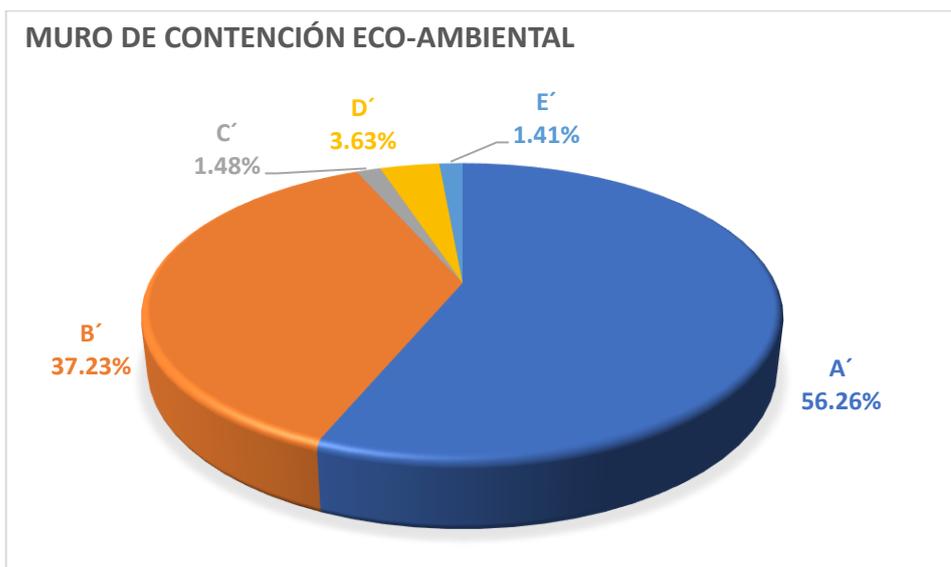
- A Recolección y Apilamiento de Piedra de 320 mm - 350mm
- B Muro de Gaviones de Caja (8 x 10 / 2.7, ZN + AL + PVC)

- C Flete terrestre con transporte Juliaca - San Gaban (rollo de mallas para gavión)
- D Flete terrestre con transporte de piedra (87 km de cantera hasta almacén - distrito de San Gaban)
- E Traslado de piedra (con personal del almacenamiento hasta la obra)

En la Figura 82 se muestra la influencia del costo de cada partida, para el caso de los gaviones eco-ambientales.

### Figura 82

*Distribución porcentual del presupuesto del muro de contención eco-ambiental de gaviones relleno con geobotellas*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Donde:

- A' Rellenado de botellas PET con material propio
- B' Muro de Gaviones de Caja (8 x 10 / 2.7, ZN + AL + PVC)
- C' Flete terrestre con transporte Juliaca - San Gaban (rollo de mallas para gavión)

D Flete terrestre con transporte de botellas (compra-almacén)

E Traslado de geobotellas (con personal del almacenamiento hasta la obra)

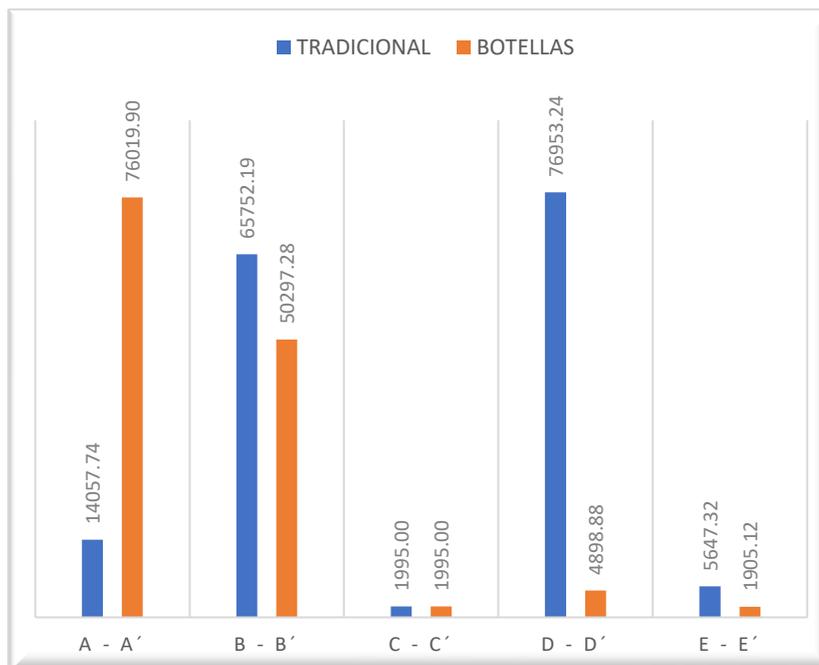
En la Figura 81 se aprecia que la partida predominante es el Flete terrestre con transporte de piedra (87 km de cantera hasta almacén - distrito de San Gabán), esto explica la escasa presencia de material pétreo para el relleno en gaviones.

