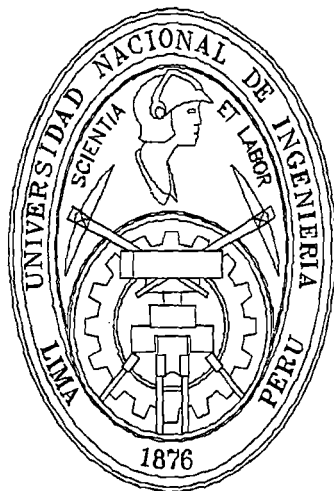


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**RESISTENCIA DE LA MALLA DEL GAVIÓN
AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO**

TESIS

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL**

ALEJANDRO CANO VALENCIA

Lima-Perú

2007

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

*Esta tesis está dedicada a mis padres por
su gran apoyo y paciencia y a la dueña
de mi corazón por su aliento incesante*

Agradecimientos

La culminación de esta investigación es fruto del trabajo, no solo del tesista (en este caso mi persona), sino de un grupo humano que de una u otra manera ha contribuido desinteresadamente en el desarrollo de esta tesis. Tal vez sin su apoyo no estaría redactando estas palabras y este trabajo quedaría inconcluso como muchos otros. Mi sincero agradecimiento a las siguientes personas:

Ingeniero Edgar Rodríguez Zubiato
Ingeniero Elsa Minaya Espinoza
Ingeniero José Carlos Cano Delgado
Ingeniero Luis De La Cruz Fallaque
Ingeniero José Aguilar Huertas
Ingeniero Ricardo Apaclla Salvarte
Ingeniero Sebastián Lazo Ochoa
Cristian Chacón Quispe
Edman Blas Villanueva
Flor Garrido Pinedo
Julio Cesar Huilla Bravo
Néxar Coronado Aldaz
Wilder Azañedo Sayán

Aprovecho la oportunidad para mostrar mi gratitud hacia el personal administrativo y técnico del Laboratorio Nacional de Hidráulica, el cual me brindó toda la ayuda posible.

Además, quisiera expresar un especial agradecimiento al ingeniero Javier Arancibia Alfaro y a la empresa PRODAC (Productos de Acero Cassado S.A) por confiar y apoyar esta investigación.

Resumen

La complejidad en el fenómeno “impacto de sólidos en los gaviones” y la poca información existente, nos obliga a restringir muchas variables y asumir muchas constantes, es decir, crear un modelo de este fenómeno si queremos representarlo y estudiarlo con el fin de obtener valores de resistencia (de la malla del gavión) seguros y confiables. De todos los efectos originados por los impactos de sólidos en las estructuras hechas a base de gaviones, esta tesis está enfocada en determinar la resistencia de la malla del gavión a un efecto específico: el aplastamiento por impacto, el cual es originado por sólidos (cuya característica principal es su alto grado de redondez).

Para determinar dicha resistencia en condiciones de laboratorio, nos basamos en los principios de la energía mecánica, es decir, la energía cinética con que impactan los sólidos en estructuras prototipo, la representamos y la controlamos en un modelo con la energía potencial. Los ensayos consistieron básicamente en dejar caer, a determinadas alturas, sólidos (impactadores de concreto y roca) sobre paños de malla del gavión (de 1 x 1 m.), apoyados sobre un piso empedrado (simulando el relleno del gavión) hasta obtener la ruptura del alambre de dichas mallas en determinadas zonas de análisis de los paños.

De estos ensayos, se puede decir, que la resistencia de las mallas del gavión al aplastamiento por impacto, depende básicamente de dos aspectos: el diámetro del alambre y la zona de impacto en la malla.

Los resultados de la presente investigación, pueden usarse como un criterio de selección del tipo de malla, que pueda resistir los impactos de sólidos, respetando las condiciones en que se realizaron los ensayos.

Abstract

The complexity in the phenomenon " impact of solids in the gabions" and the very little existent information, forces us to restrict many variables and to assume many constants, that is to say, to create a model of this phenomenon if we want to represent and study it with the purpose of obtaining sure and reliable resistance securities (of the mesh of the gabion).

Of all the effects originated by the impacts of solids in the structures made with gabions, this thesis is focused in determining the resistance of the mesh of the gabion to a specific effect: the squashing for impact, which is originated by solids (whose main characteristic is its high grade of roundness).

To determine this resistance under laboratory conditions, we base ourselves on the principles of the mechanical energy, that is to say, the kinetic energy which impacts the solids in the structures prototype. We represent it and control it in a model with the potential energy.

The tests consisted basically on allowing to fall, from certain heights, solids (impact balls made of concrete and rock) to areas of mesh of the gabion (of 1 m. x 1 m.), supported on a floor of pebbles (simulating the filler of the gabion) until obtaining the rupture of the wire of this meshes in certain areas of analysis of the cloths.

From these tests, one can say that the resistance of the mesh of the gabion to the squashing for impact, depends basically of two aspects: the diameter of the wire and the impact area in the mesh.

The results of the present investigation, can be used as a criterion for selection of the mesh type, that may resists the impacts of solids, respecting the conditions to that the tests were carried out.

LISTA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1.1 Composición química del acero A1 (en porcentaje).....	36
Cuadro 1.2 Resistencia a la tracción para un temple designado.....	36
Cuadro 1.3 Composición química del acero A2 (en porcentaje).....	37
Cuadro 1.4 Peso mínimo de revestimiento con aleación Zn-5 Al-MM por unidad de área sobre la superficie de alambre no revestido.....	37
Cuadro 1.5 Resistencia a la tracción para un temple designado.....	37
Cuadro 1.6 Peso mínimo revestimiento de Zinc (galvanizado).....	38
Cuadro 1.7 Peso (masa) mínimo de zinc por unida de área sobre la superficie de alambres no recubiertos (SI).....	38
Cuadro 1.8 Resistencia a la tracción para un temple designado.....	38
Cuadro 1.9 Requerimiento del recubrimiento R4.....	39
Cuadro 1.10 Aberturas de la mallas del gavión.....	40
Cuadro 1.11 Gavión caja.....	42
Cuadro 1.12 Gavión colchón.....	45
Cuadro 1.13 Gavión saco.....	47
Cuadro 1.14 Resistencia a la compresión de los gaviones.....	50
Cuadro 1.15 Ensayos de resistencia al corte.....	51
Cuadro 1.16 Cargas de ruptura en tensión paralela a la torsión.....	52
Cuadro 1.17 Cargas de ruptura en tensión ortogonal a la torsión.....	53
Cuadro 1.18 Requisitos de resistencia mínimos de conexiones.....	53
Cuadro 1.19 Promedio mínimo de resistencia al corte.....	54
Cuadro 1.20 Tensiones tangentes críticas para gaviones caja y colchón.....	66
Cuadro 1.21 Velocidad crítica y velocidad límite para gaviones caja y colchón.....	68
Cuadro 1.22 Coeficientes de Manning (n) para recubrimientos con gaviones caja, colchón y malla de gavión.....	70
Cuadro 2.1 Clasificación de partículas (escala de Wentworth).....	93
Cuadro 4.1 Características y número de muestras ensayadas.....	135
Cuadro 4.2 Características de los impactadores.....	135
Cuadro 4.3 Energías máximas de impacto en zona 1.....	136
Cuadro 4.4 Máximas energías de impacto, malla DT80X100Ø2.4A2R2.....	137
Cuadro 4.5 Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø2.4A2R2, muestra A.....	138
Cuadro 4.6 Máximas energías de impacto, malla DT80X100Ø2.7A2R2.....	141

Cuadro 4.7	Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø2.7A2R2, mA.....	142
Cuadro 4.8	Máximas energías de impacto, malla DT80X100Ø3.0A2R2.....	145
Cuadro 4.9	Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø3.0A2R2, mA.....	146
Cuadro 4.10	Máximas energías de impacto, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4...	149
Cuadro 4.11	Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mA.....	150
Cuadro 4.12	Energías de falla promedios y representativas en zona 2.....	153
Cuadro 4.13	Energía de falla, malla DT80X100Ø2.4A2R2.....	154
Cuadro 4.14	Energías de impacto, temperaturas y deformaciones, malla DT80X100Ø2.4A2R2, mB.....	156
Cuadro 4.15	Energía de falla, malla DT80X100Ø2.7A2R2.....	158
Cuadro 4.16	Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø2.7A2R2, mB.....	160
Cuadro 4.17	Energía de falla, malla DT80X100Ø3.0A2R2.....	162
Cuadro 4.18	Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø3.0A2R2, mB.....	164
Cuadro 4.19	Energía de falla, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4.....	167
Cuadro 4.20	Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mB.....	169
Cuadro A.1	Clasificación de la rocas.....	180
Cuadro D.1	E vs. ΔT , malla DT80x100Ø2.4A2R2, mA, EC-A.....	185
Cuadro D.2	E vs. ΔT , malla DT80x100Ø2.4A2R2, mA, R-7.....	186
Cuadro D.3	E vs. $\Delta \emptyset$, malla DT80x100Ø2.4A2R2, mA, EC-A.....	186
Cuadro D.4	E vs. $\Delta \emptyset$, malla DT80x100Ø2.4A2R2, mA, R-7.....	187
Cuadro D.5	E vs. ΔT , malla DT80x100Ø2.7A2R2, mA, EC-C.....	187
Cuadro D.6	E vs. ΔT , malla DT80x100Ø2.7A2R2, mA, R-7.....	188
Cuadro D.7	E vs. $\Delta \emptyset$, malla DT80x100Ø2.7A2R2, mA, EC-C.....	188
Cuadro D.8	E vs. $\Delta \emptyset$, malla DT80x100Ø2.7A2R2, mA, R-7.....	189
Cuadro D.9	E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.0A2R2, mA, EC-F.....	189
Cuadro D.10	E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.0A2R2, mA, R-7.....	190
Cuadro D.11	E vs. $\Delta \emptyset$, malla DT80x100Ø3.0A2R2, mA, EC-F.....	190
Cuadro D.12	E vs. $\Delta \emptyset$, malla DT80x100Ø3.0A2R2, mA, R-7.....	191
Cuadro D.13	E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.8A2R2R4, mA, EC-F.....	191
Cuadro D.14	E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.8A2R2R4, mA, R-7.....	192

Cuadro D.15 E vs. $\Delta\emptyset$, malla DT80x100 \emptyset 3.8A2R2R4, mA, EC-F.....	192
Cuadro D.16 E vs. $\Delta\emptyset$, malla DT80x100 \emptyset 3.8A2R2R4, mA, R-7.....	193
Cuadro D.17 E vs. ΔT , malla DT80x100 \emptyset 2.4A2R2, mB, EC-B.....	194
Cuadro D.18 E vs. ΔT , malla DT80x100 \emptyset 2.7A2R2, mB, EC-C.....	195
Cuadro D.19 E vs. ΔT , malla DT80x100 \emptyset 3.0A2R2, mB, R-7.....	195
Cuadro D.20 E vs. ΔT , malla DT80x100 \emptyset 3.0A2R2, mB, EC-E.....	196
Cuadro D.21 E vs. ΔT , malla DT80x100 \emptyset 3.0A2R2, mB, R-6.....	196
Cuadro D.22 E vs. ΔT , malla DT80x100 \emptyset 3.8A2R2R4, mB, EC-F.....	197
Cuadro D.23 E _F , malla DT80X100 \emptyset 2.4A2R2.....	198
Cuadro D.24 E _F , malla DT80X100 \emptyset 2.7A2R2.....	199
Cuadro D.25 E _F , malla DT80X100 \emptyset 3.0A2R2.....	200
Cuadro D.26 E _F , malla DT80X100 \emptyset 3.8A2R2R4.....	201

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1 El gavión (gavión caja).....	27
Figura 1.2 Gavión caja.....	30
Figura 1.3 Tirantes para gaviones.....	31
Figura 1.4 Cubierta espiral.....	32
Figura 1.5 Gavión caja.....	33
Figura 1.6 Gavión colchón.....	33
Figura 1.7 Gavión saco.....	34
Figura 1.8 Malla metálica de gavión electrosoldada.....	34
Figura 1.9 Malla metálica de gavión a doble torsión.....	35
Figura 1.10 Malla de gavión HDPE.....	35
Figura 1.11 Alambre de acero (A1 o A2) con recubrimiento de Zinc- Aluminio (R1 o R2).....	39
Figura 1.12 Alambre de acero (A1 o A2) con 1er recubrimiento (R1 o R2) y 2do recubrimiento (R4).....	39
Figura 1.13 Cocada de malla a doble torsión.....	40
Figura 1.14 Cocada de malla electrosoldada.....	40
Figura 1.15 Dimensiones del gavión caja.....	44
Figura 1.16 Dimensiones del gavión colchón.....	46
Figura 1.17 Dimensiones del gavión saco.....	47
Figura 1.18 Resistencia a la abrasión húmeda de los alambres de las mallas de los gaviones.....	56
Figura 1.19 Resistencia a la corrosión de los revestimientos metálicos.....	57
Figura 1.20 Principales fallas de los muros de contención hechos con gaviones.....	62
Figura 1.21 Esquema del movimiento de las piedras en el interior del gavión..	68
Figura 1.22 Esquema del flujo del agua en el interior de los gaviones.....	69
Figura 1.23 Valores de las máximas velocidades para suelos cohesivos.....	71
Figura 1.24 Paneles del gavión caja.....	74
Figura 1.25 Detalle de utilización del encofrado.....	75
Figura 1.26 Llenado de un gavión con 1.0 m de altura.....	76
Figura 1.27 Detalle de la conformación del colchón.....	78
Figura 1.28 Detalle del tirante vertical.....	79
Figura 1.29 Llenado del gavión colchón.....	80
Figura 1.30 Amarre y cierre de las extremidades del gavión saco.....	81

Figura 4.10	Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø3.0A2R2, mA.....	147
Figura 4.11	Energía vs. deformación, malla DT80X100Ø3.0A2R2, mA.....	148
Figura 4.12	Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mA.....	151
Figura 4.13	Energía vs. deformación, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mA.....	152
Figura 4.14	Energía vs. temperatura, malla DT80x100Ø2.4A2R2, mB.....	157
Figura 4.15	Energía vs. temperatura, malla DT80x100Ø2.7A2R2, mB.....	161
Figura 4.16	Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø3.0A2R2, mB.....	166
Figura 4.17	Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mB.....	170
Figura A	Energías de falla representativa, zona 2.....	171
Figura A.1	Distribución de rocas en piso empedrado.....	180
Figura B.1	Plancha Metálica.....	181
Figura B.2	Perfil con perforaciones.....	181
Figura B.3	Parante tubular.....	181
Figura C.1	Detalle de la abertura de la malla del gavión.....	182
Figura E.1	V vs. m, malla DT80X100Ø2.4A2R2.....	202
Figura E.2	V vs. m, malla DT80X100Ø2.7A2R2.....	203
Figura E.3	V vs. m, malla DT80X100Ø3.0A2R2.....	204

LISTA DE FOTOS

	Pag.
Foto 1.1 Ensayo de resistencia al corte.....	58
Foto 1.2 Ensayo de punzonamiento.....	58
Foto 1.3 Ensayo de compresión.....	58
Foto 1.4 Ensayo de abrasión húmeda.....	59
Foto 1.5 Ensayo de corriente alterna (espectroscopia).....	59
Foto 3.1 Construcción de muro tipo gavión par el control del deslizamiento de rocas o pequeños deslizamientos.....	112
Foto F.1 Gavión caja (ensayos preliminares).....	205
Foto F.2 Impactadores (ensayos preliminares).....	205
Foto F.3 Pruebas de impacto (ensayos preliminares).....	206
Foto F.4 Aplastamiento por impacto (ensayos preliminares).....	206
Foto F.5 Corte por impacto (ensayos preliminares).....	207
Foto F.6 Base del piso empedrado.....	207
Foto F.7 Colocación de los cantos rodados.....	207
Foto F.8 Piso empedrado terminado e identificado.....	208
Foto F.9 Soporte metálico.....	208
Foto F.10 Cartabón de corredera (pie de Rey).....	208
Foto F.11 Termómetro electrónico.....	209
Foto F.12 Balanza electrónica.....	209
Foto F.13 Molde de los impactadores de concreto.....	209
Foto F.14 Impactadores de concreto (A,B,C,D,E y F).....	210
Foto F.15 Impactadores de roca (R-6 y R-7).....	210
Foto F.16 Paños de la malla de gavión (1x1m).....	211
Foto F.17 Medición de la abertura de la malla.....	211
Foto F.18 Medición del diámetro del alambre de la malla.....	212
Foto F.19 Medición del alambre de la malla recubierta con PVC.....	212
Foto F.20 Medición del alambre de la malla recubierta sin PVC.....	213
Foto F.21 Ensayo con impactador de concreto.....	213
Foto F.22 Ensayo con impactador de roca.....	214
Foto F.23 Deformación en zona 1, malla DT80X100Ø2.4A2R2.....	214
Foto F.24 Deformación en zona 1, malla DT80X100Ø2.7A2R2.....	214
Foto F.25 Deformación en zona 1, malla DT80X100Ø3.0A2R2.....	215
Foto F.26 Deformación en zona 1, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4.....	215
Foto F.27 Falla en la zona 2, malla DT80X100Ø2.4A2R2.....	216

Foto F.28 Falla en la zona 2, malla DT80X100Ø2.7A2R2.....	216
Foto F.29 Falla en la zona 2, malla DT80X100Ø3.0A2R2.....	217
Foto F.30 Falla en la zona 2, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4.....	217

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- A** Evento que contiene un cierto número de eventos simples de Ω .
- A** Área de la sección de corte.
- A_D** Área de la sección normal a FD.
- A_L** Área de la sección normal a FL.
- Al** Alto del gavión.
- An** Ancho del gavión.
- a1, a2** Distancias.
- a₀, a₀[′], a₁, a₂** Constantes.
- A1, A2** Tipos de acero del alambre de la malla del gavión.
- B** Distancia paralela de separación de los alambres torsionados.
- C** Coeficiente de Chezy.
- C_D** Coeficiente de draga.
- C.H.R** Contorno hidráulicamente rugoso.
- C.H.L** Contorno hidráulicamente liso.
- C_L** Coeficiente de levantamiento.
- cm** Centímetro.
- d** Diámetro de la partícula.
- d₅₀** Diámetro de la partícula correspondiente al 50% en una curva granulométrica.
- D** Distancia entre alambres en las mallas electrosoldadas.
- D** Distancia perpendicular de separación de los alambres torsionados.
- D** Diámetro del gavión saco.
- D** Profundidad hidráulica.
- D_{K-S}** Valor crítico de la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov.
- d_m** Diámetro medio del material de relleno del gavión.
- d_m** Diámetro medio del análisis granulométrico del material de fondo.
- D_{MÁX}** Máximo valor de la función normal.
- DT** Malla del gavión tejida a doble torsión.
- e** Número trascendental cuyo logaritmo natural es la unidad.
- E** Energía de impacto.
- E_C** Energía cinética del sólido.
- E_{C_A}** Energía cinética en el punto A (punto B).
- EC-A** Impactador de concreto con forma esférica A (B, C, E, F).

- E_F** Energía de falla.
- $E_{F\%}$** Valor de energía de falla que espera ser superado por un determinado porcentaje del total de valores de energía de falla existentes.
- E_M** Energía mecánica del sólido.
- Em_A** Energía mecánica en el punto A (punto B)
- E_P** Energía potencial del sólido.
- Ep_A** Energía potencial en el punto A (punto B).
- ES** Malla del gavión electrosoldada.
- F_D** Fuerzas horizontales de empuje.
- FD** Fuerza de draga.
- $f(F)$** Función de rozamiento.
- fi** Frecuencia absoluta.
- FL** Fuerza de levantamiento.
- F_R** Fuerzas horizontales resistentes.
- Fr** Componente de la fuerza de fricción.
- $F.S$** Factor de seguridad.
- $F(x)$** Probabilidad de Weibull acumulada.
- $f(x, \theta)$** Distribución de una variable aleatoria.
- $f_0(x, \theta)$** Distribución que se supone sigue la muestra aleatoria.
- $F(z)$** Función distribución normal.
- $f_1()$** Función.
- g** Aceleración de la gravedad.
- g** Gramos.
- G** Módulo tangencial.
- h** Distancia del fondo donde se calcula el esfuerzo de corte.
- h** Distancia entre la superficie de la malla y la base del impactador izado.
- HDPE** Siglas en ingles de polietileno de alta densidad.
- H_{MAX}** Deflexión máxima.
- H** Altura o profundidad de la depresión.
- H** Altura de caída referencial, que incluye el diámetro del impactador.
- hr** Horas.
- h_1** Lado de la cara del cubo ortogonal a la dirección del flujo.
- H_0** Hipótesis inicial.

H₁	Hipótesis alternativa.
J	Momento de inercia del bloque de roca.
J	Joules.
k	Rugosidad absoluta.
K	Constante.
kg	Kilogramo.
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado.
kg/m	Kilogramo por metro.
kN	Kilo Newton.
kN/m	Kilo Newton por metro.
k1, k2, k3	Factores de forma.
l	Valor libre entre los apoyos.
L	Longitud del gavión.
L	Longitud del prisma paralelo a la dirección del flujo
lb	Libras.
Ln	Logaritmo natural.
m	Metros.
m	Masa del sólido.
mA	Muestra de la malla del gavión A (B, C, D, E, F).
mm	Milímetros.
M_o	Momentos de fuerzas actuantes.
mph	Millas por hora.
MPa	Mega Pascal.
M_R	Momentos de fuerzas resistentes.
n	Coefficiente de Manning.
n	Número de diafragmas (gavión caja).
n	Número de celdas (gavión colchón).
n	Número de valores o datos.
n	Número de impactos en una misma zona.
N	Newton.
N	Número de elementos de Ω .
n_f	Coefficiente de rugosidad del fondo.
oz	Onzas.
P(A)	Probabilidad de ocurrencia de un evento A.

P_{MAX}	Fuerza máxima.
psi	Siglas en ingles de libra por pulgada cuadrada.
$pulg$	Pulgadas.
PVC	Policloruro de vinilo.
P_w	Probalidad de Weibull.
Q	Caudal.
q	Capacidad de carga admisible sobre la sección de gavión en análisis.
q_{MAX}	Esfuerzo máximo sobre el gavión con piedras.
q_{max}	Capacidad máxima de presión sobre el suelo de fundación.
q_{ii}	Capacidad última de apoyo del suelo de fundación.
r	Coefficiente de correlación de Pearson.
R	Radio hidráulico.
R	Número de elementos de A.
R_e	Índice de inestabilidad.
RI	Roca ígnea.
$R1$	Recubrimiento con zinc y aluminio al alambre de la malla de gavión.
$R2, R3$	Recubrimiento con zinc al alambre de la malla de gavión.
$R4$	Recubrimiento con PVC al alambre de la malla de gavión.
$R-6$	Impactador de roca 6 o 7.
S	Pendiente.
SI	Sistema internacional de medidas.
SAE	Siglas en ingles de la sociedad de ingenieros automotores.
SF	Función de escala.
$s.f$	Factor de forma.
S, S_x, S_y	Desviación estándar de los valores o grupo de datos.
S^2, S_x^2, S_y^2	Varianza de los valores o grupo de datos.
S_{xy}	Covarianza de dos grupo de datos.
t	Espesor del gavión colchón.
t	Tiempo.
T	Tonelada.
T	Fuerza de corte sobre la sección de gavión en análisis.
T_{adm}	Fuerza de corte admisible sobre la sección de gavión en análisis.
T_i	Temperatura inicial.

T_F	Temperatura final.
V	Velocidad media.
V	Velocidad del sólido.
V_b	Velocidad en las interfases del gavión colchón y fondo.
V_C	Velocidad crítica.
V_e	Velocidad admisible.
V_h	Velocidad a la distancia h del fondo.
V_{N1}	Componente normal de la velocidad antes del choque.
V_{N2}	Componente normal de la velocidad después del choque.
V_{T1}	Componente tangencial de la velocidad antes del choque.
V_{T2}	Componente tangencial de la velocidad después del impacto.
V.O.A	Valores ordenados en forma ascendente.
V_X	Componente horizontal de la velocidad del bloque.
V_Y	Componente vertical de la velocidad del bloque.
V_*	Velocidad de corte.
$V_{0.05xn}$	Valor de energía de falla con orden igual a $0.05 \times n$.
w	Velocidad de caída de una partícula dentro de un flujo.
W	Peso de la partícula sólida.
x	Variable.
x'	Variable alterna.
\bar{X}	Media aritmética de los valores o grupo de datos.
X_0	abcisa del punto donde el bloque de roca se desprende del talud o golpea en el movimiento de caída.
y	Tirante.
y	Variable.
y'	Variable alterna.
\bar{Y}	Media aritmética de los valores o grupo de datos.
Y_0	Ordenada del punto donde el bloque de roca se desprende del talud o golpea en el movimiento de caída.
Z	Variable reducida de la función distribución normal.
ΔT	Variación de la temperatura.
Δz	Distancia vertical entre el punto más bajo y el más alto de la superficie asumida por las piedras.
$\Delta \emptyset$	Variación del diámetro del alambre.