Mientras que en la Figura 82 se observa que la partida predominante es el Rellenado de botellas PET con material propio, puesto que el proceso es trabajoso y requiere bastante personal que trabaje en esta partida.

En la Figura 83 se muestra una comparación de precios entre ambos proyectos, donde las actividades predominantes marcan la diferencia de costos, mientras que las demás actividades con similares.

### Figura 83

*Diferencia de costos entre gaviones tradicionales y gaviones eco-ambientales aplicado en muros de contención*



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.14. RESULTADO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MURO DE CONTENCIÓN ECO-AMBIENTAL

Las ventajas y desventajas se desarrollaron como se indicó en la metodología del capítulo 3. Obteniendo los resultados de la Tabla 49

**Tabla 49**

*Ventajas y desventajas del muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas.*

| VENTAJAS   | DESVENTAJAS   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Durabilidad:</b><br/>Las botellas PET tienen un tiempo de degradación de hasta 450 años como señala (Eliás &amp; Jurado, 2012), y es resistente a la corrosión como indica (Pilco Villagra, 2012); por lo tanto, garantiza el periodo de retorno de 50 años.</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Porcentaje de vacíos del gavión eco-ambiental:</b><br/>El porcentaje de vacíos de un gavión relleno con roca es de 30 a 35% según (Nuñez, 1987), en cambio el porcentaje de vacíos del gavión relleno con geobotellas es de 50%, según el cálculo realizado en la sección 4.4 de la presente tesis.</li></ul>                            |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Económica:</b><br/>Permite un ahorro hasta del 17.82% del costo directo en comparación con la construcción tradicional, según los resultados obtenidos de la comparación de costos.</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Proceso constructivo del gavión eco-ambiental:</b><br/>El tamaño de las geobotellas limita la dimensión de la caja de gavión a utilizar por la configuración de llenado, asimismo, limita el tamaño de la malla de gavión, debido a que la cara de la botella que colinde con la malla debe ser superior por lo menos en 3 cm.</li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ambiental:</b><br/>El porcentaje de reciclaje del PET es ineficiente en el Perú, El 78% de los residuos de PET se pierden (99 mil tn en rellenos sanitarios y 50 mil tn vertidos directamente en el ambiente) en el 2018, según (Díaz et al., 2020). Al utilizar las geobotellas, ya no son un problema, sino un recurso para la construcción de obras.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Reglamentación y normativa:</b><br/>El sistema del muro eco-ambiental no tiene reglamentación para determinar su diseño, análisis y construcción.</li></ul>  |



... continuación

---

• **Social:**

Para el proceso de construcción de gaviones con geobotellas se requiere uso intensivo de mano de obra no calificada, en la partida “Rellenado de botellas PET con material propio”, generando así más empleo en programas como Trabaja Perú y mejorar la empleabilidad de la población en condición de pobreza extrema.

• **Cumple con todas las características del gavión tradicional**

Como resultado del proceso constructivo del prototipo del gavión eco-ambiental, este cumple con las características del gavión tradicional que son monolitismo, flexibilidad, permeabilidad, durabilidad, versatilidad e integración con el medio ambiente.

---

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



## V. CONCLUSIONES

Se concluyó que las geobotellas son una alternativa óptima para ser utilizadas como material de relleno del gavión en un muro de contención de taludes, brindando: durabilidad, trabajabilidad, y estabilidad, superando los factores de seguridad permisibles, además de ser económico y totalmente amigable para el medio ambiente.

La investigación denominada: “Muros de contención eco- ambientales con gaviones a base de botellas reciclables PET”, presenta las siguientes conclusiones específicas:

1. Las geobotellas presentan propiedades físicas y mecánicas competentes para ser utilizados como material de relleno del gavión. Según los resultados obtenidos del ensayo de peso específico, se concluye que el peso específico de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml son  $2.051 \text{ tn/m}^3$  y  $1.819 \text{ tn/m}^3$  respectivamente, siendo estos valores superiores al valor mínimo de  $1.250 \text{ tn/m}^3$  establecido por el MTC. Según la mejor propuesta de configuración de llenado del gavión con geobotellas, se concluye que el diámetro central y longitud de las geobotellas que limitan con las caras de la caja de gavión son 4 cm mayor que las aberturas de la malla del gavión del prototipo, cumpliendo así con el tamaño mínimo de material de relleno según el MTC. Según los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia mecánica se concluye que resistencia a la compresión simple de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml son  $21.80 \text{ kg/cm}^2$  y  $30.80 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, y la resistencia a la tracción indirecta de las geobotellas de 500 ml y 3000 ml son  $19.61 \text{ kg/cm}^2$  y  $17.13 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
2. Se realizó el análisis de estabilidad a los muros de contención eco-ambiental con gaviones a base de geobotellas de 2, 3 y 4 m de altura, mediante los cálculos



convencionales y el software GAWACWIN GSC, donde se concluye que para las dos primeras configuraciones propuestas, los factores de seguridad contra el deslizamiento, volteo, verificaciones de las presiones aplicadas a la fundación, y estabilidad contra rotura global superan a los permisibles en todos los casos, por ambos métodos; sin embargo, para el muro de 4 m de altura el factor de seguridad contra el deslizamiento no garantiza seguridad, concluyendo así que el muro de contención ecoambiental es estable hasta 3 m de altura para el talud natural propuesto.

3. El muro de contención eco-ambiental es 17.82% más económico que la construcción tradicional, en lugares donde carecen canteras de roca, debido a que la partida del flete terrestre con transporte de material de relleno se reduce en cuanto al volumen y peso, es decir de piedra a botellas descartables.
4. Los muros de contención eco-ambientales con gaviones a base de geobotellas tiene múltiples ventajas: La durabilidad, porque según los estudios del marco teórico las botellas PET son un material de lenta degradación, resistentes a los ataques químicos, con buena resistencia a la temperatura ambiental, radiaciones solares, humedad, y además no presenta vulnerabilidad al ataque microbiológico, garantizando así a las geobotellas ser un material resistente al desgaste y un periodo de retorno de 50 años al muro de contención ecoambiental. Es económico porque permite un ahorro en zonas donde carecen de canteras de roca en comparación con la construcción tradicional. Ambientalmente representa una alternativa sostenible, ya que, el reciclaje del PET es ineficiente en el Perú, y al utilizar las geobotellas como material de relleno ya no serían un problema, sino un recurso para la construcción de obras de ingeniería civil. En lo social, la trabajabilidad porque la preparación de las geobotellas no requiere de mano de



obra calificada, generando así más empleo a la población en condición de pobreza extrema, por último, cumple con todas las características del gavión tradicional. Las desventajas que presenta este muro de contención eco-ambiental son: El porcentaje de vacíos del gavión relleno con roca es de 30 a 35%, en cambio el porcentaje de vacíos del gavión relleno con geobotellas es de 50%, otra desventaja está en el proceso constructivo, debido a que el tamaño de las geobotellas limita la dimensión de la caja de gavión a utilizar por la configuración de llenado, asimismo limita el tamaño de la malla de gavión, debido a que la cara de la botella que colinde con la malla debe ser superior por lo menos en 3 cm. Finalmente, una limitación que presenta este sistema es que no tiene reglamentación para determinar su diseño, análisis y construcción.



## VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el diámetro central o longitud de las geobotellas que limitan con las caras de la caja de gavión sea por lo menos 3cm mayor a las aberturas de la malla del gavión.
2. Se recomienda ampliar los estudios a las geobotellas, realizando ensayos de desgaste, durabilidad ante la radiación solar, entre otros.
3. Para tener información técnica especializada del uso de las geobotellas en gaviones, se recomienda realizar más investigaciones a las propiedades físicas y mecánicas (peso específico, resistencia mecánica, ensayo de resistencia a la abrasión y absorción de agua) variando el material de relleno de las botellas PET.
4. Se recomienda realizar investigaciones similares, a la actual, utilizando las geobotellas en un sistema de gavión tipo caja para presas filtrantes, defensas ribereñas entre otros. Asimismo, se recomienda optar por los gaviones tipo colchón y tipo saco, y variar las configuraciones de las geobotellas en el proceso de relleno del gavión. Para así de esta manera contribuir en la ejecución de proyectos sostenibles y cuidado del medio ambiente.