Ω	Espacio muestral.
α	Nivel de significancia.
α	Ángulo de inclinación del margen.
δ	Espesor de la subcapa laminar.
ϕ	Ángulo de fricción interna de la partícula.
γ	Peso específico del agua.
γ_s	Peso específico del sólido.
κ	Constante de Karman.
λ_N	Coefficiente de restitución normal.
λ_T	Coefficiente de restitución tangencial.
ν	Viscosidad cinemática.
θ	Ángulo de inclinación del terreno.
ρ_s	Densidad del sólido.
τ_{MAX}	Tensión tangencial máxima.
τ_0	Esfuerzo de corte sobre el fondo del canal.
$\tau_{0,C}$	Esfuerzo tractivo crítico.
τ_c^*	Parámetro de Shields.
τ_h	Esfuerzo de corte a la altura "h", medida desde el fondo.
τ_M	Esfuerzo de corte en la margen del canal.
$\tau_{M,C}$	Esfuerzo tractivo crítico en la margen del canal.
τ_{MAX}	Tensión tangencial máxima.
ω_1	Velocidad angular antes del impacto.
ω_2	Velocidad angular después del impacto.
ψ	Angulo de reposo del material de relleno.
$^{\circ}C$	Grados Celsius.
$^{\circ}F$	Grados Fahrenheit.
\emptyset	Diámetro del impactador.
\emptyset	Diámetro nominal del alambre de la malla del gavión.
\emptyset_I	Diámetro inicial del alambre.
\emptyset_F	Diámetro final del alambre.

Introducción

Las obras de protección contra acciones de la naturaleza en el Perú, a veces, son construidas con el desconocimiento de las propiedades de estos sistemas de protección y de los materiales que las conforman, dando resultados no siempre satisfactorios.

Uno de estos sistemas de protección son los gaviones, sistema basado en mallas metálicas que contienen rocas de tamaño medio. Los gaviones, tienen muchas aplicaciones, dentro de las cuales se encuentran: los muros contra el caído de rocas y las defensas ribereñas; estas estructuras están sometidas a diferentes solicitaciones, de las cuales una de ellas es el impacto. Con respecto al impacto de sólidos en estructuras hechas a base de gaviones, no se conoce estudio alguno en nuestro país, mas bien se tienen registros de experiencias no gratas utilizando este sistema.

Pero, ¿soportan los gaviones los impactos de sólidos?, ¿se recomienda usarlos ante la presencia de impactos de sólidos? Si no conocemos las propiedades de los materiales, que conforman al gavión, frente a los impactos de sólidos, no podemos responder estos cuestionamientos. Ante la falta de información respecto al impacto de sólidos, se tiende a descartar este sistema, pues si no se utiliza, no existirá riesgo de falla de los mismos.

Ante esta falta de información, esta investigación muestra algunos de los comportamientos del gavión ante el impacto de sólidos e identifica las variedades de estos comportamientos. De las variedades de comportamientos que pudieran existir, esta tesis toma como objetivo el determinar la resistencia de la malla del gavión a un comportamiento específico: el aplastamiento por impacto, el cual es originado por sólidos (cuya característica principal es su alto grado de redondez) que impactan en la malla del gavión, la cual tiene como soporte al relleno del gavión.

La presente tesis consta de cuatro capítulos, los cuales tratan de mostrar, en forma simple, los agentes involucrados en el fenómeno de impacto de sólidos.

Debido a la importancia de entender al gavión, el primer capítulo trata acerca de él, definiéndolo, conociendo sus componentes, sus variedades, sus usos, las propiedades físico-químico-mecánicas, los criterios de diseño y finalmente los procesos constructivos.

En el capítulo dos se explica, de manera muy breve, la mecánica del transporte sólido fluvial (las modalidades de transporte de los sedimento, los criterios de iniciación de movimiento y distribución de velocidades en un río). Conociendo esta mecánica se puede estimar la magnitud de impacto de un sólido que es transportado dentro de un curso de agua. Finalmente se muestran los diferentes comportamientos de las estructuras hidráulicas, hechas a base de gaviones, frente a la acción del impacto de sólidos.

En el tercer capítulo, se describe en forma sucinta los procesos de deterioro en los taludes, en particular, el caído de rocas. Se describe las medidas de protección contra el caído de rocas, entre la que destaca las barreras hechas a base de gaviones. Para el diseño de estas estructuras de protección, se debe tomar en cuenta la energía de impacto de los sólidos en movimiento (caído de rocas); para cuantificar estos impactos, existen metodologías, las cuales se describen en forma muy breve. En la parte final del capítulo, se detalla los diferentes comportamientos en las estructuras, hechas a base de gaviones, frente a la acción del impacto de sólidos

En el capítulo cuatro se plantea el modelo a ser utilizado en los ensayos de impacto, se explica la metodología para ensayar algunas variedades de malla del gavión y se muestran los resultados de dichos ensayos; además se detallan algunos datos adicionales como la variación de temperatura y la deformación del alambre en función de la energía de impacto.

Finalmente se desea con esta investigación dar inicio al estudio del gavión frente al impacto de sólidos y considerar así al gavión como una alternativa de sistema de protección frente a estos impactos.

Índice

	Pag.
Resumen.....	04
Abstract.....	05
Lista de cuadros.....	06
Lista de figuras.....	09
Lista de fotos.....	12
Lista de símbolos y siglas.....	14
Introducción.....	20
Índice.....	22
Capítulo 1: El gavión.....	25
1.1 Generalidades.....	26
1.1.1 Usos.....	27
1.1.2 Características de las estructuras con gaviones.....	28
1.1.3 El gavión y sus componentes.....	30
1.1.4 Clasificación.....	32
1.1.5 Resumen de clasificación.....	41
1.2 Propiedades físico-químico-mecánicas.....	48
1.2.1 Propiedades mecánicas.....	48
1.2.2 Propiedades físicas de las malla de los gaviones.....	54
1.2.3 Propiedades químicas (resistencia a la corrosión).....	57
1.2.4 Fotografías de los ensayos de las propiedades de los gaviones.....	58
1.3 Criterios de diseño.....	60
1.3.1 Criterios de diseño de los muro de contención a base de gaviones...	61
1.3.2 Recubrimiento de estructuras hidráulicas con gaviones.....	65
1.4 Armado y colocación del gavión "in situ".....	72
1.4.1 Generalidades.....	72
1.4.2 Como colocar los gaviones tipo caja.....	73
1.4.3 Como colocar los gaviones tipo colchón.....	77
1.4.4 Como colocar los gaviones tipo saco.....	80

Capítulo 2: Impacto de sólidos en estructuras hidráulicas a base de gaviones...	84
2.1 La iniciación de movimiento de los sedimentos	85
2.1.1 Esfuerzo cortante crítico sobre lechos granulares	87
2.1.2 Velocidad media crítica sobre lechos granulares.....	90
2.3 Distribución de velocidades en una sección de río.....	94
2.4 Metodología para cuantificar las magnitudes de impacto.....	96
2.5 Comportamiento del gavión ante el impacto de sólidos.....	98
2.5.1 Comportamiento del gavión según el impactador.....	99
2.5.2 Comportamiento del gavión según el elemento impactado.....	101
2.5.3 Comportamiento del gavión según el relleno del mismo.....	103
Capítulo 3: Impacto de sólidos en estructuras de control de erosión a base de gaviones.....	104
3.1 Procesos en la etapa de deterioro de taludes.....	105
3.2 Desprendimiento de rocas (caído de rocas).....	108
3.3 Tipos de estructuras para la protección contra la caída de rocas.....	109
3.4 Metodología para cuantificar las magnitudes de impacto.....	113
3.4.1 Método Lumped Mass.....	114
3.4.2 Método de cálculo CRSP.....	116
3.5 Comportamiento del gavión ante el impacto de sólidos.....	119
Capítulo 4: Ensayos.....	120
4.1 Objetivo.....	121
4.2 Antecedentes y referencias.....	121
4.3 Modelo de impacto de sólidos en gaviones.....	121
4.3.1 Aplastamiento de la malla del gavión por impacto.....	122
4.3.2 Zonas de impacto en la malla del gavión.....	124
4.3.3 Magnitud de impacto.....	124
4.4 Equipos y aparatos.....	126
4.5 Espécimen.....	129
4.6 Metodología de ensayo.....	130
4.6.1 Pasos a seguir.....	130
4.6.2 Número de ensayos.....	132
4.7 Análisis y expresión de resultados.....	132
4.8 Ensayos de la malla del gavión al aplastamiento por impacto.....	135
4.8.1 Ensayos en zona 1.....	136

4.8.2 Ensayos en zona 2.....	153
Conclusiones.....	171
Recomendaciones.....	173
Bibliografía.....	175
Anexos.....	179
A. Características del piso empedrado.....	180
B. Detalle del soporte metálico.....	181
C. Probabilidades de impacto en la malla del gavión.....	182
D. Notas de cálculo.....	184
D.1 Ecuaciones y fórmulas utilizadas.....	184
D.2 Cálculos para obtener las líneas tendencia y coeficientes de correlación de Pearson en los ensayos - zona 1.....	185
D.3 Cálculos para obtener las líneas tendencia y coeficientes de correlación de Pearson en los ensayos - zona 2.....	194
D.4 Cálculos para obtener los valores de energía de falla representativos en los ensayos - zona 2.....	198
E. Curvas velocidad vs. Masa (selección de la malla del gavión resistente al aplastamiento por impacto).....	202
F. Panel fotográfico.....	205
G. Hojas de datos de los ensayos.....	218

Capítulo 1

El Gavión

Uno de los primeros elementos que utilizó el hombre fue la piedra, la cual es usada hasta la actualidad en diferentes formas (estado natural o transformada). A través de los años, los cambios de las estructuras hechas a base de piedra, han necesitado de nuevos elementos y nuevas formas, que mejoren sus cualidades; una de estas formas es el "gavión".

La palabra *gavión* viene de la palabra italiana "Gabbione" que quiere decir "jaula grande". Los primeros registros del uso de este sistema se remontan a más de 2000 años, cuando los egipcios usaron cestos cilíndricos de sauce rellenos con piedras pequeñas para proteger las riberas del río Nilo contra la erosión. Este sistema fue utilizado aproximadamente hasta el siglo diecinueve, cuando el sauce fue reemplazado por mallas hechas de alambre tejido.

El uso de la piedra en el Perú está ligado a nuestra historia; nuestros antepasados (culturas preincas e incas) las utilizaron en diferentes formas como: viviendas, caminos, puentes y pontones, obras de arte, fortalezas, obras hidráulicas, etc. El uso más común de la piedra durante el incanato fue las pircas o percas, que era, según el uso, paredes hechas de piedras ciclópeas y piedras labradas (mayormente fueron hechas a base de rocas ígneas como la andesita y la granodiorita).

Las estructuras hidráulicas y de control de erosión, hechas a base de gaviones, están sometidas a diferentes solicitaciones, entre las cuales se encuentra el impacto de sólidos. Para entender el impacto de los en los gaviones, primero hay que conocer al gavión, por lo que en este primer capítulo hablaremos de sus usos, características, clasificaciones, propiedades, criterios de diseño y como trabajar con los gaviones en obra.

1.1 GENERALIDADES

Los gaviones son elementos modulares con formas variadas, confeccionados a partir de mallas (metálicas, polietileno, etc). Estas mallas pueden ser tejidas en aberturas hexagonales o rectangulares, donde la unión de estos elementos que conforman la malla puede ser la doble torsión o electrosoldada (en el caso de las mallas metálicas).

Una vez obtenida estas mallas, se unen entre sí mediante alambres atortolados los cuales forman un contenedor. Una vez armado este contenedor, son llenados con rocas de granulometría adecuada y cosidos juntos unos a otros, formando estructuras destinadas a la solución de problemas geotécnicos, hidráulicos y de control de erosión. El montaje y el llenado de estos elementos pueden ser realizados manualmente o con equipos mecánicos comunes.

Tener una definición exacta del gavión o clasificarlo de acuerdo a un parámetro es restringir las bondades del mismo, así como limitar sus funciones, beneficios etc.

La Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), en sus normas A 974-97 y A 975-97 definen al gavión como:

“Es el recipiente tejido de alambre, uniformemente dividido, de tamaño irregular, interconectado con otros recipientes similares, y relleno con la roca de la zona de trabajo, para formar estructuras flexibles, permeables, monolíticas como muros de contención, espigones, revestimientos del cauce, vertederos y en proyectos de control de erosión”

En la figura 1.1, se puede apreciar el típico gavión (gavión caja) usado en diferentes obras.

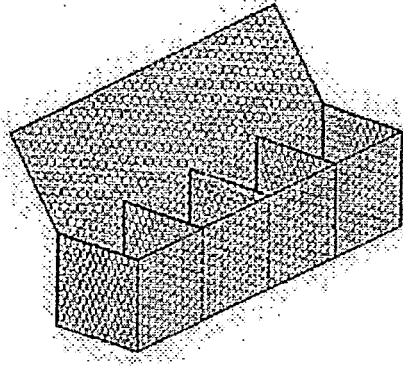


Figura 1.1 El gavión (gavión caja)

1.1.1 USOS

El gavión no debe ser considerado como un conjunto de elementos aislados acomodados uno junto al otro, sino como una estructura homogénea y monolítica que puede ser dimensionada, valorando todas las fuerzas en juego. Al tener este concepto claro, la gama de aplicaciones de los gaviones es muy diversa y solo es limitada por la imaginación del hombre.

Como todo material, este tiene sus limitaciones pero con investigaciones y nuevas tecnologías, los usos y desempeños del gavión pueden incursionar en muchas más áreas, dentro las cuales tenemos:

- Geotecnia (muros de contención)
- Hidráulica fluvial (muros de encausamiento, protección de riberas, diques, pequeñas presas, dissipadores de energía, espigones).
- Irrigación (canales).
- Apoyo y protección de puentes (pilares y bases).
- Drenaje (revestimiento de alcantarillas).
- Obras marinas (muelles, espigones).
- Control de erosión (barreas contra el caído de rocas)
- Obras de emergencia (diques).

1.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS CON GAVIONES

Los gaviones son una alternativa eficaz para las diferentes solicitaciones que se presentan. Los materiales que lo conforman son de fácil obtención o preparación y el proceso constructivo no necesita de personal altamente calificado

Una de las propiedades fundamentales del gavión es la deformabilidad, que, sin perder su funcionalidad, es esencialmente importante cuando la obra debe soportar grandes empujes del terreno y a la vez está fundada sobre suelos inestables o expuestos a grandes erosiones. Al contrario de las estructuras rígidas, el colapso no ocurre de manera repentina, lo que permite acciones de recuperación eficientes.

Entre sus principales características tenemos:

- *Estructuración armada:* Resistentes a diferentes tipos de solicitación, estando en condición de trabajar en el momento de la instalación.
- *Flexibilidad:* Las estructuras se encuentran en la capacidad de absorber incluso solicitaciones imprevistas y localizadas de carácter extraordinario.
- *Resistencia:* Los alambres de las mallas tienen la resistencia y la flexibilidad necesaria para soportar las fuerzas generadas por el comportamiento hidráulico del río y por los empujes de masas del terreno. Los alambres que conforman la malla del gavión tienen una resistencia a la tracción comprendida entre los 370 y 550 MPa, que les permite absorber los altos esfuerzos que pudiesen presentarse debido a grandes asentamientos diferenciales.
- *Drenaje:* Al estar constituidos por malla y piedras, los gaviones son estructuras altamente permeables, lo que impide que se

generen presiones hidrostáticas, eliminando uno de los factores principales de la inestabilidad de los mismos. Del mismo modo se constituyen como drenes que permiten la evacuación de las aguas, anulando la posibilidad de que se generen empujes desde la cara seca de la estructura. Se obtiene de esta manera, la mejora de las características físicas y mecánicas de los terrenos.

- *Economía:* Fácil de colocar en obra y su funcionamiento es casi inmediato. Los gaviones no requieren de mano de obra especializada. El costo de la estructura esta siempre en función de la distancia de la cantera de rocas, material que es usado para el llenado de gaviones. Para colocar los gaviones, el clima no es problema, además, se pueden colocar tanto en terreno seco como agua.
- *Resistencia a la corrosión:* Las mallas de los gaviones usados en el Perú, por lo general, están hechas a base de acero. Ello hace que estas mallas sean vulnerables a la acción electroquímica que produce la oxidación y el deterioro del acero. En condiciones particularmente agresivas o en ambientes marinos donde se produce un proceso rápido de corrosión, es posible contraatacar estas acciones con un recubrimiento adicional de PVC.
- *Resistencia a la abrasión:* El efecto abrasivo que se genera en un medio acuoso que contiene sólidos en suspensión, es un fenómeno que preocupa, ya que el desgaste continuo de las mallas, va mermando la resistencia a las sollicitaciones a las que están sometidas dichas mallas. La resistencia a la abrasión de la malla del gavión esta en función del material de que esta hecha la malla y la cantidad de la misma (diámetro del alambre).
- *Resistencia al impacto:* Este fenómeno, razón de la tesis, está relacionado con los sólidos en movimiento, tanto en los cauces de los ríos como en los taludes de los cerros. No se puede cuantificar la magnitud del daño causado por este fenómeno con exactitud

debido a que no existe gran información sobre el tema. Queda a criterio de los especialistas en gaviones, tomar en cuenta el impacto en análisis de sus diseños.

- **Ecológicas:** Las estructuras hechas con gaviones, juegan un papel importante en el medio ambiente natural, ya que las mismas se consolidan con el tiempo, debido al llenado de material fino entre los espacios vacíos de las mallas y a la progresiva colmatación de vegetación en las estructuras, dándole un acabado mucho más estético.

1.1.3 EL GAVIÓN Y SUS COMPONENTES

Como se ha expresado antes, los gaviones son estructuras conformadas por mallas que sirven para confinar rocas de regular tamaño, proceso mediante el cual se gana peso y volumen, permitiéndoles a los gaviones rellenos, oponerse y soportar los empujes geostáticos e hidrostáticos activos y/o a los embates de las corrientes y golpes de las rocas vinculados con los ríos.

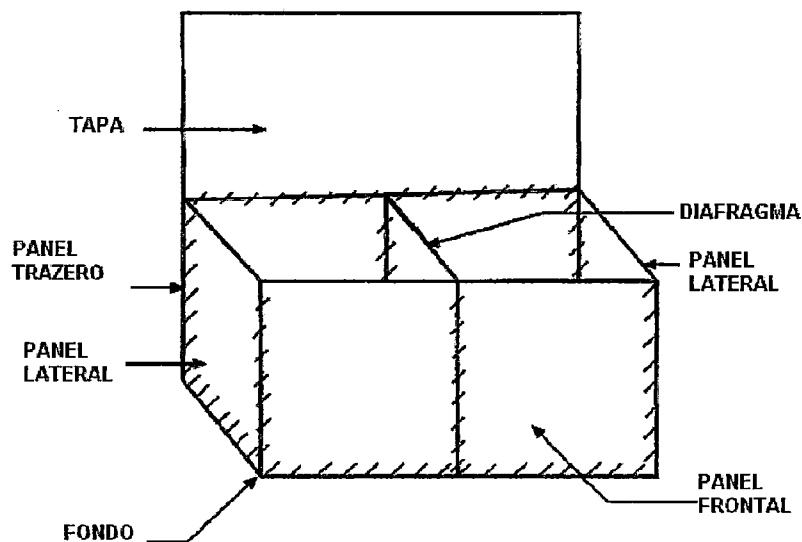


Figura 1.2 Gavión caja

Teniendo al gavión caja (en el inciso 1.1.4-A se detalla lo que es un gavión caja) como referencia, indicaremos las partes que lo conforman. En el caso de los gaviones colchón y saco haremos el apunte necesario. Los gaviones poseen componentes, los cuales describiremos a continuación

- *Paneles*: Como se puede apreciar en la figura 1.2, el gavión está formado varios paneles que van a ser unidos mediante alambres atortolados.
- *Diafragmas*: Es un panel que se ubica como separador o divisor del gavión de forma ortogonal a las caras del fondo y del panel frontal; divide a la longitud del gavión en partes iguales (generalmente van espaciado a 1 m, en el gavión caja).
- *Tirantes*: Los tirantes para gaviones, es un segmento de alambre (del mismo tipo del alambre de la malla), que se usa para soportar el frente; conectando el panel de la cara frontal con el panel de la cara trasera de un gavión. El tirante debe ser formado en el sitio de la obra, con alambre del mismo diámetro que el usado para los amarres, o cruzando las esquinas de cada celda en un gavión (los tirantes preformados deben tener un diámetro mayor al especificado para los tirantes que unen caras opuestas).

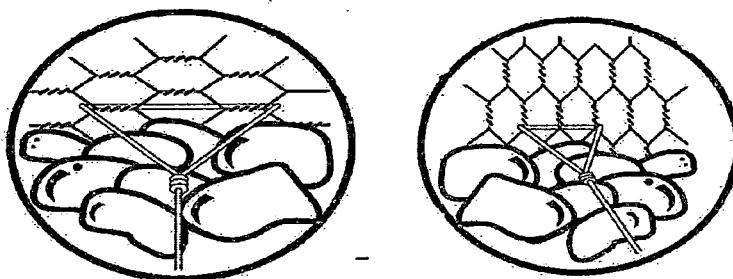


Figura 1.3 Tirantes para gaviones ⁽¹⁾

- *Alambre de amarre*: Es un alambre (del mismo tipo del alambre de la malla), que interconecta las unidades de los gaviones vacíos y

⁽¹⁾ MACCAFERRI. Como colocar los Gaviones Caja.

cierra y asegura las unidades llenas de piedra, se puede usar como una alternativa para la cubierta espiral.

Figura 1.4
Cubierta espiral



- *Cubierta espiral*: Es un alambre (del mismo tipo del alambre de la malla), el cual forma una escalera de caracol, usada para unir e interconectar las unidades del vacías de los gaviones, y cierra y asegura las unidades llenas de piedra, se puede usar como una alternativa para el alambre de amarre.
- *Alambre para aristas reforzadas*: Es un alambre de terminación, usado para bordear la malla de alambre perpendicular a la doble torsión, envolviendo los alambres de la malla mecánicamente alrededor de éste, por lo menos 2.5 veces o insertando el mismo a través de las torsiones y doblando una sola abertura de malla.
- *Alambre para aristas*: Es un alambre de terminación, usado para bordear la malla de alambre paralelamente a la doble torsión, tejiéndolo continuamente entre la malla de alambre.
- *Presillas*: Es una alternativa al método de amarre con alambre, usado en operaciones de unión para gaviones caja y gaviones colchones.

1.1.4 CLASIFICACIÓN

En nuestro medio los gaviones se pueden clasificar según:

- Las dimensiones y formas del gavión como contenedor
- El tejido de la malla del gavión

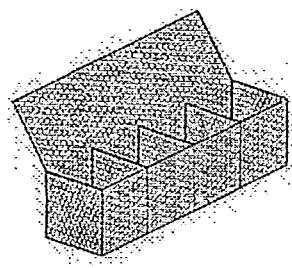
- El tipo de acero y de recubrimiento(s) del alambre de la malla del gavión
- La abertura de la malla del gavión

A) LAS DIMENSIONES Y FORMAS DEL GAVIÓN COMO CONTENEDOR

Los gaviones son contenedores de un material (por lo general son rocas). Estos contenedores pueden clasificarse según sus dimensiones relativas entre sí en:

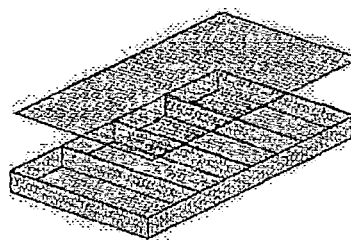
- *Gavión caja*: Es un contenedor de malla con celdas internas uniformemente repartidas y de dimensiones similares y ortogonales entre sí, para formar estructuras flexibles, permeables, monolíticas

Figura 1.5
Gavión caja



- *Gavión Colchón*: Es un contenedor de malla con celdas internas uniformemente repartidas y de altura relativamente pequeña en relación a las otras dimensiones, con aberturas de malla menores a las usadas en los gaviones caja. Estos gaviones generalmente son usados para revestimiento de canales y protecciones marginales.