## VII. REFERENCIAS

- AASHTO. (2012). *LRFD Bridge desing specification*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aceros Metales y Mallas LTDA. (2019). *Gaviones triple torsión*.  
<https://gaviones.co/gavion-triple-torsion/>
- Aguilar, D. (2016). *Comparación técnica entre el uso de gaviones y geoceldas como estructuras de defensa ribereña* [Pontificia Universidad Catolica del Perú].  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6935>
- Almeida, P. (2010). *Obras de Contención*. Macaferri.
- Besana, D., & Ferrari, C. (2019). Building with plastic a new possible solution for the environment. *AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design*, 05, 73–82. <https://doi.org/10.19229/2464-9309/582019>
- Bianchini, A. (2017). *Gaviones - Sistemas de corrección fluvial - Muros de contención - Urbanismo*.
- Camargo, J., & Franco, V. (2001). *Manual de Gaviones*. Series del instituto de Ingeniería.
- Campos, M. (2017). *Ingeniería de perfil de una planta de pretratamiento de botellas PET y un sistema de recolección de residuos* [Universidad de Chile].  
[https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144513/Ingeniería-de-perfil-de-una-planta-de-pretratamiento-de-botellas-PET-y-un-sistema de-recolección-de.pdf?sequence=1](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144513/Ingeniería-de-perfil-de-una-planta-de-pretratamiento-de-botellas-PET-y-un-sistema-de-recolección-de.pdf?sequence=1)
- CAPECO. (2003). Costos y presupuestos de Edificación. In J. Ramos (Ed.), *Cámara Peruana de la construcción* (Octava). Colección del constructor.  
<http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/0228>. Costos y presupuestos en edificacion.pdf
- Cobos, R. (2016). El polietilén tereftalato (PET) como envase de aguas minerales. In



- Bol Soc Esp Hidrol Méd* (2nd ed., Vol. 31, pp. 179–190).  
<https://doi.org/10.23853/bsehm.2017.0212>
- Contreras, G., Guerrero, V., Hernández-Alcántara, A., Santiago, A., & Santamaría-Cuellar, M. (2015). Diseño y elaboración de adoquines de PET reciclado. *Ideas En Ciencia*, 24(44), 7–18.  
[http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/66911/REVISTA IDEAS\\_VOL\\_44\\_1\\_DISEÑO.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/66911/REVISTA_IDEAS_VOL_44_1_DISEÑO.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- De La Rosa, L., Guzmán, J., Mendoza, S., & Santiago, D. (2011). *Propuesta de un plan de negocio para reciclar botellas PET (Tereftalato de Polietileno) en el Estado de Oaxaca*. Instituto Politécnico Nacional.
- Díaz, R., Alegre, M., & Salvador, M. (2020). *Acelerando el cambio hacia una economía circular en plástico en Lima metropolitana y el callao* (Centro de Ecoeficiencia y responsabilidad social CER (ed.); Primera). Grupo GEA.  
[https://grupogea.org.pe/wp-content/uploads/2021/01/aechuec\\_compressed.pdf](https://grupogea.org.pe/wp-content/uploads/2021/01/aechuec_compressed.pdf)
- E. Llambías. (2001). *Geología de los cuerpos ígneos* (Ediciones Magna Publicaciones (ed.); primera). Ediciones Magna Publicaciones.  
<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Lib-125.pdf>
- Embajada del Perú. (2020). *Ubicación, geografía y clima*. Embajada Del Perú Suiza y Liechtenstein. <https://www.embaperu.ch/site/sobre-el-peru/informacion/peru-ubicacion-geografia-y-clima/>
- Escuadrón peruano de la prevención. (2018). *Los fenómenos naturales más comunes en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Gonzalez, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.
- Hijar, G., Bonilla, C., Munayco, C., Gutierrez, E., & Ramos, W. (2016). Fenómeno El