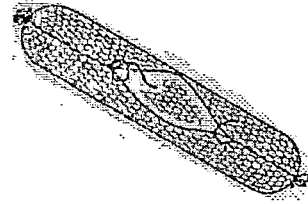
Figura 1.6
Gavión colchón



- *Gavión saco*: Existe un tercer tipo de gavión denominado saco, utilizado principalmente en obras de emergencia o en lugares

donde no es posible realizar una instalación en condiciones óptimas. A diferencia de los gaviones tipo caja o tipo colchón, los gaviones saco se arman fuera de la obra y con maquinaria pesada se colocan en su posición final.

Figura 1.7
Gavión saco

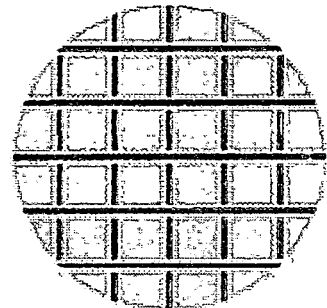


B) EL TEJIDO DE LA MALLA

Una de las características de la malla es como está tejida, es decir, como se unen los alambres que conforman la malla del gavión. Bajo ese criterio, podemos encontrar lo siguiente:

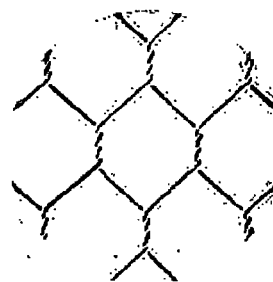
- *Malla de alambre soldado*: Los materiales componen una serie de alambres de acero longitudinales y transversales colocados substancialmente en ángulos rectos entre si, y soldados justo en los puntos de intersección por soldadura eléctrica para formar los paneles

Figura 1.8
Malla metálica de gavión
electrosoldada



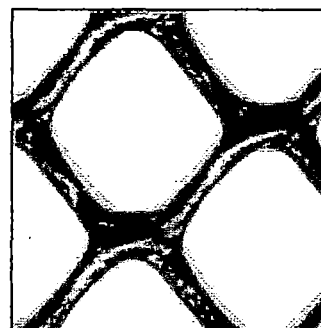
- *Malla de alambre a doble torsión*: Es una malla que no se desenreda, hecha a base de girar continuamente pares de alambres a través de tres medios giros (comúnmente llamado doble torsión), para dar forma a las aberturas hexagonales, las cuales después se interconectan a alambres adyacentes, dando forma así a las aberturas hexagonales.

Figura 1.9
Malla metálica de gavión
a doble torsión



- *Malla extruida (HDPE)*: Los gaviones de polietileno de alta densidad (HDPE) son fabricados con mallas extruidas. Las ventajas de los gaviones de polietileno radican en la bondad del material con el cual son fabricados, ya que el mismo es resistente a suelos ácidos y a ambientes marinos.

Figura 1.10
Malla de gavión HDPE ⁽¹⁾



C) EL TIPO DE ACERO Y DE RECUBRIMIENTO DEL ALAMBRE DE LA MALLA

Los alambres que conforman las mallas de los gaviones varían según:

- Composición del acero del alambre.
- Los recubrimientos del alambre.
- Los diámetros de los alambres (acero y recubrimientos incluidos).

Es debido a la variedad en la conformación de los alambres de las mallas; que las agrupamos a estas dos tipos de aceros (A1 y A2), y cuatro tipos de recubrimiento (R1, R2, R3 y R4), las cuales mostramos a continuación con sus respectivas características.

⁽¹⁾ NEXUS. Products. Civil Engineering Products. http://plastic-net.com/products_c.htm

- **Acero A1** “Alambre de acero carbono para malla a doble torsión”. El alambre de acero carbono para la fabricación de gaviones y para las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción, debe seguir las especificaciones de las normas: NBR 8964, ASTM A641 M-98. En los siguientes cuadros se muestran las dichas especificaciones:

Cuadro 1.1 Composición química del acero A1 (en porcentaje) ⁽¹⁾

Elementos	Contenido
Carbono	0.10 máximo
Manganeso	0.30 a 0.60
Silicio	0.15 a 0.30
Fósforo	0.04 máximo
Azufre	0.04 máximo

Cuadro 1.2 Resistencia a la tracción para un temple designado ⁽²⁾

Diámetro del Alambre, mm	Liviano, MPa (kg/mm ²)
0.20 hasta 2.00	515 (52.5) max
2.00 hasta 2.50	515 (52.5) max
2.50 hasta 4.70	485 (49.4) max
4.70 y arriba	485 (49.4) max

En el Perú la resistencia para este tipo de alambre tiene un valor aproximado de 372 a 470 MPa (38 a 48 kg/mm²) para un diámetro (\varnothing) de alambre entre 2.0 y 4.0 mm, por lo que se le puede catalogar como acero de “Temple Liviano”.

- **Acero A2** “Acero de Calidad SAE 1008”. Los alambres que se usan para la fabricación de los gaviones, pueden ser, en otros casos, de acero de calidad SAE 1008 (Trefilado – Acero dulce recocido), Su resistencia a la tracción debe cumplir la norma BS 443-82. La composición química del acero es la que se muestra en la siguiente tabla:

⁽¹⁾ NBR 8964. Alambre de acero de bajo contenido de carbono, cincado, para gaviones.. pg 3. tabla N° 1

⁽²⁾ ASTM A614 / A641M – 98. Especificación normativa para recubrimiento de Zinc (Galvanizado) en alambre de acero al carbono, pg 3, tabla 5.

Cuadro 1.3 Composición química del acero A2 (en porcentaje)⁽¹⁾

Elementos	Contenido
Carbono	0.06 - 0.10
Fósforo	0.04 máximo
Azufre	0.05 máximo

- **Recubrimiento R1.** El acero de carbono (A1 o A2), es revestido con aleación Zn 5% Al –MM (Mischmetal) según la norma ASTM A856M-98 clase 80, antes de ejecutarse la doble torsión.

Cuadro 1.4 Peso mínimo de revestimiento con aleación Zn-5Al-MM por unidad de área sobre la superficie de alambre no revestido ⁽²⁾

Revestimiento Clase	Peso del Revestimiento	
	oz / ft ²	g / m ²
20	0.20	61
40	0.40	122
60	0.60	183
80	0.80	244
100	1.00	305
120	1.2	366

- **Recubrimiento R2.** Este recubrimiento es el llamado Galvanizado, utilizado en los gaviones con mallas tejidas a doble torsión. Debe cumplir con los requerimientos de la norma ASTM A 641/A 641M-98 Tipo Temple Liviano

Cuadro 1.5 Resistencia a la tracción para un temple designado ⁽³⁾

Diámetro del Alambre, mm	Liviano, MPa (kg/mm ²)
2.00 hasta 2.50	515 (52.5) max
2.50 hasta 4.70	485 (49.4) max

En el Perú se fabrican alambres con este tipo de recubrimiento, con un diámetros comprendido entre los 2.0 y 4.0 mm,

⁽¹⁾ PRODAC. Gavión. Tipo de gaviones. Gráfico 3.

⁽²⁾ ASTM A856/A 856M-98. Especificación normativa para alambres de acero carbono revestidos con aleación de Zinc-5% Aluminio –Mischmetal. pg 2. tabla N 1

⁽³⁾ ASTM A614 / A641M. Especificación normativa para recubrimiento de Zinc (Galvanizado) en alambre de acero al carbono.– 98. pg 3. tabla 5

Cuadro 1.6 Peso mínimo revestimiento de Zinc (galvanizado) ⁽¹⁾

Ø del Alambre	Mínimo Peso de Revestimiento (g / m ²)
2.20	240
2.40	260
2.70	260
3.00	275
3.40	275
3.90	290

- *Recubrimiento R3.* Este recubrimiento es el llamado Triple Zincado o Galvanización Dura, utilizado en los gaviones con mallas electrosoldadas. El recubrimiento de Zinc (Galvanizado) debe cumplir con los requerimientos de la norma ASTM A 641/A 641M-98 Tipo Clase 3 y Temple Duro. A continuación se muestran los pesos de los recubrimientos de zinc que deben tener los alambres, así como la resistencia a la tracción que poseen dichos alambres con dicho recubrimiento.

Cuadro 1.7 Peso (masa) mínimo de zinc por unidad de área sobre la superficie de alambres no recubiertos (SI) ⁽²⁾

Diámetro del alambre	Recubrimiento Clase 3 o A (g / m ²)
Encima de 2.70 hasta 3.10 incl	240
Encima de 3.10 hasat 3.50 incl	260
Encima de 3.90 hasat 4.50 incl	275

* SI = Sistema internacional.

Cuadro 1.8 Resistencia a la tracción para un temple designado

Diámetro del Alambre, mm	Duro MPa (kg/mm ²)
2.50 hasta 4.70	550 -760 (56.12-77.55)

⁽¹⁾ PRODAC. Gavión. Clasificaciones. Gavión Hexagonal.. Gráfico N° 4. Tabla 5

⁽²⁾ ASTM A614 / A641M – 98. Especificación normativa para recubrimiento de Zinc (Galvanizado) en alambre de acero al carbono.. pg 3. Tabla 3 y Tabla 5

- **Recubrimiento R4.** El recubrimiento de Policloruro de Vinilo (PVC) en los alambres de acero (A1 o A2) por lo general se aplica sobre un recubrimiento ya existente (como R1 o R2). Este recubrimiento debe cumplir con las normas ASTM A975-97 y/o NBR 10514.

Cuadro 1.9 Requerimiento del recubrimiento R4

Indicación (Norma)	Valor	Máximas variaciones post envejecimiento (%)
Espesor Mínimo (NBR 10514)	0.40 mm	-
Espesor Minimo (ASTM 975-97)	0.38 mm	
Masa Específica (ASTM A 975-97)	1.30 a 1.35 kg/dm ³	6
Dureza Shore D (NBR 7456)	50 a 60 shore D	10
Tensión de ruptura (ASTM D 412)	Arriba de 20.6 MPa	20
Elongación de ruptura (ASTM A 975-97)	Arriba de 250%	40
Temperatura de Fragilidad (ASTM A 975-97)	-9° C	-

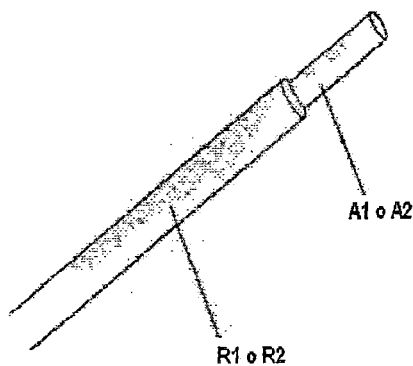


Figura 1.11 Alambre de acero (A1 o A2) con un recubrimiento (R1 o R2)

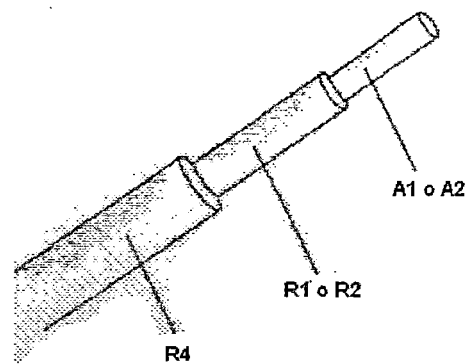


Figura 1.12 Alambre de acero (A1 o A2) con 1er recubrimiento (R1 o R2) y 2do recubrimiento (R4)

D) ABERTURA O COCADA DE LA MALLA

Las mallas del gavión tienen un espaciamiento en sus alambres que son llamadas aberturas o cocadas.

En el caso de las mallas tejidas a doble torsión, las cocadas son hexágonos de lados paralelos (dos a dos) iguales. Tienen dos dimensiones características; una es la distancia perpendicular de separación de los alambres torsionados (D) y la otra es la distancia paralela de separación de los alambres torsionados (B). Para las mallas electrosoldadas, las cocadas son cuadrados, donde se tiene una dimensión característica, esta es la distancia perpendicular de separación de los alambres (D).

En el cuadro 1.10, se tiene un compendio de las aberturas de las mallas para cada tipo de gavión (clasificado como contenedor).

Cuadro 1.10 Aberturas de la mallas del gavión

Tipo de Malla \ Tipo de gavión	G. Caja mm (pulg)	G. Colchón mm (pulg)	G. Saco mm (pulg)
Electrosoldada (D)	75 x 75 (3x3)	75 x 75 (3x3)	-
	100x100 (4x4)	100x100 (4x4)	-
Doble Torsion (DxB)	60x80 (2.5x3.25)	60x80 (2.5x3.25)	60x80 (2.5x3.25)
	80x100 (3.25x4.5)	80x100 (3.25x4.5)	80x100 (3.25x4.5)
	100x120 (4.5x5.25)	-	100x120 (4.5x5.25)
Extruida (HDPE)	27x26 (1x1)	27x26 (1x1)	-
	65x63 (2.5x2.5)	65x63 (2.5x2.5)	-

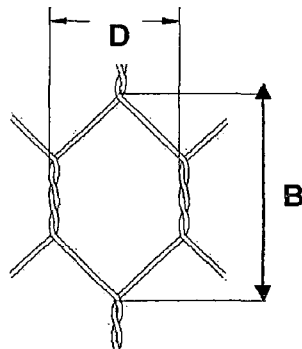


Figura 1.13 Cocada de malla a doble torsión

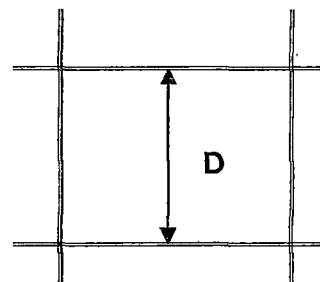


Figura 1.14 Cocada de malla electrosoldada

1.1.5 RESUMEN DE CLASIFICACIÓN

Luego de constatar la diversidad en la clasificación de los gaviones, debe tenerse claro a la hora de decidir que gavión utilizar, lo siguiente: primero, el uso que se le va dar a los gaviones; segundo, las solicitaciones a las que van a estar sometidos los gaviones; tercero, las condiciones a las que va a estar expuesto estos gaviones. Teniendo claro estos puntos, uno debe analizar que tipo de contenedor va utilizar (gavión caja, colchón o saco), el tipo de tejido (doble torsión o electrosoldada), la abertura de la malla (60x80, 80x100, 100x120, 75x75, 100x100), el tipo de acero del alambre (A1 o A2), el tipo recubrimiento o recubrimientos del alambre (R1, R2, R3 y R4), las dimensiones del gavión (largo, ancho y alto), número y separación de los diafragmas, etc.

A continuación se ha elaborado tres tablas donde se indican las variedades de los gaviones en el Perú, teniendo en cuenta tres grupos: gavión caja, gavión colchón y gavión saco.

Cuadro 1.11 Gavión caja

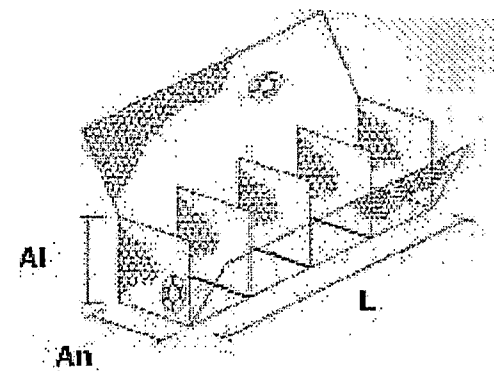
Tipo de Acero	Diámetro nominal del alambre de la malla mm	1er Recubrimiento	Tipo de Tejido De Malla	Abertura Malla mm x mm	Largo (L) m	Ancho (An) m	Alto (Al) m	Volumen m ³	Diafragmas n
A1	2.7 / 3.4 (*)	R1	DT ⁽¹⁾	100 x 120	1.50	1.00	0.5	0.75	-
A1	2.7 / 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	2.00	1.00	0.5	1.00	1
A1	2.7 / 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	3.00	1.00	0.5	1.50	2
A1	2.7 / 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	4.00	1.00	0.5	2.00	3
A1	2.7 / 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	1.50	1.00	1.00	1.50	-
A1	2.7 / 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	2.00	1.00	1.00	2.00	1
A1	2.7 / 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	3.00	1.00	1.00	3.00	2
A1	2.7 / 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	4.00	1.00	1.00	4.00	3
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	1.50	1.00	1.00	1.50	-
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	2.00	1.00	0.50	1.00	1
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	2.00	1.00	1.00	2.00	-
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	2.00	1.00	1.00	2.00	1
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	3.00	1.00	0.50	1.50	2
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	3.00	1.00	1.00	3.00	2
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								

(Continuación del cuadro 1.11)

Tipo de Acero	Diámetro nominal del alambre de la malla mm	1er Recubrimiento	Tipo de Tejido de Malla	Abertura Malla mm x mm	Largo (L) m	Ancho (An) m	Alto (Al) m	Volumen m ³	Diafragmas n
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	4.00	1.00	0.50	2.00	3
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	4.00	1.00	1.00	4.00	3
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	4.00	1.50	1.00	6.00	3
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	5.00	1.00	0.50	2.50	4
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	5.00	1.00	1.00	5.00	4
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	5.00	1.50	1.00	7.50	4
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	2.4 / 2.7 / 3.0	R1 o R2	DT	80x100	6.00	2.00	0.50	6.00	5
	3.5 (*) / 3.8(*) / 4.1(*)								
A2	3.05 / 3.40 / 4.20	R3	ES ⁽²⁾	75x75 100x 100	2.00	1.00	0.50	1.00	-
A2	3.05 / 3.40 / 4.20	R3	ES	75x75 100x 100	3.00	1.00	0.50	1.50	-
A2	3.05 / 3.40 / 4.20	R3	ES	75x75 100x 100	3.00	1.50	0.50	2.25	-
A2	3.05 / 3.40 / 4.20	R3	ES	75x75 100x 100	2.00	1.00	1.00	2.00	-
A2	3.05 / 3.40 / 4.20	R3	ES	75x75 100x 100	3.00	1.00	1.00	3.00	-
A2	3.05 / 3.40 / 4.20	R3	ES	75x75 100x 100	3.00	1.50	1.00	4.50	-

- (*) Diámetro nominal con recubrimiento adicional de PVC.
- (1) Malla de alambre a doble torsión.
- (2) Malla de alambre electrosoldada.

Figura 1.15 Dimensiones del gavión caja



Cuadro 1.12 Gavión colchón

Tipo de Acero	Diámetro nominal del alambre de la malla mm	Recubrimiento	Tipo de tejido de Malla	Abertura Malla mm x mm	Largo (L) m	Ancho (An) m	Alto (Al) m	Area m ²	Volumen m ³	Celdas n
A1	3.0 (*)	R1	DT ⁽¹⁾	60x80	3.00	2.00	0.17	6.00	1.02	3
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	4.00	2.00	0.17	8.00	1.36	4
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	5.00	2.00	0.17	10.00	1.70	5
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	6.00	2.00	0.17	12.00	2.00	6
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	3.00	2.00	0.23	6.00	3.68	3
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	4.00	2.00	0.23	8.00	1.84	4
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	5.00	2.00	0.23	10.00	2.30	5
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	6.00	2.00	0.23	12.00	2.76	6
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	3.00	2.00	0.30	6.00	1.80	3
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	4.00	2.00	0.30	8.00	2.40	4
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	5.00	2.00	0.30	10.00	3.00	5
A1	3.0 (*)	R1	DT	60x80	6.00	2.00	0.30	12.00	3.60	6
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	4.00	2.00	0.17	8.00	1.36	3
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	4.00	2.00	0.23	8.00	1.84	3
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	4.00	2.00	0.30	8.00	2.40	3
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						

(Continuación del cuadro 1.12)

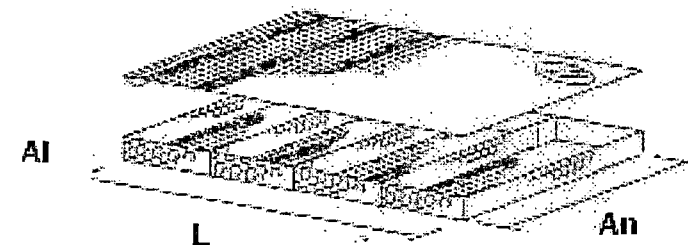
Tipo de Acero	Diámetro nominal del alambre de la malla mm	1er Recubrimiento	Tipo de Tejido de Malla	Abertura Malla mm x mm	Largo (L) m	Ancho (An) m	Alto (Al) m	Area m ²	Volumen m ³	Celdas n
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	5.00	2.00	0.17	10.00	1.70	4
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	5.00	2.00	0.23	10.00	2.30	4
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	5.00	2.00	0.30	10.00	2.30	4
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	6.00	2.00	0.17	12.00	2.04	5
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	6.00	2.00	0.23	12.00	2.76	5
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						
A2	2.2 / 3.2(*)	R1 o R2	DT	60x80	6.00	2.00	0.30	12.00	3.60	5
	2.7 / 3.0 / 3.5(*) / 3.7(*)			80x100						
A2	3.05 / 3.4 / 4.20	R3	ES ⁽²⁾	75x75 100x 100	3.00	1.00	0.30	3.00	0.90	-
A2	3.05 / 3.4 / 4.20	R3	ES	75x75 100x 100	3.00	1.50	0.30	4.50	1.35	-
A2	3.05 / 3.4 / 4.20	R3	ES	75x75 100x 100	3.00	2.00	0.30	6.00	1.80	-

(*) Diámetro nominal con recubrimiento adicional de PVC.

(1) Malla de alambre a doble torsión.

(2) Malla de alambre electrosoldada.

Figura 1.16 Dimensiones del gavión colchón



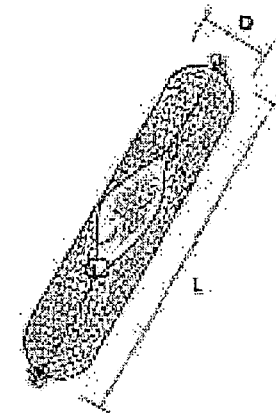
Cuadro 1.13 Gavión saco

Tipo de Acero	Diámetro nominal del alambre de la malla mm	1er Recubrimiento	Tipo de Tejido de Malla	Abertura Malla mm x mm	Largo (L) m	Diámetro (D) m	Volumen (V) m ³
A1	2.7/ 3.4 (*)	R1	DT ⁽¹⁾	100 x 120	2.00	0.65	0.65
A1	2.7/ 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	3.00	0.65	1.00
A1	2.7/ 3.4 (*)	R1	DT	100 x 120	4.00	0.65	1.30
A2	2.7 / 3.0 / 3.5(*)/ 3.7(*)	R1 / R2	DT	80 x 100	2.00	0.65	0.65
A2	2.7 / 3.0 / 3.5(*)/ 3.7(*)	R1 / R2	DT	80 x 100	3.00	0.65	1.00
A2	2.7 / 3.0 / 3.5(*)/ 3.7(*)	R1 / R2	DT	80 x 100	4.00	0.65	1.30

(*) Diámetro nominal con recubrimiento adicional de PVC.

(1) Malla de alambre a doble torsión.

Figura 1.17 Dimensiones del gavión saco



1.2 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICO-MECÁNICAS

Los gaviones caja o gaviones colchón que conforman los diferentes tipos de estructuras como muros de contención, muros de encauzamiento, espigones, revestimiento de canales, pilares de puentes, etc., son sometidos a esfuerzos estructurales, ataques químicos, factores hidráulicos, etc., que definen la vida útil de los gaviones antes mencionados. Estos factores pueden o no actuar juntos, pero es conveniente analizarlos por separado para poder comprenderlos mejor.

Es así, que ante la presencia de estos factores, es de vital importancia conocer las propiedades los gaviones, tanto como un conjunto de elementos, como también las propiedades de dichos elementos individualmente. Podemos observar en los gaviones tres conjuntos de propiedades, los cuales son:

- Propiedades mecánicas.
- Propiedades físicas.
- Propiedades químicas.

1.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de los gaviones están relacionadas con las fuerzas externas que actúan sobre los gaviones y sus respectivos valores de resistencia a dichas fuerzas. Para conocer las propiedades mecánicas del gavión se tiene que investigarlo mediante pruebas de laboratorio. Los resultados de las investigaciones se muestran a continuación.

A) ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

Las primeras pruebas en mallas hexagonales tejidas a doble torsión fueron las de compresión simple sin restricción lateral (con

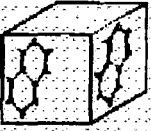
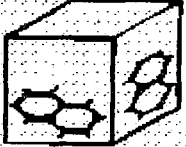
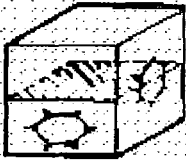
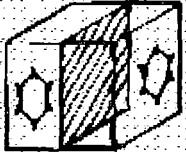
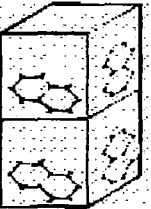
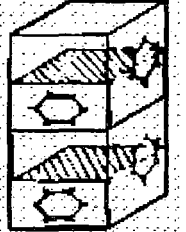
deformaciones libres laterales). Estos ensayos estaban orientadas a formular indicaciones sobre:

- La máxima resistencia del gavión a compresión.
- La secuencia de fenómenos que acompañan la deformación progresiva del gavión debido a las cargas crecientes.
- El colapso de la estructura (acomodación del material de relleno, fracturas de las rocas, deformación y ruptura de la malla con la consecuente fuga de rocas).
- La influencia del sentido de las mallas con respecto a los puntos de aplicación de la carga.
- El efecto de la presencia de eventuales diafragmas incorporados a los gaviones.

Los ensayos dieron como resultado la gran ductilidad de los gaviones que se deforman sensiblemente antes de alcanzar la ruptura. Tal ruptura ocurre con los esfuerzos de compresión comprendidos entre los de 2.94 y 3.92 MPa (30 a 40 kg/cm²).

En estos ensayos la disposición de la malla y/o la presencia de los diafragmas, permiten un mayor confinamiento de las rocas de relleno y también para las pruebas de compresión con restricción lateral (con confinamiento de los laterales, a través de la disposición de dos placas verticales de acero, oportunamente enrigecidas, confinando dos paredes laterales opuestas).

Cuadro 1.14 Resistencia a la compresión de los gaviones

Tipo de Gavión	Esquema	$P_{MAX}^{(1)}$ kN (T)	$Q_{MAX}^{(1)}$ MPa (kg/cm ²)
Pruebas con la doble torsión en posición vertical		922 (94)	3.23 (33)
Pruebas con la doble torsión en posición horizontal		284 (29)	1.03 (10.5)
Pruebas con diafragma horizontal y la torsión horizontal y vertical (2 a 2)		981 (100)	4.11 (41.9)
Pruebas con diafragma vertical y la torsión vertical		1049 (107)	2.56 (25.5)
Pruebas con dos gaviones con la doble torsión horizontal		279 (28.5)	0.94 (9.6)
Pruebas con dos gaviones con diafragma horizontal y la torsión horizontal y vertical (2 a 2)		390 (39.8)	1.59 (16.3)

P_{MAX} = Fuerza máxima de compresión sobre el gavión con piedras.

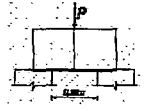
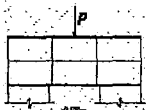
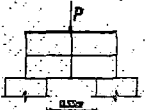
Q_{MAX} = Esfuerzo máximo en compresión sobre el gavión con piedras.

(1) Valores promedios obtenidos de la tabla 2.5.1 de la publicación "Obras de Contención. Manual Técnico". Maccaferri.

**B) ENSAYO DE COMPRESIÓN CON RESTRICCIÓN LATERAL
(RESISTENCIA AL CORTE)**

La resistencia al corte es dada por a presencia de la malla y, por tanto, puede ser aumentada a través de la adecuación de la misma o por la introducción de diafragmas. En la siguiente tabla están las cargas, tensiones tangenciales y deflexiones máximas, así como módulos tangenciales "G" para diferentes disposiciones de los gaviones.

Cuadro 1.15 Ensayos de resistencia al corte ⁽¹⁾

Disposición de los gaviones	Valor libre entre los apoyos "l" (m)	Dimensión de la sección (m)	Carga Máxima "P _{MAX} " (kN (T))	Tensión Tangencial Máxima τ_{MAX} (kN/m ² (kg/cm ²))	Deflexión Máxima H _{MAX} (m)	Módulo Tangencial para "G" (kN/m ² (kg/cm ²))
	0.55	0.54 x 0.53	117.7 (12.2)	2.13 (208.9)	0.16	3.65 (358)
	0.55	0.48 x 0.55	94.1 (9.60)	1.82 (178.5)	0.21	2.40 (235.4)
	0.55	0.53 x 0.53	108.9 (11.10)	1.98 (194.2)	0.13	4.20 (412)

$$\tau_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{2 \times A}$$

$$G = \frac{\tau_{max}}{2 \times H / l}$$

A = Área de la sección de corte.

C) ENSAYOS DE TENSIÓN A LA MALLA METÁLICA A DOBLE TORSIÓN

En estas pruebas se consideraron, como carga de ruptura, aquellas que provocaron la ruptura del primer alambre. En diferentes

⁽¹⁾ Valores obtenidos de la tabla 2.5.2 de la publicación "Obras de Contención. Manual Técnico". Maccaferri.

ensayos se encontraron las cargas de ruptura tanto cargando a la malla en paralelo y ortogonalmente a las torsiones.

Cuadro 1.16 Cargas de ruptura en tensión paralelo a la torsión

Tipo de Malla mm x mm	Carga de ruptura kN/m (kg/m)						
	Diámetro nominal (Ø) de los alambre (mm)						
	2.00	2.20	2.40	2.70	3.00	3.20	3.30
50 x 70	34.3 ⁽¹⁾ (3500)	39.2 ⁽¹⁾ (4000)	44.1 ⁽¹⁾ (4500)	-	-	-	-
60 x 80	29.4 ⁽¹⁾ (3000)	34.3 ⁽¹⁾ (3500)	41.2 ⁽¹⁾ (4200)	46.1 ⁽¹⁾ (4700)	-	-	-
80 x 100	19.6 ⁽²⁾ (2000)	26.4 ⁽²⁾ (2700)	33.3 ⁽¹⁾ (3400)	42.1 ⁽¹⁾ (4300)	51.9 ⁽¹⁾ (5300)	-	-
100 x 120	11.7 ⁽²⁾ (1200)	18.6 ⁽²⁾ (1900)	25.5 ⁽²⁾ (2600)	34.3 ⁽¹⁾ (3500)	42.1 ⁽¹⁾ (4300)	49.0 ⁽¹⁾ (5000)	51.9 ⁽¹⁾ (5300)

⁽¹⁾ Valores obtenidos de la tabla 2.5.2 de la publicación "Obras de Contención. Manual Técnico". Maccaferri.

⁽²⁾ Valores obtenidos de la publicación "Gaviones para aplicaciones en carreteras". CIDELSA

La norma ASTM A-975-97 nos dice que el valor mínimo de ruptura en tensión, paralelo a la torsión de las mallas, será:

- 51.1 kN/m, para un diámetro nominal de 3.05 mm. y una abertura de malla de 80x100.
- 42.3 kN/m, para un diámetro nominal de 2.7 mm. y una abertura de malla de 80x100.
- 33.6 kN/m, para un diámetro nominal de 2.2 mm. y una abertura de malla de 60x80.

Análogamente fueron efectuadas pruebas de carga sobre paños de malla del gavión, aplicando el esfuerzo en dirección ortogonal a la torsión de la malla. Los valores de carga de ruptura transversal pueden ser considerados, de modo general, como: 11.7 kN/m para la malla con abertura 60x80 mm. para un alambre con diámetro 2.2 mm.; y 21.5 kN/m para la malla con abertura 80x100 mm. y para un alambre con diámetro 3.0 mm.

Cuadro 1.17 Cargas de ruptura en tensión ortogonal a la torsión

Tipo de Malla mm x mm	Carga de ruptura kN/m (kg/m)						
	Diámetro nominal (\emptyset) de los alambres (mm)						
	2.00	2.20	2.40	2.70	3.00	3.20	3.30
60 x 80	8.3 ⁽²⁾ (850)	11.7 ⁽¹⁾ (1200)	18.6 ⁽²⁾ (1900)	-	-	-	-
80 x 100	5.8 ⁽²⁾ (600)	9.3 ⁽²⁾ (950)	12.7 ⁽²⁾ (1300)	19.6 ⁽²⁾ (2000)	21.5 ⁽¹⁾ (2200)	-	-
100 x 120	1.1 ⁽²⁾ (120)	3.4 ⁽²⁾ (350)	6.3 ⁽²⁾ (650)	11.2 ⁽²⁾ (1150)	18.6 ⁽²⁾ (1900)	23.5 ⁽²⁾ (2400)	25.9 ⁽²⁾ (2650)

⁽¹⁾ Valores obtenidos de la publicación "Obras de Contención. Manual Técnico". Maccaferri.

⁽²⁾ Valores obtenidos de la publicación "Gaviones para aplicaciones en carreteras". CIDELSA

La norma ASTM A-975-97 nos dice que el valor mínimo de ruptura en tensión, ortogonal a la torsión de las mallas debe ser:

- 26.3 kN/m, para un diámetro nominal de 3.05 mm. y una abertura de malla de 80x100.
- 20.4 kN/m, para un diámetro nominal de 2.70 mm. y una abertura de malla de 80x100.
- 13.1 kN/m, para un diámetro nominal de 2.20 mm. y una abertura de malla de 60x80.

Asimismo la norma ASTM 975-97 da algunas resistencias a la tensión de las conexiones de las mallas de los gaviones:

Cuadro 1.18 Requisitos de resistencia mínimos de conexiones

Descripción del Ensayo	Gavión con Rev Metálico ⁽¹⁾ (kN/m)	Gavión con PVC ⁽¹⁾ (kN/m)	Gavión con PVC ⁽²⁾ (kN/m)
Conexión de las aristas	20.4	17.5	10.2
Conexión panel con panel con alambre de amarre o presillas	20.4	17.5	10.2

⁽¹⁾ Gavión caja 80x100 mm.

⁽²⁾ Gavión colchón 60x80 mm.

D) ENSAYOS DE PUNZONAMIENTO

Las pruebas de punzonamiento solicitan un paño de malla amarrado en sus cuatro lados sobre una abertura libre mínima de 0.91 m cada lado. Una carga ortogonal al plano de la red, se transmite por una placa de distribución metálica de un área de 900 cm². La resistencia al punzonamiento se mide al romperse el primer alambre de la malla. La norma ASTM A-975-97 da como valores mínimos de resistencia al punzonamiento de la malla los siguientes:

- 26.7 kN, para un diámetro nominal de 3.05 mm. y una abertura de malla de 80x100.
- 23.6 kN, para un diámetro nominal de 2.70 mm. y una abertura de malla de 80x100.
- 17.8 kN, para un diámetro nominal de 2.20 mm. y una abertura de malla de 60x80.

E) RESISTENCIA AL CORTE DE LA SOLDADURA EN LA MALLA ELECTROSOLDADA

Según la norma ASTM 974-97, el mínimo valor medio de corte expresado en kN, será el 70% de la fuerza de la ruptura del alambre o como se indica en la tabla siguiente:

Cuadro 1.19 Promedio mínimo de resistencia al corte

Diámetro de alambre, mm (pulg)	Fuerza de Corte Mínimo Promedio, N (lb)	Fuerza de Corte Mínima, N (lb)
2.2 (0.087)	1300 (292)	1000 (225)
2.7 (0.106)	2100 (472)	1600 (360)
3.05 (0.120)	2600 (584)	2000 (450)

1.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MALLA DE LOS GAVIONES

Básicamente las propiedades físicas de los gaviones se sustentan en las propiedades de los elementos que lo conforman, como son el acero, el zinc-aluminio, el triple zincado y los recubrimientos de PVC

Los recubrimientos metálicos debe cumplir con los requisitos especificado en el inciso 1.1.4.3.

El recubrimiento de P.V.C. debe demostrar su habilidad para el cumplimiento de los requisitos expuestos en el cuadro 1.9. Además debe cumplir con lo siguiente:

- *Módulo de elasticidad* - No debe ser menor que 18.6 MPa (2700 psi), al ensayarse de acuerdo con el Método de Ensayo ASTM D 412.
- *Exposición al rociado con niebla salina*: El P.V.C. no debe mostrar efectos de exposición al rociado con niebla salina después de 3000 hr. de acuerdo con el método de ensayo ASTM B 117.
- *Exposición a la luz de rayos ultravioleta*: El P.V.C. no debe mostrar efectos de exposición a la luz de rayos ultravioleta, después de 3000 hr., cuando se use el aparato tipo E a 63 °C (145 °F), al ensayarse de acuerdo con la práctica ASTM D 1499 y ASTM G 23.

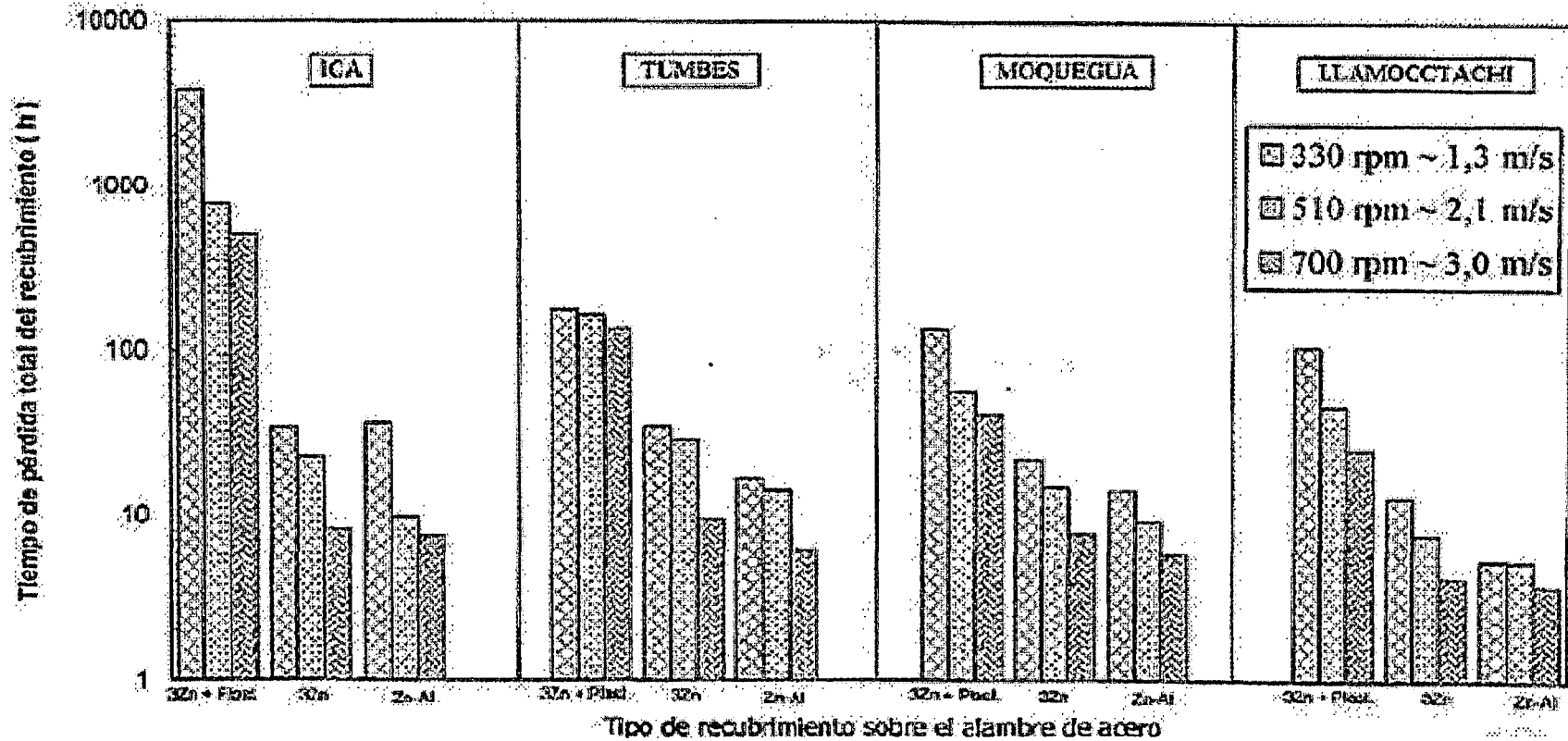
A) RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

La abrasión pura es el movimiento entre dos fase sólidas. En el caso de las estructuras hidráulicas a base de gaviones, ocurre una abrasión húmeda, es decir, una de las fases sólidas es transportada por un medio (en este caso, el agua). El ICP-PUCP⁽¹⁾, realizó en el año 1999 una investigación sobre la resistencia a la abrasión húmeda de los diferentes recubrimientos de las mallas de los gaviones, tomando muestras de estas mallas en defensas ribereñas en la costa, sierra y selva peruana.

En la figura 1.18 se puede apreciar el tiempo estimado para perder todo el recubrimiento de las mallas del gavión para diferentes velocidades de abrasión con concentración de sólidos (agua-arena) diferentes, cuyas muestras han sido tomadas de los ríos Ica, Tumbes, Moquegua y Llamocctachi (Ayacucho-Huancavelica).

⁽¹⁾ ICP-PUC. Instituto de Corrosión y Protección. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Figura 1.18 Resistencia a la abrasión húmeda de los alambres de las mallas de los gaviones ⁽¹⁾

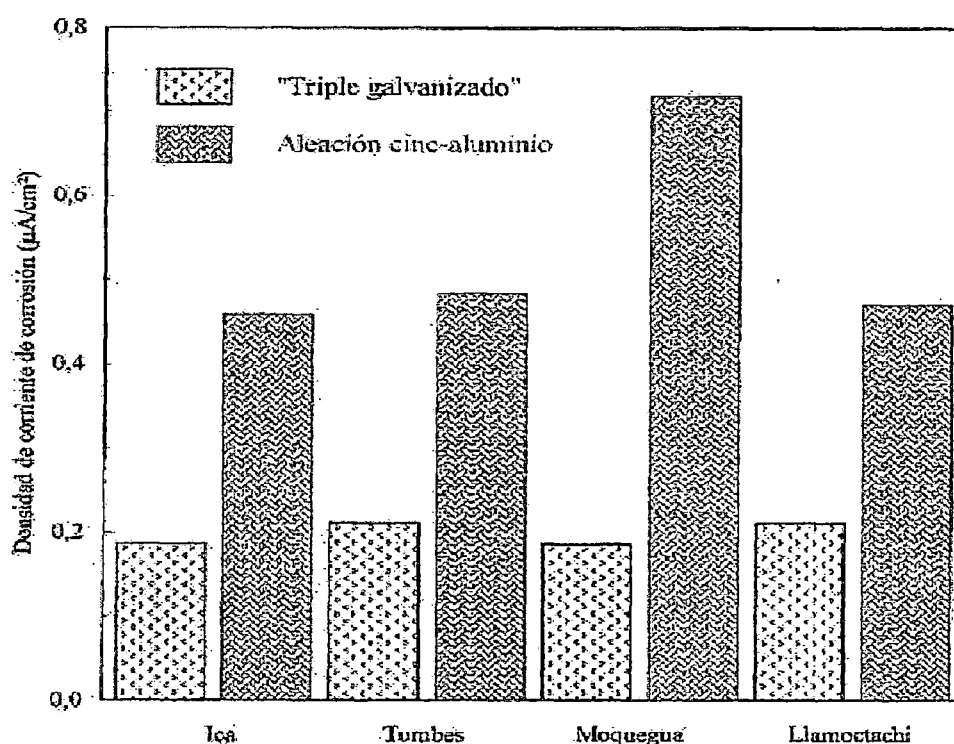


⁽¹⁾ ICP-INF-200-9.9. Informe Técnico. Figura N° 8. Instituto de Corrosión y Protección, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1999.

1.2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS (RESISTENCIA A LA CORROSIÓN)

Las mallas de los gaviones al entrar en contacto con el agua, ocasionan un proceso electroquímico que da paso a la oxidación y deterioro del acero de las mallas. Para determinar la resistencia de los recubrimientos del acero de las mallas a la oxidación, se debe investigar cual material tiene una menor velocidad de corrosión (densidad de corriente de corrosión) del material. El IPC-PUCP en el año 1999 también investigó la resistencia al fenómeno de corrosión de las mallas de los gaviones con recubrimiento metálico (triple zincado y la aleación Zinc-Aluminio) para muestras de los ríos Ica, Tumbes, Moquegua y Llamocctachi.

Figura 1.19 Resistencia a la corrosión de los revestimientos metálicos
(1)



(1) ICP-INF-200-9.9. Informe Técnico. Figura N° 7. Instituto de Corrosión y Protección, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1999.

1.2.4 FOTOGRAFÍAS DE LOS ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS GAVIONES

PROPIEDADES MECÁNICAS

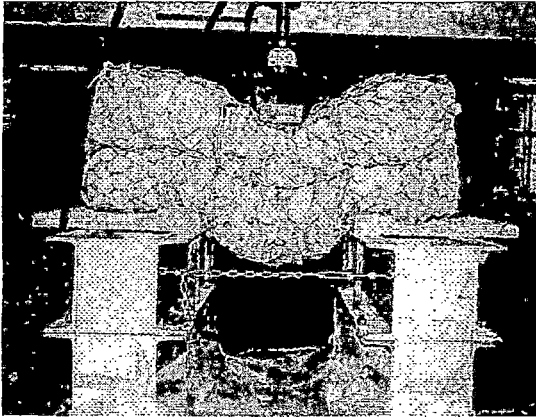


Foto 1.1 Ensayo de resistencia al corte ⁽¹⁾

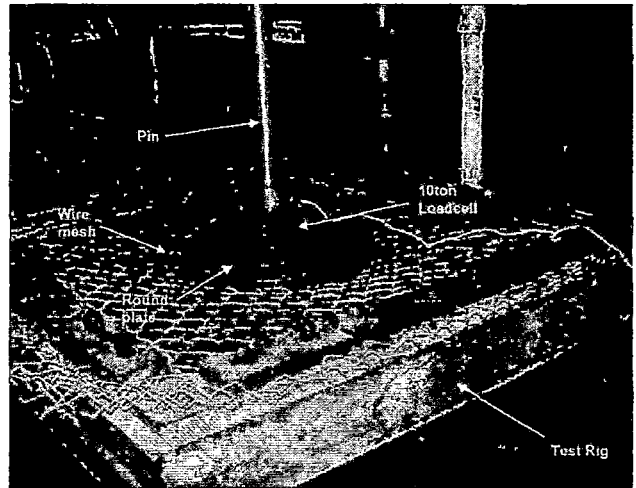


Foto 1.2 Ensayo de punzonamiento ⁽²⁾

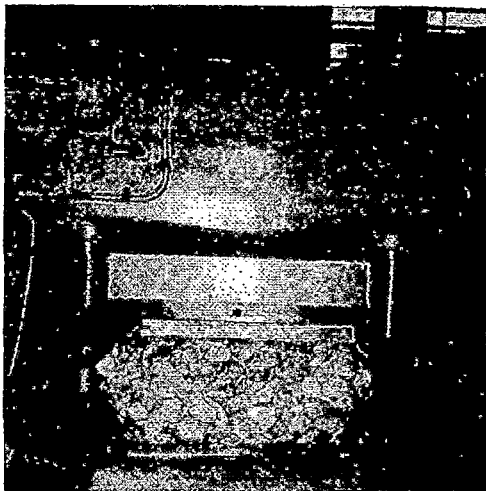


Foto 1.3 Ensayo de compresión ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Resistencia de los gaviones a la compresión. Maccaferri.

⁽²⁾ Informe de la CSIR N° T 08905/ T 08947, 2005.