- Niño y desastres naturales: intervenciones en salud pública para la preparación y respuesta. *Rev Perú Med Exp Salud Pública*, 2(33), 300–310.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.332.2205>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Estado de la población peruana 2020*. INEI - UNFPA.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitaes/Est/Lib1743/Libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1743/Libro.pdf)
- Kowalski, A. (2013). Técnicas auxiliares de laboratorio. *Universidad de Granada*, 1–18.  
<http://www.ugr.es/~andyk/Docencia/TEB/Errores.pdf>
- M. Graterol. (2014). Las rocas como materiales en la construcción de las ciudades: Una perspectiva de la geología. *ACADEMIA*, XIII(2015), 1–10.
- Maccaferri. (2022). *Software GAWAC 3.0*. [https://www.maccaferri.com/br/es/gawac\\_3-0/](https://www.maccaferri.com/br/es/gawac_3-0/)
- Maccaferri. (2010). Gaviones y otras soluciones en malla hexagonal a doble torsión - Necesidades y soluciones. *Maccaferri*, 1–22.
- Maccaferri. (2014). *GAWACWIN - Guía para la elaboración de proyectos*.
- Mansilla-Pérez, L., & Ruiz-Ruiz, M. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Ingeniería Industrial*, 0(027), 123.  
<https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.627>
- Marín Galvín, R., Rosado Sanz, A., Paraira Faus, M., Carranza Egaña, I., Jimenez Jimenez, J. I., Perez-Baroja Verde, I., Parra Salmerón, M., Borrego, M., Pérez Recuerda, R., & Lacorte, S. (2019). Microplásticos en aguas: presencia , investigación y potencial incidencia sanitaria sobre el ser humano. *TecnoAqua*, n° 36-Ma, 76–86. [reportaje-microplasticos-aguas-presencia-investigacion-incidencia-sanitaria-humano-tecnoaqua-es \(1\).pdf](#)
- Ministerio de Agricultura y Riego MINAGRI. (2020). *Perfil ambiental del Perú*.



- <http://minagri.gob.pe/portal/datero/60-sector-agrario/introduccion/343-perfil-ambiental-del-peru>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción. *R.D. N° 22-2013-Mtc/14*, 615. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC\\_NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_10 EG 2013.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC_NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10 EG 2013.pdf)
- Mott, R. (2015). Mecánica de Fluidos. In *University of Dayton* (Septima). Pearson Educación.
- Núñez, J. (1987). El ingeniero Civil. *Public Civil*, 22.
- Núñez, J. (1988). El ingeniero civil. *Public Civil*, 27–30.
- O. Santos, Y. Sánchez, D. Fuentes, C. Peña, J. Díaz, & F. Hernández. (2021). Empleo de gaviones en la construcción de explanaciones. *Ciencia y Construcción* , 2, 1–14. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/74/69>
- Octavio Morón, A. (2000). Vista de Características del ambiente marino frente a la costa peruana. *Instituto Del Mar Del Perú IMARPE*, 19. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/152/141>
- Pareja paz soldan, J. (1936). *El clima del Perú*.
- Parisier, A. (2014). *Proyecto Final Diseño de una Máquina Compactadora de Botellas PET*.
- Parker, L. (2018). Ahogados en un mar de plástico. In <https://www.Nationalgeographic.Com.Es/Naturaleza/Grandes-Reportajes/Ahogados-> (p. 1 @ [www.nationalgeographic.com.es](http://www.nationalgeographic.com.es)). [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico\\_12712/1](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico_12712/1)
- PCM Presidencia del Consejo de Ministros. (2014). *Plan nacional del riesgo de desastres*