PROPIEDADES FÍSICAS

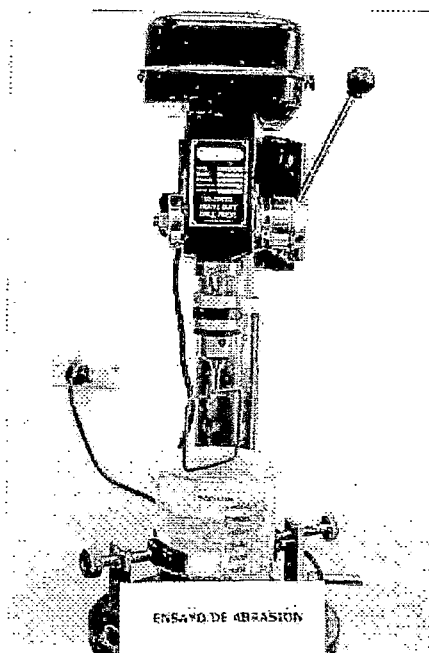


Foto 1.4 Ensayo de abrasión húmeda ⁽¹⁾

PROPIEDADES QUÍMICAS

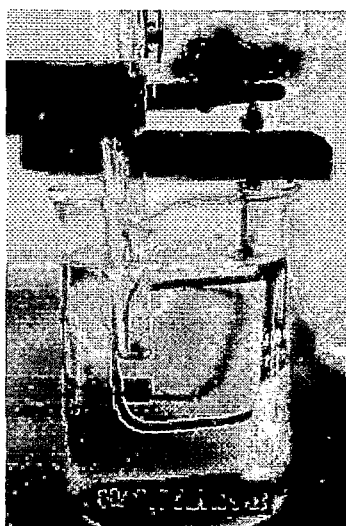


Foto 1.5 Ensayo de corriente alterna (espectroscopia) ⁽¹⁾

⁽¹⁾. Informe Técnico ICP-INF-200-9.9. Fotografías N° 184 y 182. Instituto de Corrosión y Protección, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1999.

1.3 CRITERIOS DE DISEÑO

El uso de de lo gaviones en estructuras (hidráulicas, de contención, de protección, etc), responden y deben responder a la necesidad de contar con un material y/o sistema alternativo a los ya existentes. Sin embargo no basta con conocer su propiedades físicas, químicas y mecánicas para ser utilizados, se necesita un criterio de diseño.

Antes de conocer características o valores de resistencias de los gaviones, se debe conocer a plenitud para que van a ser usados los gaviones y a que condiciones serán sometidos dichos elementos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este sub-capítulo trata de mostrar algunos de los criterios de diseño para el uso de gaviones, viendo dos usos bien definido, los cuales son: las estructuras de contención (muros de contención de taludes, defensas ribereñas, etc) y los revestimientos de estructuras hidráulicas (canales, defensas ribereñas, protección de pilares, etc).

En cuanto a las estructuras de contención, se analiza a los gaviones por su resistencia al volteo, al deslizamiento, falla global, rotura del suelo de fundación y un nuevo criterio para este tipo de estructuras, la rotura interna del muro hecho a base de gavión.

En el caso de los revestimientos hidráulicos se analiza los gaviones por su resistencia al arrastre, profundidades de socavación y deformabilidad de los gaviones.

Como se ha comentado anteriormente, la presente investigación trata de dar el inicio de un nuevo criterio a la hora de diseñar una estructura con gaviones, es decir, el criterio de diseño por su resistencia al impacto de sólidos.

1.3.1 CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS MURO DE CONTENCIÓN A BASE DE GAVIONES

Son constituidos por elementos confeccionados con redes de malla metálica, llenados con rocas. Estas estructuras son extremadamente ventajosas, desde el punto de vista técnico y económico, en la construcción de estructuras de contención, pues poseen un conjunto de características funcionales que no existen en otros tipos de estructuras.

Todas las unidades son firmemente unidas entre sí a través de costuras con alambres de iguales características a los de la malla, lo que forma una estructura continua. La elección del material a ser usado, sea en lo que se refiere a las características de la malla o en el material de relleno, es de fundamental importancia para la obtención de una estructura realmente eficaz.

La malla, en particular, debe poseer las siguientes características:

- Elevada resistencia mecánica.
- Elevada resistencia contra la corrosión.
- Buena flexibilidad.
- No ser fácil de destejer.

Es necesario la verificación de seguridad de la estructura de contención a los diversos tipos de rotura. En el caso de muros de contención hechos a base de gaviones, los tipos principales de rotura que pueden ocurrir están mostrados en la figura 1.20.

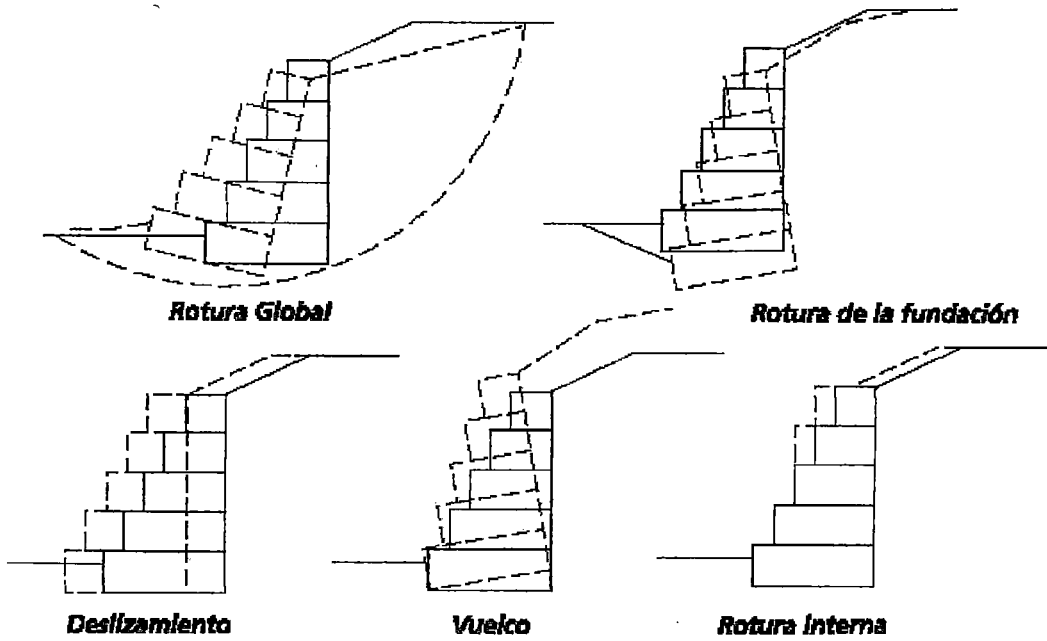


Figura 1.20 Principales fallas en los muros de contención hechos con gaviones

- *Deslizamiento sobre la base*

Ocurre cuando la resistencia al deslizamiento a lo largo de la base del muro, sumada al empuje pasivo disponible al frente de la estructura, es insuficiente para neutralizar el efecto del empuje activo actuante.

$$F.S_{(DESILIZAMIENTO)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_D} \dots\dots\dots(1.1)$$

$\sum F_R$ = Suma de las fuerzas horizontales resistentes

$\sum F_D$ = Suma de las fuerzas horizontales de empuje

$F.S_{(DESILIZAMIENTO)}$ = Factor de seguridad contra el deslizamiento
(valor usual 1.5).

- **Revisión por volteo:**

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.

$$F.S_{(VOLTEO)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \dots\dots\dots(1.2)$$

$\sum M_R$ = Suma de los momentos de las fuerzas actuantes que tienden a resistir el volteo respecto a un mismo punto.

$\sum M_O$ = Suma de los momentos de las fuerzas actuantes que tienden a voltear el muro respecto a punto.

$F.S_{(VOLTEO)}$ = Factor de seguridad contra el volteo (valor usual 2 o 3).

- **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.

$$F.S_{(CAPACIDAD.DE.CARGA)} = \frac{q_u}{q_{max}} \dots\dots\dots(1.3)$$

q_u = Capacidad última de apoyo del suelo de fundación.

q_{max} = Capacidad máxima de presión sobre el suelo de fundación

$F.S_{(CAPACIDAD.DE.CARGA)}$ = Factor de seguridad (valor usual 3).

- **Falla por cortante profunda:**

El deslizamiento a lo largo de una superficie de rotura que envuelve a la estructura de contención. Por lo general ocurre por la existencia de una capa débil de suelo bajo el muro a una

profundidad cercana al los 1.5 veces el ancho del muro de contención, los métodos utilizados para determinar el factor de seguridad son el método de Bishop o el de las Dovelas.

$$F.S > \text{Menor posible, no menor a 1.}$$

- *Rotura interna de la estructura:*

La rotura de las secciones intermedias entre gaviones, puede ocurrir, tanto por esfuerzo por deslizamiento como por exceso de presión normal.

Para evitar deslizamientos entre los diferentes niveles de los gaviones, debe cumplirse que $T < T_{adm}$, donde:

T = Fuerza de corte sobre la sección de gavión en análisis.

T_{adm} = Fuerza de corte admisible sobre la sección de gavión en análisis.

Para evitar el exceso de presión normal sobre la cara superior de cada nivel en los gaviones, debe cumplirse que $q < q_{adm}$

q = Esfuerzo máximo en compresión sobre la sección de gavión en análisis.

q_{adm} = Esfuerzo admisible sobre la sección de gavión en análisis.

Los valores q_{adm} están detallados en el cuadro 1.14 con la sigla q_{MAX} , y los valores de T_{adm} están detallados en el cuadro 1.15 con la sigla P_{MAX} .

1.3.2 RECUBRIMIENTO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS CON GAVIONES

Los gaviones pueden ser utilizados como recubrimiento de canales, como defensas ribereñas, protección de pilares de puentes, etc. Para su utilización debe verificarse lo siguiente:

- *Estabilidad del fondo (Tensión Crítica)*

El esfuerzo que ejerce la corriente sobre el fondo se denomina esfuerzo de corte sobre el fondo.

$$\tau_0 = \gamma \times R \times S \dots\dots\dots(1.4)$$

τ_0 = Esfuerzo de corte sobre el fondo del canal.

γ = Peso específico del agua.

R = Radio hidráulico.

S = Pendiente.

El esfuerzo que necesita ejercer la corriente sobre el fondo para la iniciación del moviendo de una partícula sólida el fondo.

$$\tau_{0,C} = \tau_c^* \times (\gamma_s - \gamma) \dots\dots\dots(1.5)$$

$\tau_{0,C}$ = Esfuerzo tractivo crítico.

τ_c^* = Parámetro de Shields (valor estimado para gavión colchón = 0.10).

γ_s = Peso específico del sólido.

γ = Peso específico del agua.

Habiéndose realizados pruebas de laboratorio en modelo y prototipo, se obtuvo que el esfuerzo de corte del fondo debe ser menor que 1.2 veces el esfuerzo de corte crítico sobre el fondo de canal.

$$\tau_0 \leq 1.2 \times \tau_{0,C} \dots\dots\dots(1.6)$$

En el cuadro 1.20, se tiene los valores del esfuerzo tractivo crítico ($\tau_{0,c}$) y esfuerzo tractivo límite ($1.2 \tau_{0,c}$) para los gaviones caja y colchón

Cuadro 1.20 Esfuerzos tangentes críticos para gaviones caja y colchón ⁽¹⁾

Tipo	Espesor	Piedras de relleno		Esfuerzo de arrastre		
		Dimensiones (mm)	$d_{50}^{(*)}$ (m)	Crítica (N/m ²)	Experimental (N/m ²)	Máxima admisible (N/m ²)
Gavión colchón	0.17	70-100	0.085	136.00	155.00	163.20
		70-150	0.110	176.00	200.00	211.20
	0.23	70-100	0.085	136.00	155.00	163.20
		70-150	0.110	176.00	200.00	211.20
	0.30	70-120	0.100	160.00	175.00	192.00
		100-150	0.125	200.00	230.00	240.00
Gavión caja	0.5	100-200	0.150	240.00	280.00	288.00
		120-250	0.190	304.00	370.00	364.80

^(*) d_{50} Diámetro de la partícula correspondiente al 50% en una curva granulométrica

- *Estabilidad de las márgenes*

La información anterior se refiere a esfuerzos de corte relativos al fondo del canal. Para el revestimiento de las márgenes de un canal de sección trapezoidal, se puede considerar como esfuerzo de corte sobre el material de revestimiento, resultante de la acción del flujo, el siguiente:

$$\tau_M = 0.75 \times \gamma \times y \times S \dots\dots\dots(1.7)$$

τ_M = Esfuerzo de corte en la margen del canal.

y = Tirante

⁽¹⁾ Maccaferri. Revestimiento de canales y cursos de agua. Tabla 3.4.1

El esfuerzo tractivo crítico en las márgenes también es diferente al esfuerzo del fondo. Para este esfuerzo se utiliza la siguiente expresión:

$$\tau_{M,C} = \tau_{0,C} \times \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2(\alpha)}{\text{sen}^2(\psi)}} \dots\dots\dots(1.8)$$

$\tau_{M,C}$ = Esfuerzo tractivo crítico en la margen del canal.

α = Ángulo de inclinación del margen.

ψ = Angulo de reposo del material de relleno.

Del mismo modo, como fue considerado el esfuerzo de corte aplicado en el fondo del canal por la acción del flujo, este esfuerzo podría superar el esfuerzo tractivo crítico hasta en un 20% debido a la aceptación de pequeñas deformaciones en los gaviones colchón, también en el caso de las márgenes se puede admitir el mismo razonamiento, siendo que:

$$\tau_M \leq 1.2 \times \tau_{M,C} \dots\dots\dots(1.9)$$

- *Desplazamiento del material de relleno (Velocidad Crítica)*

La segunda forma de verificar la iniciación del movimiento es la determinación de la velocidad crítica, esta velocidad debe ser mayor que la velocidad media del canal o río.

$$V \leq V_C \dots\dots\dots(1.10)$$

V = Velocidad media.

V_C = Velocidad crítica.

En el cuadro 1.21, se tiene los valores de velocidad crítica (V_C) y velocidad límite ($1.2 V_C$) para los gaviones caja y colchón.

Cuadro 1.21 Velocidad crítica y velocidad límite para gaviones caja y colchón ⁽¹⁾

Tipo	Espesor	Piedras de relleno		Velocidad Crítica (m/s)	Velocidad Límite (m/s)
		Dimensiones (mm)	d ₅₀ (m)		
Gavión colchón	0.17	70-100	0.085	3.5	4.2
		70-150	0.110	3.8	4.5
	0.23	70-100	0.085	3.7	4.5
		70-150	0.110	4.1	4.9
	0.30	70-120	0.100	4.0	4.7
		100-150	0.125	4.3	5.0
Gavión caja	0.5	100-200	0.150	4.9	5.8
		120-250	0.190	5.5	6.4

⁽¹⁾ d₅₀ Diámetro de la partícula correspondiente al 50% en una curva granulométrica

- *Deformaciones en los gaviones*

Cuando el esfuerzo de corte supera el esfuerzo de corte crítico, parte de las rocas se desplazan en dirección aguas abajo, quedando aún así confinadas dentro de cada célula del colchón

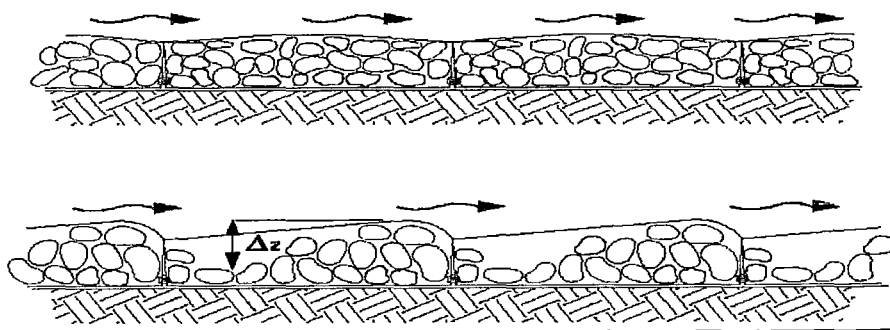


Figura 1.21 Esquema del movimiento de las rocas en el interior del gavión ⁽²⁾

⁽¹⁾ Maccaferri. Revestimiento de canales y cursos de agua. Tabla 3.4.3.

⁽²⁾ Maccaferri. Revestimiento de canales y cursos de agua. Figura 3.4.16.

Para evaluar el grado de deformación, se utiliza el parámetro Δz , que es la distancia vertical entre el punto más bajo y el más alto de la superficie asumida por las rocas. Para evitar que el fondo quede sin protección y sea expuesto directamente a la acción de la corriente, se debe garantizar la siguiente relación:

$$\frac{\Delta z}{d_m} \leq 2 \times \left(\frac{t}{d_m} - 1 \right) \dots\dots\dots (1.11)$$

Δz = Distancia vertical entre el punto más bajo y el más alto de la superficie asumida por las piedras.

d_m = Diámetro medio del material de relleno del gavión.

t = Espesor del gavión colchón.

Además debe cumplirse que $t \geq 2 \times d_m$

- **Socavación del suelo de base**

En los revestimientos con gaviones colchón y gaviones caja, no solamente deben ser dimensionados el espesor del revestimiento y la dimensión de las rocas para que éstas resistan a la acción del flujo, sino también debe ser evitada la erosión del suelo de base, que es el apoyo del revestimiento.

$$V_b = \frac{1}{n_f} \times \left(\frac{d_m}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1.12)$$

V_b = Velocidad en las interfases del gavión colchón y fondo[m/s].

n_f = Coeficiente de rugosidad del fondo [s.m^{1/3}] (0.02 para un filtro geotextil o ningún filtro y 0.025 si existe un filtro de grava).

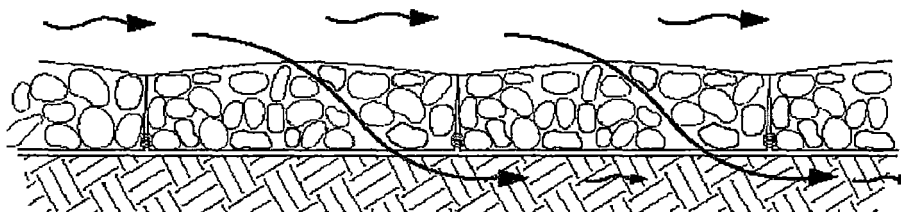


Figura 1.22 Esquema del flujo del agua en el interior de los gaviones ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Maccaferri. Revestimiento de canales y cursos de agua. Figura 3.4.21.

Cuadro 1.22 Coeficientes de Manning (n) para recubrimientos con gaviones caja, colchón y malla de gavión ⁽¹⁾

Naturaleza del canal	Coeficiente de Manning "n" (s m ^{1/3})
Canales revestidos con gaviones colchón y recubiertos con mortero.	0,0130
Canales revestidos con gaviones colchón perfectamente impermeabilizados con una mezcla de bitumen hidráulico aplicado con métodos particulares para obtener una superficie plana y bien lisa.	0,0158
Canales revestidos con gaviones colchón y gaviones caja perfectamente impermeabilizados con mezcla de bitumen hidráulico aplicado directamente.	0,0172
Canales revestidos con gaviones colchón y gaviones caja consolidados hasta la superficie con mezcla de bitumen hidráulico que envuelva las piedras superficiales.	0,0200
Canales revestidos con gaviones colchón y gaviones caja consolidados con mezcla de bitumen hidráulico que penetre en profundidad.	0,0215
Canales revestidos con geomanta y malla metálica a doble torsión sin relleno.	0,0280
Canales revestidos con geomanta y malla metálica a doble torsión con vegetación.	0,0320
Canales revestidos con geomanta y malla metálica a doble torsión con relleno de pedrisco.	0,0210
Canales revestidos con gaviones colchón llenados con material bien seleccionado y colocado en obra con mucho cuidado.	0,0222
Canales revestidos con gaviones colchón llenados con material bien seleccionado y colocado en obra sin cuidado.	0,0250
Canales revestidos con gaviones colchón llenados con material de cantera no seleccionado y colocado en obra sin cuidado.	0,0270
Canales revestidos con gaviones caja llenados con material bien seleccionado y colocado en obra con cuidado.	0,0260

La velocidad V_b debe ser comparada con la velocidad V_e , que es la velocidad límite que el suelo puede soportar sin ser erosionado

En suelos cohesivos, la velocidad admisible puede obtenerse de la figura 1.23. Para el caso de suelos constituidos por sedimentos no cohesivos (arena y grava) se puede utilizar la ecuación:

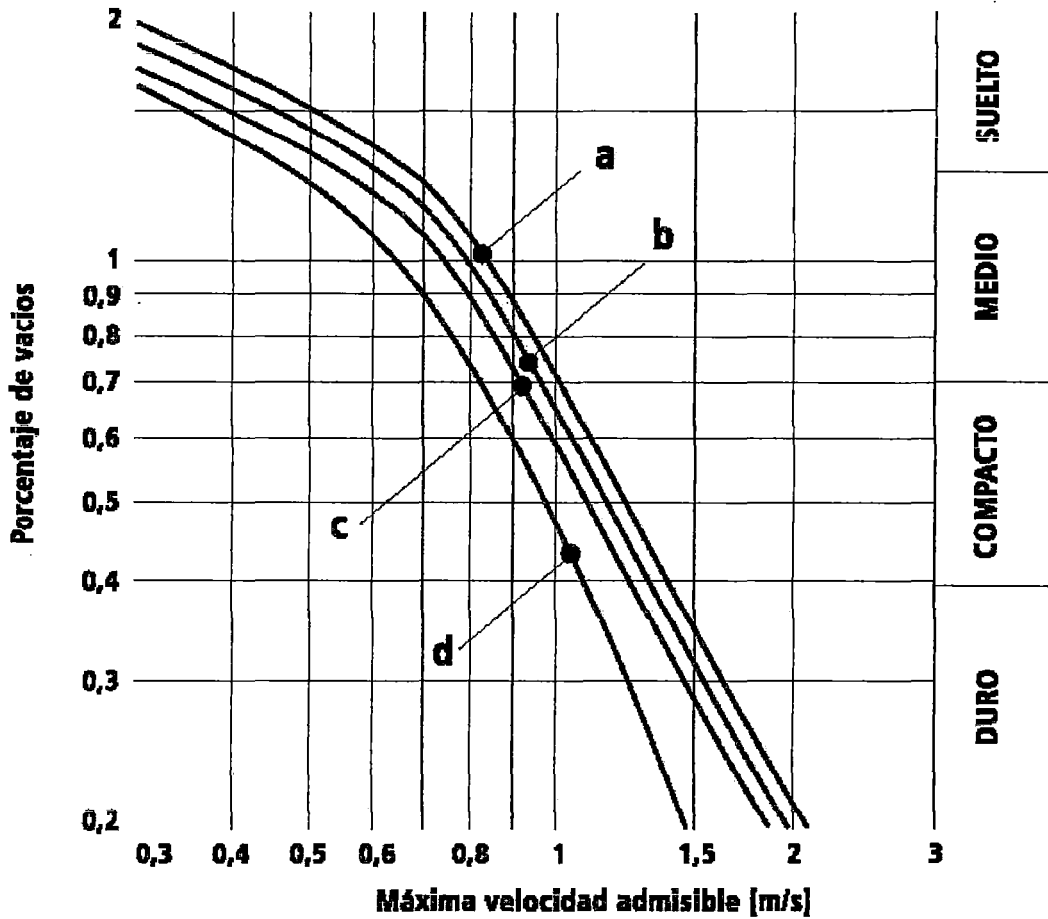
⁽¹⁾ Maccaferri. Revestimiento de canales y cursos de agua. Tabla 3.3.1.

$$V_e = 16.1 \times d_m^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (1.13)$$

V_e = Velocidad admisible (m/s).

d_m = Diámetro medio del análisis granulométrico del material de fondo (m).

Figura 1.23 Valores de las máximas velocidades para suelos cohesivos ⁽¹⁾



a. Arcilla arenosa (arena < 50%)

b. Suelo muy arcilloso

c. Arcilla

d. Suelo poco arcilloso

¹ Maccaferri. Revestimiento de canales y cursos de agua. Tabla 3.4.21

1.4 ARMADO Y COLOCACIÓN DEL GAVIÓN “IN SITU”

Una de las características de los gaviones es su facilidad en el armado y colocación en campo, esta característica hace que la mano de obra no sea necesariamente especializada, se pueda trabajar con personas del lugar y con ello reducir tiempos de ejecución; pero si no se sigue un proceso adecuado, esta ventaja se convierte en una desventaja.

En este sub-capítulo veremos la secuencia que se debe seguir para el armado y colocación de los gaviones caja, colchón y saco.

1.4.1 GENERALIDADES

Para la ejecución de la obra, se procede inicialmente con los trabajos preliminares de cimentación de la estructura. Estos trabajos son básicamente explanaciones del terreno, limpieza y nivelación de la base. Se debe nivelar la base y/o taludes, donde serán colocados los gaviones de manera que se tenga una superficie suficientemente plana para su colocación.

Las excavaciones deberán obedecer a las especificaciones del proyecto. No deberán ser ubicados en lugares donde exista enrocado y/o restos de estructuras de muros antiguos, estos materiales deberán ser retirados de forma tal que se tenga una superficie como la antes descrita. El resto del terreno deberá ser preparado obedeciendo las normas del proyecto.

Para el armado, instalación y llenado de los gaviones será necesario la utilización de: alicates, tortoles y pequeños alambres. Siendo la cantidad de herramientas función del número de trabajadores utilizados.

1.4.2 COMO COLOCAR LOS GAVIONES TIPO CAJA

Los gaviones se entregan plegados empaquetados a fin de ocupar poco espacio y facilitar su transporte. El paquete debe ser almacenado, siempre que sea posible, en un lugar próximo al escogido para el montaje. Para facilitar el trabajo, el lugar donde serán armados los gaviones deberá ser plano, duro y de dimensiones mínimas de aproximadamente 16m^2 con inclinación máxima de 5%.

En toda obra los gaviones deben ir unidos entre sí. Esto debe realizarse tanto en sentido vertical como en sentido horizontal. Así se forma un bloque solidario que los transforma en un bloque monolítico capaz de resistir fuertes presiones. Para hacer más fácil este proceso se recomienda realizarlo antes del llenado con rocas. Para la forma, la costura y amarre correcto, debe utilizarse el alambre de amarre, para lo cual debe pasar el alambre de modo continuo por todos los huecos de la malla dando siempre una doble vuelta cada dos huecos. Para colocar los gaviones caja debe seguirse los siguientes pasos:

- *El montaje:* Para armarlo se deberá extender y proceder a su costura siguiendo los siguientes pasos (ver figura 1.24). Se debe coser primero los cabezales "D" a los lados "B"; en seguida se levanta y cosen los diafragmas "E" a los lados "B". Se obtiene así la forma de un paralelepípedo abierto (una caja). Una vez formada esta caja, se unen los alambres de borde que sobresalen de las aristas de los paños torciéndolos entre sí. Usando el alambre enviado junto con los gaviones, se amarran las aristas verticales que están en contacto. De la misma forma se amarra el(los) diafragma(s) separador(es). De esta forma los gaviones quedarán divididos en células iguales. Para cada arista de 1 metro de largo, son necesarios aproximadamente 1,4m de alambre. La tapa, en esta etapa, debe ser dejada doblada sin ser amarrada.

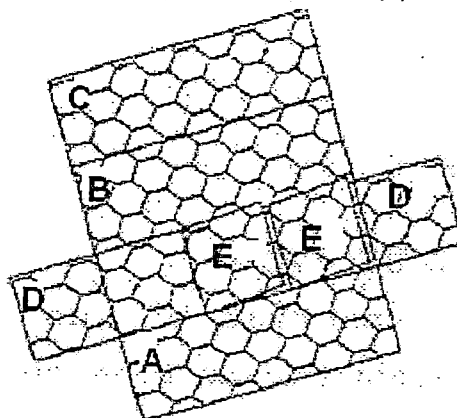
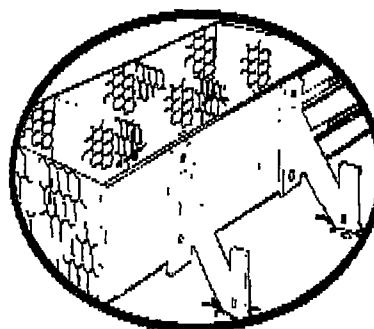


Figura 1.24 Paneles del gavión caja

- **Colocación:** El elemento, ya montado, es transportado (de forma individual o en grupos) al lugar definido en el proyecto y ubicado apropiadamente. Los elementos, entonces, son amarrados, aún vacíos, uno al otro a lo largo en todas las aristas en contacto (menos las tapas), formando la primera camada de la estructura. Las tapas deben ser dobladas en dirección a la cara externa y dispuestas de tal manera que sea facilitado el llenado. El plano de apoyo debe ser previamente preparado y nivelado. Debe ser verificado que las características de resistencia del terreno sean similares o iguales a las consideradas en el proyecto. Caso contrario, la cara superior del terreno debe ser substituida por material granular de buenas características (una resistencia menor que la prevista puede poner en riesgo la estabilidad de la obra).

Para garantizar que la estructura presente la estética esperada, debe ser realizado un buen acabado de la cara frontal. Para eso se puede recurrir a la utilización de un tirfor o encofrado (figura 1.25). El encofrado puede ser formado por tres tablas de madera de aproximadamente 2 a 3cm de espesor, 4 a 5m de largo, y de 20cm de ancho, mantenidas paralelas a una distancia de 20cm una de la otra por tablas transversales menores, formando grillas de aproximadamente 1 x 4 m. o 1 x 5 m. El encofrado debe ser fijado firmemente a la cara externa, usando el mismo alambre de amarre.

Figura 1.25
Detalle de utilización
del encofrado



Paralelamente a la operación de colocación y alineamiento de las maderas de encofrado, se procede al amarre entre si (usualmente 4 piezas) de los gaviones cajas, vacíos a un lado de la obra. Las maderas de encofrado mal ubicadas o mal alineadas, deberán ser retiradas, los gaviones deben ser cuidadosamente colocados dentro de los encofrados, ya que si se colocan mal, favorecen la deformación de la obra durante la ejecución.

Se debe colocar los gaviones vacíos contra los encofrados, siempre amarrándolos entre si pero dejando abierta las esquinas y manteniendo las tapas abiertas, para iniciar la colocación de las rocas. Para amarrar dos gaviones entre si, se empieza por las esquinas de los paralelepípedos, cociendo de un solo amarre los lados de una malla.

- *El llenado:* Las rocas deben ser colocadas (acomodadas) apropiadamente para reducir al máximo el índice de vacíos, conforme a lo previsto en el proyecto (entre 30% y 40%), hasta alcanzar los 0.30 m. o un tercio de altura (ver figura 1.26), para el caso de gaviones con 1.0 m de altura y 0.25 m. para los de 0,50 m. de altura. Deben entonces ser colocados dos tirantes (tensores) horizontalmente a cada metro cúbico (en cada célula).

Los tirantes deben ser amarrados a dos torsiones (mínimo cuatro alambres distintos) de la cara frontal (aprovechando el espacio

existente entre las tablas del encofrado) y a dos de la posterior de cada célula.

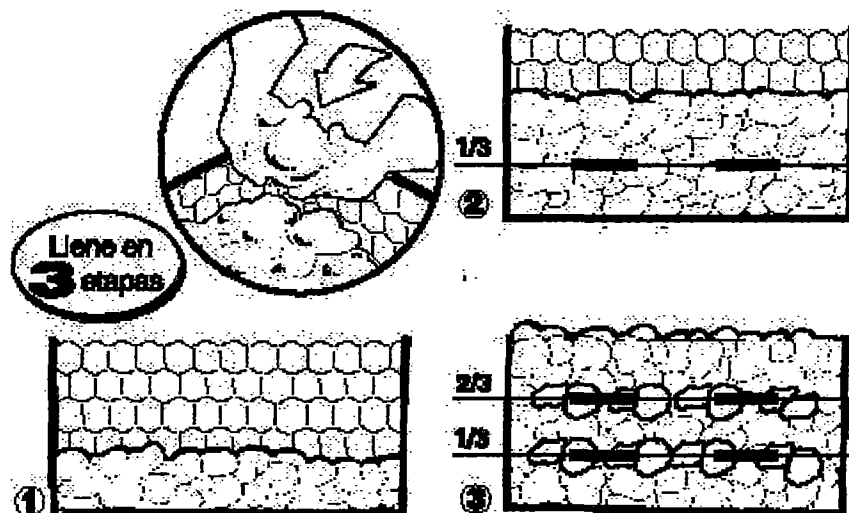


Figura 1.26 Llenado de un gavión con 1.0 m. de altura ⁽¹⁾

Para los gaviones con 1,0 m de altura, posteriormente a esta etapa inicial de llenado, debe ser llenado otro tercio de la célula y repetida la operación anteriormente mencionada para los tirantes. Es así completado el llenado de cada celda hasta que su altura exceda en aproximadamente 3 cm. a 5 cm. la del gavión.

El llenado de los gaviones adyacentes debe seguir la secuencia mostrada en la figura 1.26. Es importante tomar en cuenta el tamaño de las rocas de relleno de los gaviones, estas no debe ser mayores a 2 o 2.5 veces la mayor dimensión de la menor dimensión de la cocada de la malla para evitar que la estructura se vuelva rígida.

Es importante tomar en cuenta la calidad de la roca, se recomienda que sea buena, es decir, densa, tenaz, durable, libre de grietas y sustancias extrañas, de preferencia *graniodorita* o *cantos rodados* son las mas apropiadas debido a que estas no presentan aristas ni angulosidades en sus cuerpo, evitando que la malla pueda

¹ DE ALMEIDA Barros, Pérsio Leister. Obras de Contención Manual Técnico. p 189

quebrase si se apoya en una piedra de estas características y a su vez es golpeada por otra que arrastra el flujo del río.

- *El cierre:* Una vez completado el llenado de las gaviones, la tapa que había estado doblada, será desdoblada sobre la caja con la finalidad de cerrar superiormente el gavión, siendo amarrada, a lo largo de su perímetro libre, con todos los bordes superiores de los paneles verticales y, posteriormente, al(los) diafragma(s). El amarre debe unir, siempre que sea posible, los bordes en contacto con los gaviones vecinos.

1.4.3 COMO COLOCAR LOS GAVIONES TIPO COLCHÓN

Se rellenan de manera análoga a los gaviones caja. No utilizan los encofrados debido al pequeño espesor de los gaviones. En caso de canalizaciones, cuando los colchones están revistiendo taludes y fondos de canales, se prefiere utilizar piedras laminares en la parte externa de los gaviones dispuestas de manera tal que un plano que contiene la misma este paralelo a la superficie de los taludes y/o fondo de canal; tal recomendación se justifica cuando se presenta mejor la eficiencia hidráulica de los canales reduciendo los coeficientes de rugosidades del canal. Los gaviones colchón tiene la finalidad de proteger y revestir taludes, no siendo por lo tanto su finalidad la de estabilizar taludes. Estas deberán estar con una inclinación compatible con el ángulo de fricción interno del talud de colocación de los gaviones colchón.

- *El montaje:* Consiste, inicialmente, en retirar la base de cada pieza del fardo y transportarla, aún doblada, hasta el lugar preparado para el montaje, donde entonces será desdoblada sobre una superficie rígida y plana y, con los pies, serán eliminadas todas las irregularidades de sus paneles hasta obtenerse el largo nominal de la pieza.

Siguiendo con el montaje, se juntan con los pies las paredes de los diafragmas que queden abiertas (figura 1.27) y se levantan las paredes laterales de los diafragmas a la posición vertical utilizando los cortes como guías para la definición de la altura de cada elemento. Es aconsejable la utilización de listones de madera para doblar correctamente las paredes. Al colocar las paredes longitudinales en posición vertical, las extremidades de las paredes transversales que quedan sobresalientes deben ser dobladas y amarradas a las paredes longitudinales usando los alambres de mayor diámetro que sobresalen de las mismas.

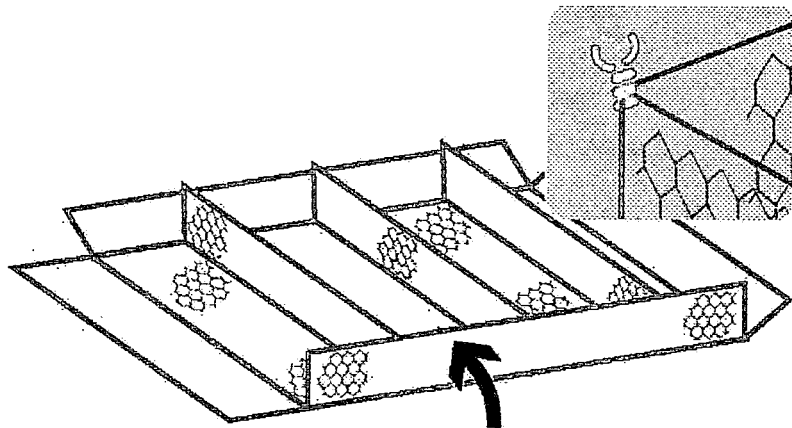


Figura 1.27 Detalle de la conformación del colchón ⁽¹⁾

Las partes dobladas de las paredes longitudinales deben ser amarradas a los diafragmas, usando el alambre de amarre enviado junto con los colchones, de tal manera que estos dobleces coincidan y se fijen a los diafragmas. De esta forma, el colchón queda separado en celdas a cada metro.

- **Colocación:** Los colchones, ya montados, serán transportados hasta el lugar definido en el proyecto, ubicados apropiadamente y amarrados (con el mismo tipo de costura utilizada para los diafragmas) entre si, aún vacíos, en todas las aristas en contacto. Es importante recordar que en caso que el talud sea muy inclinado, la instalación de los colchones debe ser hecha con el auxilio de

⁽¹⁾ PRODAC. Gaviones. Tipos de gaviones. Armado de colchones www.gavion.com.

elementos que garanticen a su estabilidad (estacas de madera, grapas etc.). Deben ser extraídas las raíces, rocas y cualquier material que sobresalga y rellenar eventuales depresiones, hasta conseguir una superficie regular.

Durante el montaje de los colchones, deben ser colocados tirantes verticales cada metro cuadrado (m^2) que unirán la tapa a la base de los colchones, auxiliando en el confinamiento del material de relleno y minimizando la posibilidad de deformaciones durante la vida de servicio del revestimiento. Tales tirantes serán obtenidos pasándose la parte central de un pedazo de alambre de amarre (cuyo largo sea de aproximadamente cuatro veces el espesor del colchón) por dos torsiones (cuatro alambres) de la base y dejando las extremidades en la posición vertical (figura 1.28).

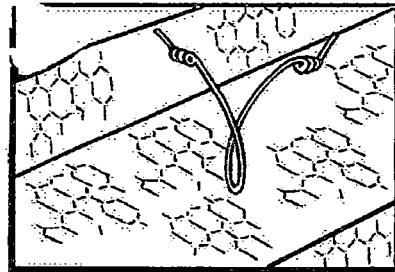


Figura 1.28
Detalle del tirante vertical ⁽¹⁾

- *EL Llenado:* Cuando sean colocados en terrenos inclinados, se inicia el llenado de los colchones a partir de la parte inferior del talud; las piedras deben ser colocadas apropiadamente para reducir al máximo el índice de vacíos, conforme sea previsto en el proyecto (entre 25% y 35%). El tamaño de las piedras debe ser homogéneo y levemente superior a las aberturas de las mallas del colchón a fin de garantizar un mínimo de dos capas de piedras, un buen acabado y un fácil llenado.

Durante el llenado, se debe tomar cuidado para que los tirantes verticales sobresalgan de las piedras para que puedan ser posteriormente amarrados a las tapas. Por el mismo motivo, se debe también tener cuidado que los diafragmas queden en posición

⁽¹⁾ MACCAFERRI. Como colocar colchones Reno.

vertical. Se completa el llenado de cada celda hasta exceder en su altura en aproximadamente tres centímetros. Superar este límite puede generar dificultades a la hora del cierre de los colchones.

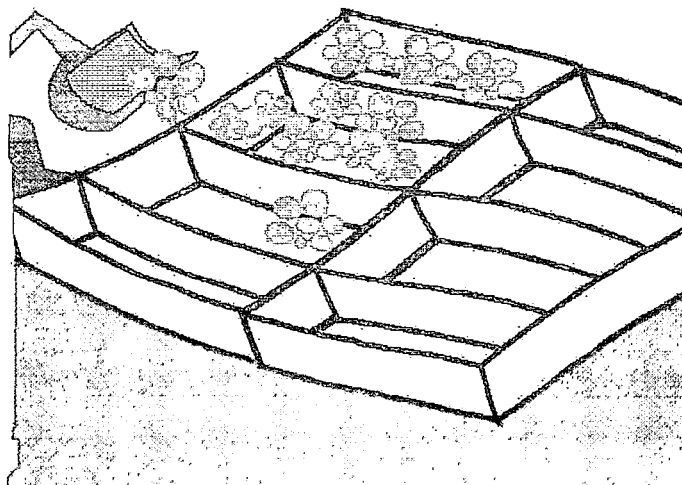


Figura 1.29 Llenado del gavión colchón ⁽¹⁾

- *El Cierre:* Una vez completado el llenado de los colchones, deben ser traídas, desde el lugar donde fueron depositadas, las tapas aún dobladas. Cada tapa será entonces desdoblada y extendida sobre el respectivo colchón.

Después de amarrada en uno de los bordes del colchón, la tapa debe ser estirada y amarrada a lo largo de los otros bordes. El amarre debe, siempre que sea posible, unir también el borde del colchón contiguo. Finalizando, la tapa debe también ser amarrada a los diafragmas y a los tirantes verticales.

1.4.4 COMO COLOCAR LOS GAVIONES TIPO SACO

Los Gaviones saco son suministrados doblados y agrupados en fardos (similares a los gaviones tipo caja). Los alambres necesarios para las operaciones de montaje y unión de los gaviones pueden ser enviados dentro del mismo fardo o separados. Los fardos deben ser

⁽¹⁾ PRODAC. Gaviones. Tipos de gaviones. Armado de colchones www.gavion.com.

almacenados, siempre que sea posible, en un lugar próximo al escogido para el montaje. El lugar donde serán montados los gaviones, para facilitar los trabajos, deberá ser plano, duro y de dimensiones aproximadas mínimas de $16m^2$ y con inclinación máxima de 5%.

El gavión está constituido por un único paño en malla hexagonal de doble torsión. Dos alambres, con las mismas características y de mayor diámetro, son insertados en la malla, en cada extremidad, perpendicularmente a las torsiones dejando las extremidades salientes.

- *El Montaje:* Los gaviones son retirados del fardo y transportados, aún doblados, al lugar preparado para el montaje, donde serán desdoblados sobre una superficie rígida y plana, y con los pies, serán eliminadas todas las irregularidades del paño. El paño será enrollado, en sentido longitudinal, hasta formar un cilindro abierto en las extremidades, cuyas generatrices son paralelas a las torsiones de la malla. Usando parte del alambre de amare enviado junto con los gaviones, son amarrados, entre si, los primeros 30cm de los bordes longitudinales en contacto, en cada extremidad de cada elemento (figura 1.30).

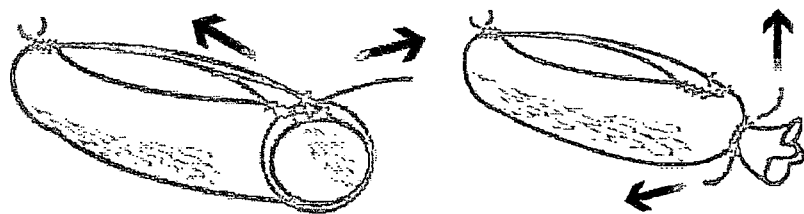


Figura 1.30 Amarre y cierre de las extremidades del gavión saco ⁽¹⁾

La punta suelta del alambre es enrollada firmemente alrededor de la extremidad del cilindro antes de ser estirada. La misma operación se repite en la otra extremidad del elemento. El cilindro es levantado verticalmente y lanzado contra el suelo o “pisado”

⁽¹⁾ PRODAC. Gaviones. Tipos de gaviones. Armado de sacos. www.gavion.com.

internamente hasta conformar las extremidades del gavión. El aspecto final será el de un puro.

El mismo alambre de amarre, cortado en pedazos con largo de 1,5 veces la circunferencia del cilindro, es insertado cruzando la malla en sentido perpendicular a las torsiones, a cada metro, dejando las extremidades salientes dobladas hacia atrás (tirantes) como se aprecia en la figura 1.31.

De la misma forma son colocados en sentido diametral, a cada metro, otros pedazos de alambre de amarre, cuyo largo sea de aproximadamente 3 veces el diámetro del gavión, cumpliendo también la función de tirantes. La parte central del alambre debe prender dos torsiones (cuatro alambres), diametralmente opuestas a la parte abierta del gavión y las extremidades ser dejadas fuera del mismo.

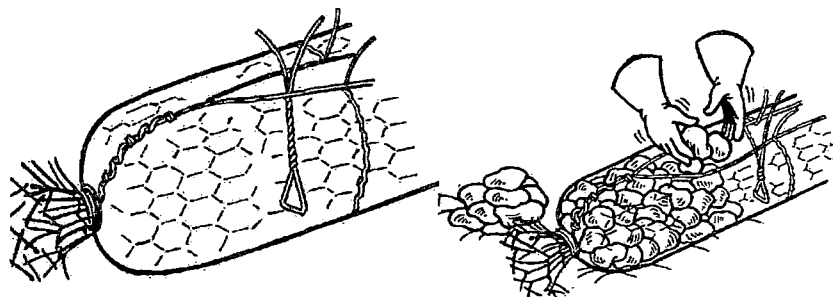


Figura 1.31 Detalle de los tirantes y llenado del gavión ⁽¹⁾

- **Llenado y Cierre:** Como ya se ha mencionado, para el llenado deben ser usadas rocas limpias, compactas, no friables y no solubles en agua, tal que puedan garantizar el comportamiento y la resistencia esperada para la estructura. Las rocas deben ser colocadas, desde las extremidades hasta el centro del gavión (ver figura 1.31), con el cuidado de reducir al máximo el índice de vacíos, conforme sea previsto en el proyecto (aproximadamente de 30% a 40%).

⁽¹⁾ MACCAFERRI. Como colocar gaviones saco.

Cada vez que sea levantado un tirante diametral, este deberá ser amarrado a los bordes de la abertura, de esta forma el gavión será progresivamente cerrado. Los tirantes perimetrales, que fueron insertados durante la etapa de montaje, deben ser amarrados a las mallas para evitar eventuales deformaciones del elemento durante su transporte.

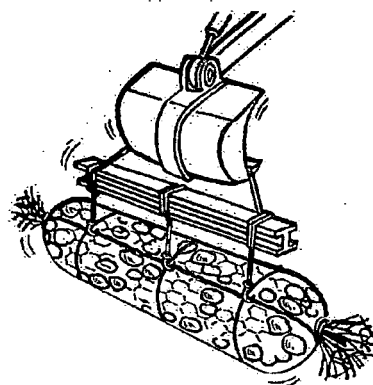
- **Colocación:** Después de montados y llenados los gaviones saco, los gaviones deben ser colocados con la ayuda de equipos adecuados, hasta el lugar definido en el proyecto (en la gran mayoría de los casos, los gaviones tipo saco son instalados llenos). Para ser levantados, los gaviones serán sujetos por ganchos, longitudinalmente a lo largo de los bordes de unión del paño.

Es importante que para distribuir las tensiones generadas por el peso propio del elemento a lo largo de la malla que lo constituye, sea utilizado un elemento metálico de largo aproximadamente igual al del gavión, en el cual son conectados cables o cadenas usados para el izado.

Para evitar deformaciones excesivas, es aconsejable que los puntos de enganche coincidan con la posición de los tirantes. El gavión debe ser levantado horizontalmente y transportado hasta su posición final, sin movimientos bruscos. Es conveniente que al apoyar los gaviones no sean dejados espacios entre ellos. Los gaviones tipo saco no necesitan ser amarrados entre si.

Figura 1.32

Detalle del sistema de izado normalmente ⁽¹⁾



⁽¹⁾ MACCAFERRI. Como colocar gaviones saco.

Capítulo 2

Impacto de Sólidos en Estructuras Hidráulicas a Base de Gaviones

Las investigaciones sobre el impacto de elementos en estructuras relacionadas con los ríos, como por ejemplo los pilares de los puentes, han tenido un enfoque relacionado a los flujos de escombros "flowing debris", los cuales son una masa heterogénea conformada por arenas, gravas, cantos rodados, árboles, basura, en fin todo lo que un río pueda acarrear, actuando en bloque. Por lo general estos flujos de escombros se relacionan con ríos de gran caudal y de poca pendiente. Instituciones como la FHWA ⁽¹⁾ han investigado los flujos de escombros como un todo, sin individualizar cada elemento que conforma este flujo.