- PLANAGERD 2014-2021* (D. L. en la B. N. del P. N°2014-13227 (ed.); Primera).  
<http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2018/01/PLANAGERD.pdf>
- Pilco Villagra, J. A. (2012). *Uso de botellas reciclables PET y su aplicación en la estabilidad de taludes para suelos friccionantes en la ciudad de Puno - Perú 2011*. Universidad Nacional del altiplano.
- Piñar, R. (2008). *Proyecto de construcción de un muro de gaviones de 960 m3*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Pinto, G. G., Junior, P. S., & Gebely, A. (2021). *Gawac 3.0 - Gabion Wall Desing* (v. 1). Maccaferri.
- Portero, A. (2018). *Un planeta llamado Plástico - El Orden Mundial - EOM*. El Orden Mundial - EOM. <https://elordenmundial.com/contaminacion-plastico-planeta/>
- PRODAC. (2013). Soluciones para el control de erosión. *PRODAC*.
- PUCP. (2018a). *Formato de registro de datos del ensayo de compresión sin confinamiento*.
- PUCP. (2018b). *Formato de registro de datos del ensayo de tracción indirecta*.
- R. Whitlow. (1999). *Fundamentos de mecánica de suelos* (S. A. D. C. V. Continental (ed.); Segunda).
- Real, M. (n.d.). *Preparación y caracterización térmica y mecánica de mezclas PET-reciclado / Poliolefina*. 1–50.
- Ruiz Marcos, M. L. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Universidad de Lima - Ingeniería Industrial*, 27(27), 123–137.  
<https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.627>
- Ruiz Valencia, D., Pérez, C. L., Eliana, C., & Froese, A. (2012). Nuevas alternativas en la construcción: botellas pet con relleno de tierra. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 292–303.



- Schilling, L. (2014). *Making the Most (and least) of Marine Trash : Ocean Health Index*. Ocean Health Index.  
[http://www.oceanhealthindex.org/news/Making\\_Least\\_Most\\_Marine\\_Trash](http://www.oceanhealthindex.org/news/Making_Least_Most_Marine_Trash)
- Soluciones Prácticas, & ZURICH. (2012). *Gestión de inundaciones en Perú*. 12.
- Suarez, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. In *Control de erosión en zonas tropicales*.
- Suarez, J. (2012). Estructuras de Contención de Gravedad. In *Deslizamientos*.
- Suasnavas, D. (2017). *Degradación de materiales plásticos "PET" (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- V. Ramírez. (2002). *Estándares de calidad para el proceso de producción de botellas PET - no retornables*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Vargas, J., & Iwaki, C. (2014). Congreso Latinoamericano sobre "Patología de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio, REHABEND 2014. In *REHABEND* (Vols. 2014-April). University of Cantabria - Building Technology R and D Group.
- Vargas, R. (2013). *Análisis de la influencia de la variabilidad de los parámetros geotécnicos en el diseño geotécnico de muros de contención, utilizando el método Monte Carlo* [Pontificia Universidad Católica del Perú].  
[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4995/VARGAS\\_RUBEN\\_ANALISIS\\_VARIABILIDAD\\_PARAMETROS\\_GEOTECNICOS\\_MUROS\\_CONTENCION\\_METODO\\_MONTE\\_CARLO.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4995/VARGAS_RUBEN_ANALISIS_VARIABILIDAD_PARAMETROS_GEOTECNICOS_MUROS_CONTENCION_METODO_MONTE_CARLO.pdf?sequence=1)
- Vela, J., Robles, S., & Urrego, J. (2016). *Diseño de maquina multifuncional de reciclaje de botellas PET, para el aprovechamiento de material solido con potencial a ser reciclado en una Gestión integral de residuos sólidos*. (Issue 1) [Universidad



Distrital “Francisco José de Caldas”].

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4737/RoblesJiménezStivenHumberto2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Venkateswaran, K., MacClune, K., & Enríquez, M. F. (2017). El Niño Costero: Las inundaciones de 2017 en el Perú. *Zurich Flood Resilience Alliance*, 51. <http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/2594/4/Libro-PERC-nino-costero.pdf>



## ANEXOS

- ANEXO A** Guia de utilización del software GawacWin GSC 3.0 (Gabion wall Desing) elaborado por la empresa MACAFERRI
- ANEXO B** Constancia de ensayos de laboratorio de compresión uniaxial sin confinamiento y tracción indirecta de las geobotellas.
- ANEXO C** Procedimiento del análisis de estabilidad del muro del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 1
- ANEXO D** Procedimiento del análisis de estabilidad del muro del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 2
- ANEXO E** Procedimiento del análisis de estabilidad del muro del muro de contención eco-ambiental por el método convencional para el caso 3
- ANEXO F** Reporte del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 1
- ANEXO G** Reporte del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 2
- ANEXO H** Reporte del análisis de estabilidad del muro de contención eco-ambiental con el software GawacWin GSC para el caso 3
- ANEXO I** Desarrollo presupuestal para el muro de contención tradicional de gaviones rellenos con piedra
- ANEXO J** Desarrollo presupuestal para el muro de contención eco-ambiental de gaviones rellenos con geobotellas.