Pero ¿que sucede con los impactos puntuales, es decir, los impactos generados por el arrastre de rocas? Estas rocas con el traslado y labrado de las mismas se convierten en cantos rodados, los cuales no se trasladan en bloques o agrupadas entre sí, sino en forma incierta y con una trayectoria difícil de prever. Lo que si sabemos es que debido a su peso y su velocidad con la que se trasladan, causan daños en las estructuras presentes en los ríos. Este efecto se le conoce como el impacto de sólidos, el cual debe analizar las rocas como elementos únicos y no como una masa heterogénea, es decir, cada elemento genera un impacto diferente tanto en forma cualitativa como cuantitativa. Instituciones como la NAASRO ⁽²⁾ y "The Highways Agency (Inglaterra)" toman en consideración los impactos puntuales de los sólidos en los pilares de los puentes, impactos que se basan en la energía cinética de dichos sólidos.

En este capítulo, de manera rápida, se mostrará los criterios que existen para predecir la iniciación del movimiento de los sólidos en flujos newtonianos, la forma del transporte de estos sedimentos, la distribución de velocidades en un curso de agua y la metodología para estimar las magnitudes de impacto en

⁽¹⁾ Federal Highway Administration (E.E.U.U)

⁽²⁾ National Association of Australian State Road Authorities. (Australia).

estructuras presentes en los ríos. Finalmente se detalla el posible comportamiento del gavión frente a estos impactos.

Queda claro que determinar con exactitud el impacto de sólidos es una tarea muy difícil debido a la presencia de múltiples variables, las cuales cambian de acuerdo a la realidad de cada río.

2.1 LA INICIACIÓN DE MOVIMIENTO DE LOS SEDIMENTOS

Uno de los problemas que enfrenta el estudio del mecanismo del transporte de sedimentos, es la determinación de las condiciones críticas de iniciación de movimiento. Su importancia es relevante en representaciones de laboratorio para los cuales la obtención de similitudes cinemáticas y dinámicas del transporte exigen la representación de estas condiciones críticas, las que a la fecha, no obstante su importancia, no pueden ser precisadas con exactitud.

Se puede deducir que los sedimentos pueden moverse inicialmente en diferentes formas, haciendo muy difícil encontrar una única expresión para las condiciones de iniciación de movimiento, Shields con un análisis de las fuerzas actuando sobre un grano, igualando la fuerza de draga y el peso sumergido del sedimento, obtuvo la siguiente función:

$$\tau_c^* = \frac{\tau_{o,c}}{d \times (\gamma_s - \gamma)} = f_1 \left(\frac{V_* d}{\nu} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde:

τ_c^* = Parámetro de Shields. $\tau_{o,c}$ = Esfuerzo tractivo crítico.

d = Diámetro de la partícula sólida. γ_s = Peso específico del sólido.

γ = Peso específico del agua. ν = Viscosidad cinemática.

$f_1(\)$ = Función.

Todo fluido moviéndose sobre un lecho de material movable presenta un perfil de velocidades $V_h = U(y)$. La fuerza ejercida sobre los sedimentos puede descomponerse en dos acciones: una paralela a la dirección media

del flujo llamada Fuerza de Draga (FD) y otra normal a la primera, llamada Fuerza de Levantamiento (FL). En sedimentos no cohesivos tales como arena y grava, las fuerzas resistentes al movimiento, son las fuerzas debidas al peso de las partículas disminuidas por los efectos de flotación del fluido.

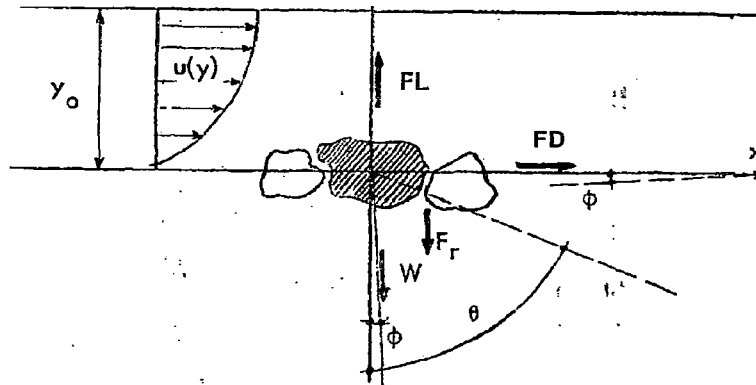


Figura 2.1 Diagrama esquemático de las fuerzas actuando en un grano ⁽¹⁾

En la figura. 2.1 muestra estas fuerzas actuando sobre los sedimentos. Siendo estas fuerzas expresadas de la forma siguiente:

$$FD = C_D \times A_D \times \rho_s \times \frac{V_h^2}{2} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$FL = C_L \times A_L \times \rho_s \times \frac{V_h^2}{2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Donde:

C_D = Coeficiente de draga $f(s.f, f_1)$.

C_L = Coeficiente de levantamiento $f(s.f, f_1)$.

$s.f$ = Factor de forma.

f_1 = Función de Shields.

$$A_D = \text{Área de la sección normal a } FD = k_1 \times \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_L = \text{Área de la sección normal a } FL = k_2 \times \frac{\pi \times d^2}{4}$$

⁽¹⁾ CORONADO Del Águila, Francisco. La iniciación de los movimientos de los sedimentos. VI Seminario Latinoamericano de Irrigación y Drenaje. Fig. 3.

ρ_s = Densidad del sólido.

V_h = Velocidad a la distancia h del fondo.

k_1 y k_2 = Factores de forma.

En la ponencia del Ing. Francisco Coronado, en el VI Seminario Latinoamericano de Irrigación y Drenaje, se presentan los análisis de los posibles modos en los que los sedimentos no cohesivos pueden iniciar su movimiento:

- Por deslizamiento.
- Por rodamiento.
- Por levantamiento.
- Por una combinación de efectos.

2.1.1 ESFUERZO CORTANTE CRÍTICO SOBRE LECHOS GRANULARES

Conocido el material que forma el fondo de un cauce, se desea conocer las condiciones hidráulicas que puedan iniciar su movimiento. Existen diferentes criterios o relaciones dadas por diferentes autores para suelos granulares o no cohesivos.

Uno de estos criterios es el esfuerzo cortante crítico " $\tau_{0,c}$ ". Se denomina esfuerzo cortante crítico al esfuerzo necesario para poner en movimiento las partículas que constituyen el lecho. La distribución del esfuerzo cortante en un río se describe mediante la siguiente expresión:

$$\tau_h = \gamma \times (y - h) \times S \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

τ_h = Esfuerzo de corte a la altura "h", medida desde el fondo.

y = Tirante del flujo.

h = Distancia del fondo donde se calcula el esfuerzo de corte.

S = Pendiente.

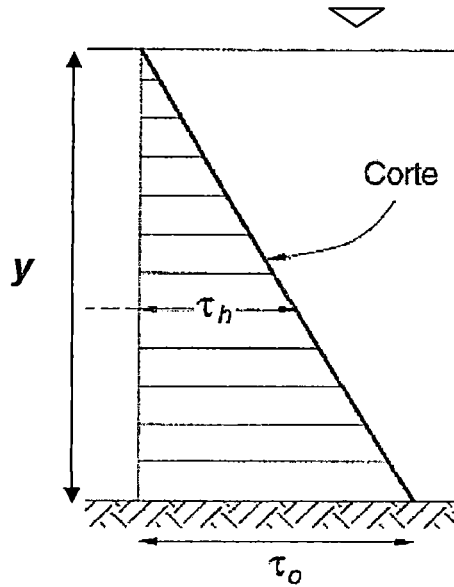


Figura 2.2 Distribución de esfuerzos cortantes

El esfuerzo sobre el fondo de un río puede expresarse como:

$$\tau_o = \gamma \times y \times S = \gamma \times R \times S = \frac{\gamma}{C^2} \times V^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Donde:

- τ_o = Esfuerzo de corte sobre el fondo.
- R = Radio hidráulico.
- C = Coeficiente de Chezy.
- V = Velocidad media.

El movimiento de las partículas empieza cuando el esfuerzo de corte actuante en el fondo es mayor al esfuerzo cortante crítico.

$$\tau_o > \tau_{o,c} \dots\dots\dots(2.6)$$

En la publicación "Introducción a la hidráulica fluvial" del ingeniero Arturo Rocha, se muestra los esfuerzos cortantes críticos en función del diámetro de las partículas para un peso específico de 26 kN/m³ (2.65 T/m³) realizado por Maza y Garcia Flores.

A) PRINCIPIOS DE SHIELDS

Los coeficientes de las fuerzas del flujo que actúan sobre la particular (C_D y C_L) están en función de la velocidad de corte (V_*),

diámetro de la partícula (d) y la viscosidad cinemática (ν). Shields relaciona estas variables y las agrupa en el índice de inestabilidad (Re_*), donde:

$$Re_* = \frac{V_* \times d}{\nu} \dots\dots\dots(2.7)$$

Luego de realizar ensayos con diferentes elementos (ambar, lignito, granito, arena y otros materiales) llegó a relacionar el esfuerzo cortante crítico ($\tau_{0,C}$) como función del índice de inestabilidad:

$$\tau_c^* = \frac{\tau_{0,C}}{(\gamma_s - \gamma) \times d} = f(Re_*) \dots\dots\dots(2.8)$$

Donde:

τ_c^* = Parámetro de Shields.

La relación entre estas variables la podemos encontrar el diagrama de Shields. Hay que recordar que para valores de Re_* mayores de 400, el valor del esfuerzo cortante crítico estará dado por la función:

$$\tau_{0,C} = 0.06 \times (\gamma_s - \gamma) \times d \dots\dots\dots(2.9)$$

B) PRINCIPIOS DE SHIELDS MODIFICADO

Shields no toma en cuenta directamente el efecto de la profundidad relativa (D/d), que es la relación entre la profundidad hidráulica y el diámetro de la partícula. En 1968 Bogardi desarrolló una familia de curvas basándose en los principio de Shields pero con algunas variantes como:

$$\tau_c^* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \times d} = \frac{\gamma}{(\gamma_s - \gamma)} \times \frac{D}{d} \times S \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Re_* = \frac{V_* \times d}{\nu} = \left(\frac{d^{3/2}}{\nu} \right) \times \sqrt{g \times \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}} \times \tau_c^{*1/2} \dots\dots\dots(2.11)$$

De estas relaciones, Askoy (1973) obtuvo gráficos para valores diferentes de D/d , que son válidos para partículas con diámetro mayor a 0.2 mm.

C) PRINCIPIOS DE LANE

Lane estableció algunas formulas, que u se presenta en forma gráfica, para la determinación del esfuerzo tractivo crítico ($\tau_{0,C}$) en función de la concentración de sólidos en suspensión.

2.1.2 VELOCIDAD MEDIA CRÍTICA SOBRE LECHOS GRANULARES

Otro criterio para conocer, a partir características hidráulicas de una corriente de agua, el momento en que empieza a moverse las partículas del fondo, es conociendo la velocidad media crítica (V_C).

Puesto que en cualquier vertical de la sección de un río, existe una distribución logarítmica de las velocidades, y la velocidad media se obtiene aproximadamente a “ $0.368 \times y$ ” sobre el fondo, siendo “ y ” el tirante; la velocidad media crítica es función del tirante de la corriente y por tanto, para evaluarla es necesario conocer el diámetro de la particular y el tirante. Debido a la distribución logarítmica de las velocidades, cuanto menor sea el tirante se requiere menos velocidad media para arrastrar la misma partícula.

El movimiento de las partículas empieza cuando la velocidad media actuante es mayor al la velocidad media crítica.

$$V > V_C \dots\dots\dots(2.12)$$

En la publicación “Introducción a la Hidráulica Fluvial” del ingeniero Arturo Rocha, se muestra las velocidades críticas en función del diámetro de las partículas para un peso específico de 26 kN/m^2 (2.65 t/m^2) y un tirante de 1 m. , realizado por Maza y Garcia Flores; además Lischtvan Levediev dio velocidades medias críticas para diferentes tamaños de partículas en función del tirante medio de la corriente. (ver “Manual de diseño de Obras Civiles”, de la comisión federal de electricidad, México).

A) PRINCIPIOS DE MAZA Y GARCIA FLORES

En 1978 Maza y Garcia Flores propusieron la siguiente expresión

para determinar la velocidad media crítica:

$$V_c = 4.712 \times \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{1/2} \times d^{0.35} \times R^{0.15} \dots\dots\dots (2.13)$$

Donde:

V_c = Velocidad media crítica.

d = Diámetro de la partícula.

R = Radio hidráulico.

Esta fórmula es válida para tirantes entre 0.4 y 10 m.

B) PRINCIPIOS DE NOVAK

Novak en 1948 informó sobre un experimento que se basaba en obtener la velocidad media crítica para hacer girar, alrededor de un eje horizontal perpendicular a la dirección del flujo, un cubo puesto de forma tal que una de las caras estuviera normal al flujo. Estos resultados fueron extrapolados para un prisma rectangular. De esta experiencia se obtuvo la siguiente relación:

$$V_c = \frac{L}{h_1} \times \left[1.59 \times \frac{1.28}{\left(5.8 + \frac{y}{h_1} \right)^{1/3}} \right] \times \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \times g \times h_1} \dots\dots (2.14)$$

Donde:

L = Longitud del prisma paralelo a la dirección del flujo (cm.)

h_1 = Lado de la cara del cubo ortogonal a la dirección del flujo (cm.)

y = Tirante (cm.).

Los experimentos cubrieron un rango de " h_1 " entre 0.7 y 10 cm. y relaciones " h_1/y ", variables entre 1/37 y 1/3.

C) PRINCIPIOS DE NEILL

Nelly se basó en las experiencias de diferentes investigadores (Kramer, Bogardi, Indri) para proponer la siguiente expresión:

$$\frac{\gamma \times V_c^2}{(\gamma_s - \gamma) \times d} = 2.5 \times \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.2} \dots\dots\dots(2.15)$$

Donde:

d/D = rugosidad relativa

Esta fórmula es válida para rugosidades relativas comprendidas entre 0.01 y 0.5.

2.2 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El material transportado por un río es proveniente de la erosión de las cuencas como consecuencia de las lluvias y de otros agentes atmosféricos que se presentan en ella.

El transporte se produce aun para una situación de permanencia (Q= constante), si embargo las variaciones eventuales del caudal, producen una gran variación en el transporte como consecuencia de lo cual la sección transversal de un río experimenta cambios.

Las partículas son transportadas de tres maneras diferentes: las de mayor tamaño ruedan sobre el fondo constituyendo el transporte sólido de fondo; las más finas van en suspensión; y es posible que ciertas partículas se transportan de un modo especial, a saltos.

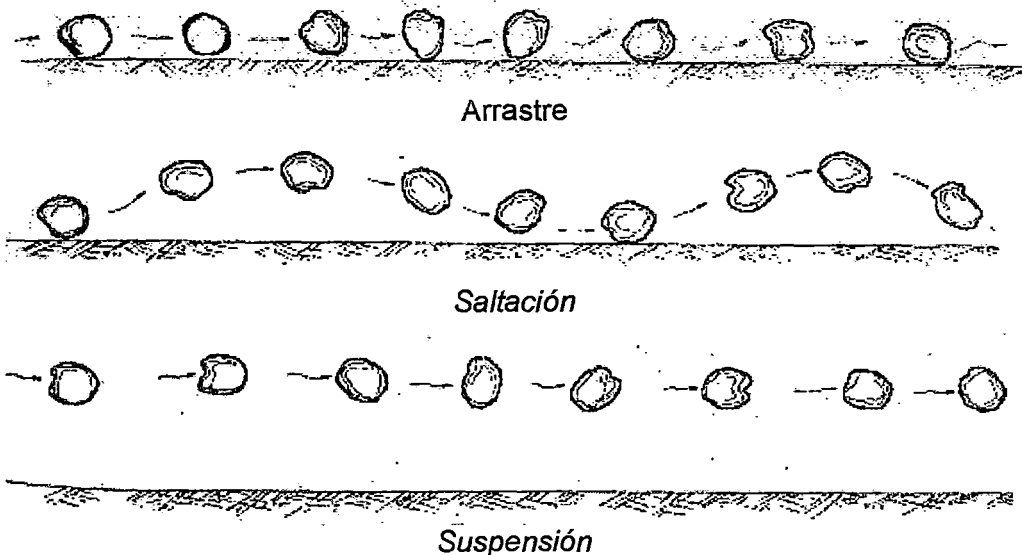


Figura 2.3 Métodos de transporte de sólidos ⁽¹⁾

⁽¹⁾ ROCHA Felices, Arturo. Transporte de Sedimentos.

Para fines prácticos se considerará una partícula en suspensión, si cumplen la condición de Bagnold:

$$V_* > w \dots\dots\dots (2.16)$$

Donde:

V_* = Velocidad de corte.

w = Velocidad de caída de una partícula dentro de un flujo.

Otro criterio está dado por el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Delft (Holanda), en la cual se considerará a una partícula en suspensión si al desplazarse se mantiene separada del fondo una distancia mayor a 100 veces su diámetro.

Para tener una noción de la magnitud, en cuanto a los diámetros de partículas, haremos referencia a la clasificación de partículas según la American Geophysical Union (escala de Wentworth),

Cuadro 2.1 Clasificación de partículas (escala de Wentworth)

Clasificación		Diámetro (mm)
Cantos Rodados	muy grandes	4 000 – 2 000
	grandes	2 000 - 1 000
	medianos	1 000 – 500
	pequeños	500 – 250
Guijarros	grandes	250 – 125
	pequeños	125 – 64
Gravas	muy gruesa	64 – 32
	gruesa	32 – 6
	media	16 – 8
	fina	8 – 4
	muy fina	4 – 2
Arenas	muy gruesa	2 – 1
	gruesa	1 – 0.5
	media	0.5 – 0.25
	fina	0.25 – 0.125
	muy fina	0.125 – 0.062
Limos		0.062 – 0.004
Arcillas		0.004 – 0.00024

No se puede decir, en forma certera, los rangos de dimensión en que las

partículas se transportan por arrastre, saltación o suspensión; dependerá de las condiciones hidráulicas que se presente en un río. Pero en general se puede decir que las arcillas, limos y arenas finas se transportan por suspensión, los guijarros y cantos rodados por arrastre.

2.3 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN UNA SECCIÓN DE RÍO

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad; cuanto más cerca de las márgenes, más profundo se encuentra este máximo.

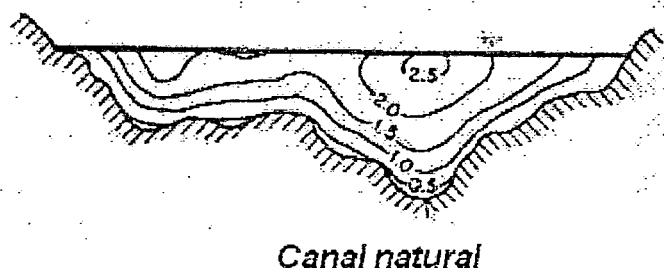


Figura 2.4 Curvas comunes de igual velocidad

La distribución de velocidades en una sección de canal depende también de otros factores, como una forma inusual de la sección, la rugosidad del canal y la presencia de curvas. En una corriente ancha, rápida y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra en la superficie libre. En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo. Contrario a la creencia usual, el viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades.

Para expresar la distribución de velocidades en una sección de río, debemos determinar la naturaleza hidráulica de su contorno, es decir, si su contorno es hidráulicamente liso, rugoso o en transición.

En caso de los contornos hidráulicamente lisos se debe cumplir lo siguiente:

$$k \leq 0.40 \times \delta \quad \text{o} \quad \frac{V_* \times k}{\nu} \leq 5 \dots\dots\dots(2.17)$$

Donde:

k = Rugosidad absoluta.

δ = Espesor de la subcapa laminar.

En el caso de los contornos hidráulicamente rugosos se debe cumplir lo siguiente:

$$\frac{V_* \times k}{\nu} \geq 70 \dots\dots\dots(2.18)$$

Y en el caso de un contorno en transición:

$$5 \leq \frac{V_* \times k}{\nu} \leq 70 \dots\dots\dots(2.19)$$

Sabiendo el contorno hidráulico del la sección del río, podemos determinar en un flujo turbulento la distribución vertical de velocidades, la cual tiende a ser logarítmica, cuya ecuación es la siguiente:

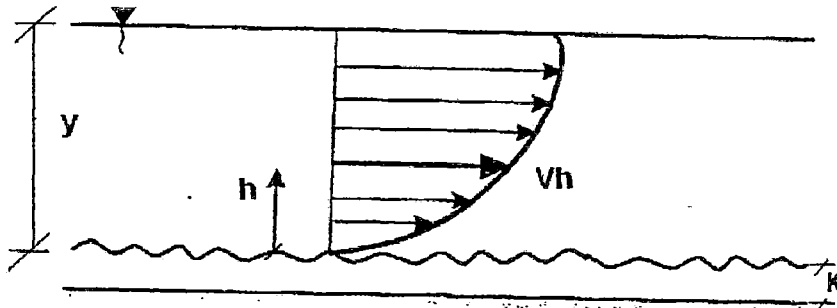


Figura 2.5 Distribución de velocidades

C.H.R $V_h = \frac{V_*}{\kappa} \times \ln\left(\frac{30 \times h}{k}\right) = 5.75 V_* \times \log\left(\frac{30 \times h}{k}\right) \dots\dots\dots(2.20)$

C.H.L $V_h = 5.75 \times V_* \times \log\left(\frac{104 \times h}{\delta}\right) = 5.75 \times V_* \times \log\left(\frac{9 \times h \times V_*}{\nu}\right) \dots\dots(2.21)$

Donde:

C.H.R = Contorno hidráulicamente rugoso

C.H.L = Contorno hidráulicamente liso

V_h = Velocidad puntual a la distancia "h" del fondo

κ = Constante de Karman (0.4 para fluidos sin sedimentos)

h = Distancia del fondo.

2.4 METODOLOGÍA PARA CUANTIFICAR LAS MAGNITUDES DE IMPACTO

La cinemática de un sólido a lo largo de un río (o parte de él), depende de numerosos factores, los cuales no son fáciles de expresar. En muchos casos hay que predecir o estimar cual será la posible trayectoria de un sólido en determinado tramo de un río.

En lo referente a las cargas de impacto de los sólidos en estructuras hidráulicas, tomamos como referencia las cargas consideradas en los pilares de los puentes ⁽¹⁾, los cuales pueden tomar una de las dos formas siguientes:

- a) La carga resultante de la colisión de los sólidos con una estructura.
- b) Las fuerzas hidrodinámicas sobre los sólidos acumulados, que se transfieren a la estructura.

Esta investigación está enfocada en la carga resultante de la colisión de los sólidos con una estructura dentro de un curso de agua. Existen metodologías, las cuales son planteadas por NAASRO y por "The Highways Agency (Inglaterra)" para estimar la magnitud de las cargas de impacto de un sólido en movimiento dentro de un curso de agua, las cuales se basan en la energía cinética de dicho sólido. Estas instituciones consideran que si un sólido impacta con el pilar de un puente, este sólido puede desplazarse a una velocidad equivalente a la velocidad media del río, es decir, la magnitud de impacto sería:

$$E = E_c = \frac{1}{2} \times m \times V^2 \dots\dots\dots(2.22)$$

Donde:

E = Energía de impacto.

E_c = Energía cinética.

m = Masa del sólido.

V = Velocidad media del río.

En el Reino Unido tienen registros de troncos de aproximadamente 3 toneladas viajando en un curso de agua a una velocidad cercana a los 4.47 m/s (10 mph), es decir, con una energía impacto de aproximadamente 30 kJ.

⁽¹⁾ FARRADAY, R.V. y Charlton F.G. Hydraulic factors in bridge design.

Teniendo claro que la magnitud de impacto de un sólido dentro de un curso de agua es la energía, específicamente, la energía cinética, tenemos que conocer la cinemática de dicho sólido. Tomando en consideración los conocimientos de hidráulica fluvial, podemos estimar, con un poco mas de precisión, las posibles magnitudes de impacto de estos sólidos siguiendo el siguiente esquema:

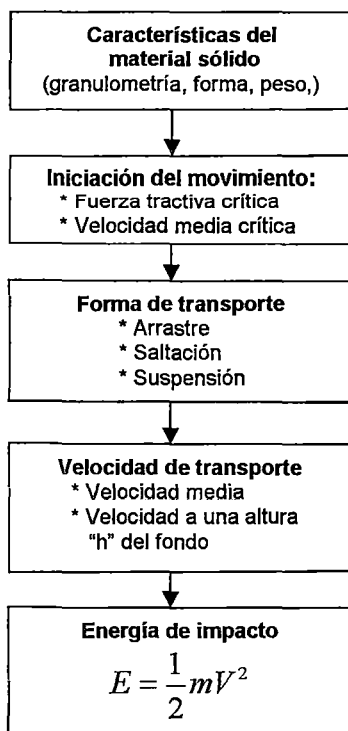


Figura 2.6 Secuencia de la cinemática de un sólido, en un curso de agua, para estimar su energía de impacto

Lo primero en tener en cuenta, es la presencia de material sólido dentro del cauce del río; esta material debe ser clasificado y obtenerse de el, sus características como: tamaño, peso, forma, etc.; esto se logra con el análisis granulométrico del material sólido y la determinación de las propiedades de dicho material. No obstante, el material que se encuentra aledaño a las márgenes de los ríos, debe ser considerado como sólidos potencialmente causantes de impactos en estructuras.

Segundo, se debe precisar si existe el movimiento de dichos sólidos. Es por ello que en este capítulo se vio, de forma rápida, los criterios de iniciación de movimiento para lechos granulares tanto por el método del esfuerzo tractivo crítico o por la velocidad media crítica. Debe utilizarse el criterio que se más

se adecue a la naturaleza del río, para ello debe examinarse con mucho cuidado las condiciones en que estos criterios se basan. Recuérdese que un río o parte de él jamás será igual a otro, ni siquiera a si mismo a lo largo del tiempo.

Tercero, en caso de existir movimiento de sólidos, debemos conocer como se transporta (arrastre, saltación o suspensión). La velocidad con que se desplaza depende del tipo de transporte. No se puede decir en forma certera los rangos en que las partículas se transportan por arrastre, saltación o suspensión, dependerá de las condiciones hidráulicas que se presente en un río. Pero en general se puede decir que las arcillas, limos y arenas finas se transportan por suspensión, los guijarros y cantos rodados por arrastre.

Los australianos y los ingleses, consideran que si un sólido se traslada dentro de un curso de agua, este puede alcanzar una velocidad máxima similar a la velocidad media de dicho curso; quizás este valor de velocidad es exagerado pero a la vez confiable, si se quiere diseñar una estructura capaz de resistir impacto de sólidos. Se tenemos la certeza que el sólido se transporta por arrastre, se puede decir que la máxima velocidad que pudiera alcanzar el sólido sería la velocidad que se desarrolla a una distancia "h", medida desde el fondo, distancia igual al diámetro del sólido.

Finalmente, teniendo la masa y la velocidad con que se traslada un sólido en un río, podemos cuantificar su magnitud de impacto en base a la ecuación 2.22.

2.5 COMPORTAMIENTO DEL GAVIÓN ANTE EL IMPACTO DE SÓLIDOS

Para entender el comportamiento del gavión ante el impacto de sólidos, no basta con conocer la masa y velocidad del impactador (elemento impactante) al momento del impacto; existen muchos factores que participan, tanto en el impactador como en el gavión (elemento impactado).

Lamentablemente, no existe mucha información sobre el comportamiento del

gavión ante el impacto de sólidos, solo se conoce los efectos posteriores al impacto.

Es por ello que esta investigación comenzó por estudiar (en forma muy rudimentaria) los comportamientos de los elementos que conforman el gavión, esencialmente, la malla metálica y el relleno de roca. Estos estudios consistieron básicamente en impactar un gavión con diferentes impactadores (ver foto F.3) como: esferas macizas de concreto, cantos rodados y rocas angulosas (ver foto F.2); en diferentes partes de las mallas del gavión, cuyas características son:

- * Dimensiones de cada celda: 1 x 1 x 1 m.
- * Malla metálica tejida a doble torsión.
- * Abertura de la malla: 100 x 120 mm.
- * Diámetro nominal del alambre: 3.4 mm. (incluido el PVC), 2.4 mm. (sin el PVC).
- * Relleno: cantos rodados.

2.5.1 COMPORTAMIENTO DEL GAVIÓN SEGÚN EL IMPACTADOR

El comportamiento del gavión frente al impactador (roca), no solo depende de la masa y velocidad del mismo, sino de otros factores como:

- La dirección del impacto.- La dirección con que el impactador impacta al gavión, puede cambiar el comportamiento de los componentes del gavión frente a la acción del impacto; por ejemplo: mientras la dirección del impacto es notoriamente perpendicular a una de las caras del gavión, la malla reacciona de una manera en particular (aplastamiento, corte, flexión o punzonamiento); pero si la dirección del impacto forma un ángulo, pueden ocurrir estos comportamientos en forma simultánea.
- La naturaleza del impactador.- Siendo el impactador una roca, el efecto que esta pueda causar, dependerá de algunos parámetros que la caracterizan como:

- * *Origen:* Dentro de las propiedades de una roca, la dureza es un indicador del grado de impacto. La dureza de una roca depende del tipo de roca, es decir, del origen de la roca (rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas).
- * *Intemperismo:* El grado de redondez o angularidad (ver figura 2.7) es el resultado de los procesos mecánicos, orgánicos y químicos que sufre una roca y a su vez determinan el efecto del impacto de la mismas, como por ejemplo: Si una roca es angular e impacta sobre la malla puede originar un corte en el alambre de la malla, en cambio, si es redondeada, puede originar un aplastamiento de dicho alambre. La ocurrencia de estos efectos dependerá también del elemento impactado (el gavión). En el caso de los sólidos transportados por los ríos, estos son en su mayoría de forma redondeada (cantos rodados).

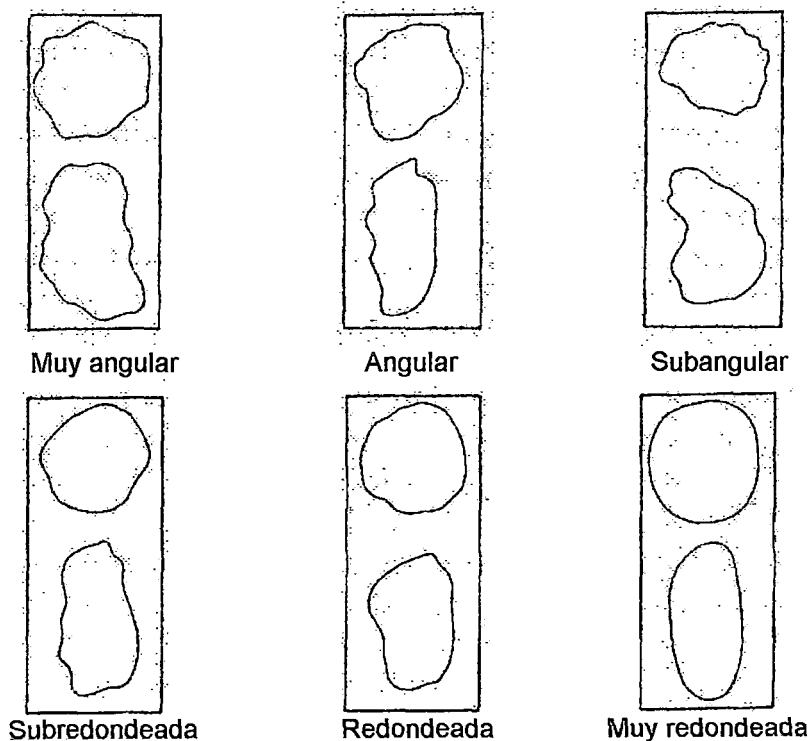


Figura 2.7 Clasificación del grado de redondez y esfericidad (Swason, Texturas, 1981) ⁽¹⁾

⁽¹⁾ RUIZ Vásquez, Mariano. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, Figura 3.2, pag 48.

2.5.2 COMPORTAMIENTO DEL GAVIÓN SEGÚN EL ELEMENTO IMPACTADO

El gavión es un conjunto de elementos (malla y relleno de rocas) lo cual hace al gavión una estructura heterogénea, por tanto el efecto del impacto de rocas en esta estructura será diferente de acuerdo a la zona donde ocurra dicho impacto. Las mallas, que son las caras de los gaviones, presentan espacios vacíos, en los cuales puede suceder el impacto, dando como resultado comportamientos diferentes, los cuales describiremos mas adelante. Es necesario tener presente que el impacto real en los gaviones es absorbido tanto por la malla como por el relleno, siendo la malla el material mas vulnerable al impacto de rocas.

- Impacto en el alambre de la malla.- Cuando el impacto se desarrolla sobre el alambre de la malla, los comportamientos de la malla pueden ser los siguientes:
 - * *Aplastamiento:* Si el impactador es una roca con alto grado de redondez, como lo son los cantos rodados, y debajo del alambre existe la presencia de otro canto rodado, se producirá un aplastamiento del alambre, donde el impacto sería absorbido por dicho alambre (ver figura 2.8 y foto F.4).
 - * *Corte:* Si el impactador es una roca angulosa se producirá un corte del alambre, el impactador actúa como una cuchilla, donde el impacto sería absorbido por dicho alambre (ver figura 2.9 y foto F.5).
 - * *Flexión y tensión:* Si en la zona de impacto no existiera relleno que soporte dicho impacto, se produciría la flexión y posterior tensión del alambre de la malla, donde el impacto sería absorbido por dicho alambre (ver figura 2.10).

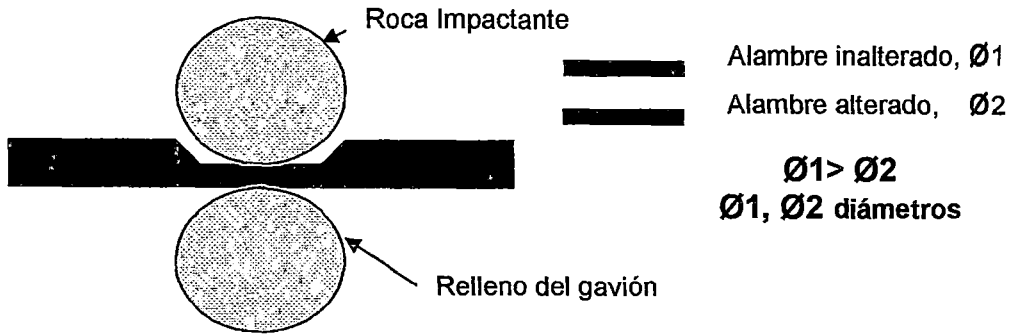


Figura 2.8 Aplastamiento por impacto

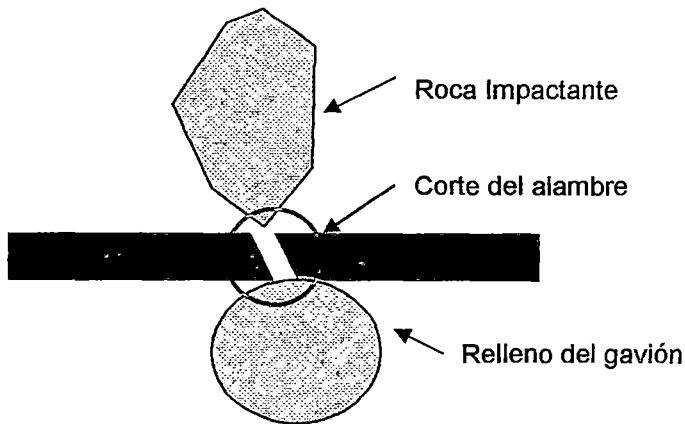


Figura 2.9 Corte por impacto

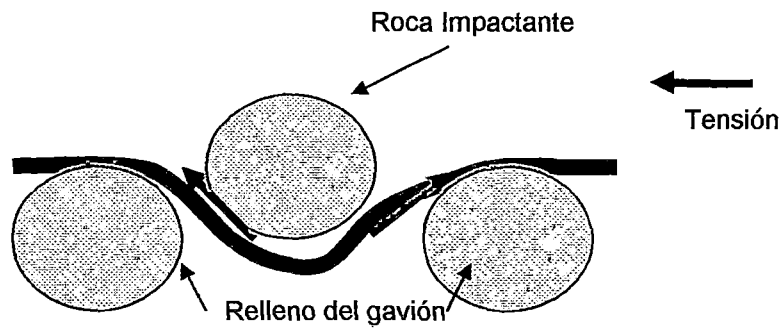


Figura 2.10 Flexión y tensión por impacto

- Impacto en la abertura de la malla.- Cuando el impacto se desarrolla en la abertura de la malla, los comportamientos pueden ser los siguientes:

- * **Rebote:** Si en la zona de impacto existe relleno que soporte dicho impacto o si el impactador es de un tamaño menor a la abertura de la malla del gavión, se producirá un choque y posterior rebote entre la roca impactante y el relleno impactado, el impacto será absorbido en gran parte por el relleno del gavión.
- * **Punzonamiento:** Si en la zona de impacto no existiera relleno que soporte dicho impacto y el impactador es de un tamaño mayor a la abertura de la malla del gavión, la roca impactante ejercerá una carga sobre el área de influencia de dicha roca, donde el impacto es absorbido por la malla del gavión. (ver figura 2.11).

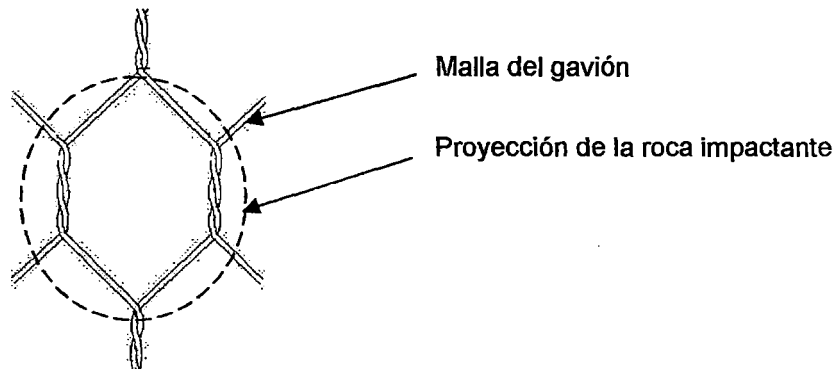


Figura 2.11 Punzonamiento por impacto

2.5.3 COMPORTAMIENTO DEL GAVIÓN SEGÚN EL RELLENO DEL MISMO

Como se explicó anteriormente, el impacto de sólidos (rocas) es absorbido tanto por la malla metálica como por el relleno del gavión. De los ensayos preliminares se pudo apreciar, en forma cualitativa, la participación de aspectos específicos de los rellenos en el comportamiento del gavión al impacto de sólidos; por ejemplo, a mayor grado de compactación del relleno (menor volumen de vacíos) gran parte de la magnitud del impacto es absorbida por la malla (en caso impacte en ella) o netamente por el relleno en caso impacte en este. A menor grado de compactación la participación conjunta de la malla y el relleno aumenta, lo cual hace difícil determinar el grado de participación de cada una.

Capítulo 3

Impacto de sólidos en estructuras de control de erosión a base de gaviones

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades; sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. Un alto porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control. Para la estabilidad de taludes o laderas se debe establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo. La estabilización de deslizamientos activos o potencialmente inestables es un trabajo relativamente complejo, el cual requiere de metodologías de diseño y construcción.

El uso de gaviones es muy frecuente en cuanto a la retención o contención de taludes, pero ¿qué sucede cuando los desprendimientos de estos taludes son de forma violenta? En estos casos los criterios de diseño cambian y debe tomarse en cuenta el impacto de estos desprendimientos como un nuevo criterio, o criterio de diseño adicional.

A diferencia del impacto de sólidos en estructuras hidráulicas, donde el agente que genera el movimiento de estos sólidos es el agua, en este caso es la gravedad la que genera el movimiento o desplazamiento violento. Otras de las diferencias es que el material predominante en taludes son los sólidos de forma angular, lo cual genera un tipo de impacto diferente al que produciría un sólido redondeado.

En este capítulo se presenta los tipos de deterioro de taludes; además se detalla lo referente al caído de rocas, las medidas de protección contra este tipo de deterioro y finalmente las metodologías existentes para determinar las magnitudes de impacto de la caída de rocas, las cuales serán de utilidad para el diseño de medidas de protección.

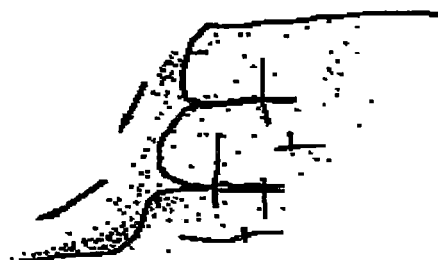
3.1 PROCESOS EN LA ETAPA DE DETERIORO DE TALUDES

El deterioro en los taludes, con el tiempo puede dar lugar a la necesidad de mantenimiento o construcción de obras de estabilización. Al deterioro, sin embargo, se le da muy poca atención en el momento del diseño y el énfasis se dirige a evitar las fallas profundas, más que a evitar los fenómenos anteriores a la falla. Cuando un talud se corta, para la construcción de una vía o de una obra de infraestructura, ocurre una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiándose la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado. El deterioro comprende la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento o remoción. Este incluye la alteración mineral, los efectos de relajación y la abrasión. La iniciación y propagación de fracturas es de significancia particular en la destrucción de la superficie que puede conducir a caídos de roca o colapso del talud. La clasificación de los modos comunes de deterioro fue propuesta por Nicholson y Hencher (1997), los cuales se ampliaron en la publicación "Control de erosión en zonas tropicales" realizada por Jaime Suarez Diaz, con el objeto de incluir la mayoría de los procesos que ocurren previamente a la falla masiva.

A) CAÍDA DE GRANOS

Consiste en el desprendimiento de granos individuales de la masa de roca con desintegración física a granos como prerequisite. Depende de la resistencia de las uniones intergranulares y las microgrietas relacionadas con los granos. Causa un debilitamiento general del material de roca. No representa una amenaza en sí misma pero puede conducir a la pérdida de soporte y subsecuente colapso en pequeña escala. Los finos pueden sedimentarse y producir depósitos dentro de las estructuras de drenaje. Como solución se sugiere la limpieza de los residuos en el pie del talud y el cubrimiento con técnicas de bioingeniería, concreto lanzado y refuerzo local, donde exista riesgo de colapso.

Figura 3.1
Caída de granos



B) DESCASCARAMIENTO

Caída de cáscaras de material de la masa de roca. Las cáscaras tienen forma de láminas con una dimensión significativamente menor a las otras dos dimensiones. Puede reflejar la litología o puede reflejar la penetración de la meteorización. Los fragmentos en forma de láminas no son grandes y no constituyen una amenaza significativa, sin embargo, se produce un depósito de sedimentos en el pie del talud. Como tratamiento se sugiere las técnicas de bioingeniería y concreto lanzado con pequeños anclajes.

Figura 3.2 Descascaramiento



C) FORMACIÓN, INCLINACIÓN Y CAÍDA DE LOSAS DE ROCA

Se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, pudiendo existir deslizamiento y rotación o pandeo. Generalmente, las fracturas a tensión paralelas a la superficie del talud son prerequisite para su ocurrencia, seguidas por la pérdida de soporte. Pueden caer grandes bloques de material y pueden significar una amenaza importante, causando daño a los canales de drenaje, cercas, pavimentos o puede crear taludes negativos. Las inclinaciones pueden considerarse como un proceso de deterioro o como un movimiento del talud. Como tratamiento se sugiere la construcción de gradas o escaleras, bermas intermedias, refuerzo con pernos o estructuras de contención.

Figura 3.3
Inclinación y caída de losas



D) CAÍDOS DE BLOQUES

Pueden caer por gravedad, en forma ocasional bloques individuales de

roca de cualquier dimensión, produciendo un deterioro en la estructura del talud. La amenaza es difícil de predecir debido al gran rango de tamaños que pueden caer y especialmente los bloques grandes pueden causar daño estructural. En ocasiones bajan saltando y rodando y pueden caminar grandes distancias. Estos caídos corresponden a los caídos de roca en la clasificación general de movimientos en taludes. Como tratamiento se sugiere la construcción de gradas, la utilización de mallas de acero, concreto lanzado o mampostería.

Figura 3.4
Caído de bloques



E) DESMORONAMIENTO DEL TALUD

El desmoronamiento general del talud produce la caída de bloques de diversas dimensiones en forma semicontinua. Puede causar una amenaza significativa y crear grandes acumulaciones de detritos en el pie del talud. Como solución se sugiere la construcción de gradas, colocación de mallas, trampas para detritos y cercas protectoras; también se pueden construir estructuras de muros en mampostería o concreto lanzado. Los bloques grandes pueden requerir aseguramiento con pernos, anclajes o cables. Las áreas con desintegración severa pueden requerir soporte total o disminuir el ángulo de inclinación del talud.

Figura 3.5
Desmoronamiento

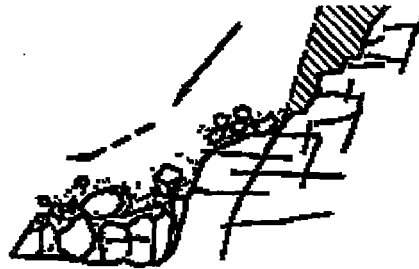


F) CAÍDOS DE ROCA

La caída de muchos bloques de roca "en un solo evento" requiere que haya ocurrido un debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral. El volumen de la falla

depende de los diversos planos de discontinuidad y puede cubrir en un solo momento varios planos (falla en escalera).

Figura 3.6
Caído de rocas



3.2 DESPRENDIMIENTO DE ROCAS (CAÍDO DE ROCAS)

En el caído de rocas, una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando.

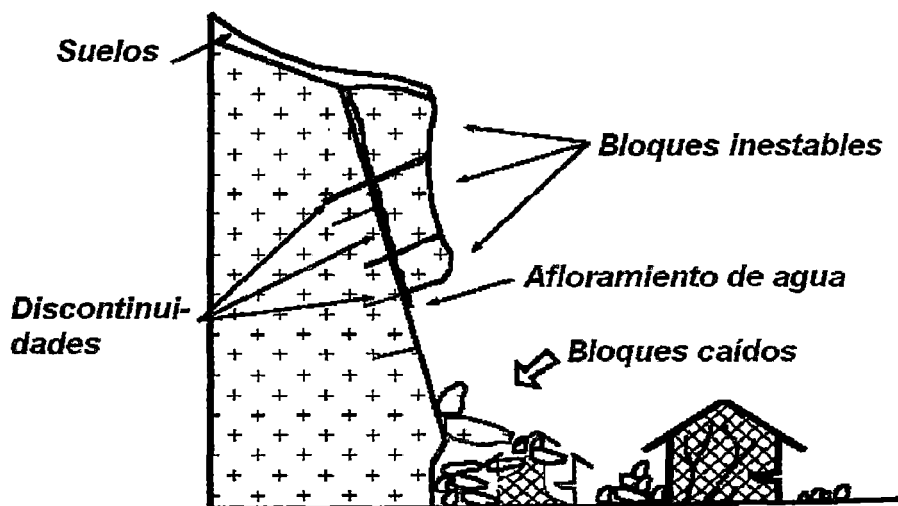


Figura 3.7 Caído de de bloques por gravedad en roca fracturada

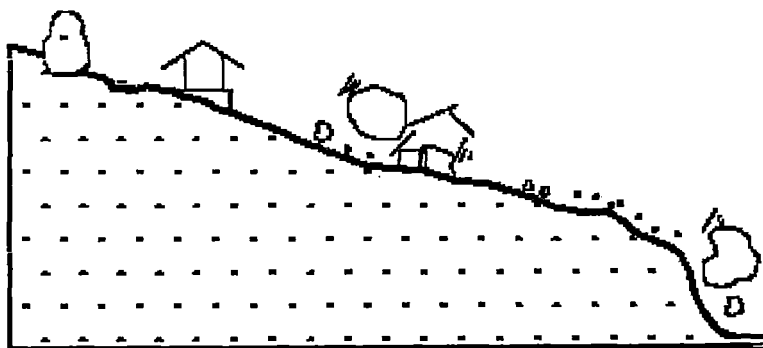


Figura 3.8 Caído de de bloques rodando

El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, ser precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material.

Las experiencias muestran que los movimientos tienden a comportarse como caídos de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar. Los “caídos de roca” corresponden a bloques de roca relativamente sana, los caídos de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y los caídos de tierra corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas.

3.3 TIPOS DE ESTRUCTURAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL CAÍDO DE ROCAS

Un método efectivo de minimizar la amenaza de caídos de roca es permitir que ellas ocurran pero controlarlas adecuadamente, utilizando sistemas de control en el pie del talud, tales como trincheras, barreras y mallas. Un detalle común a todas estas estructuras es el de sus características de **absorción de energía**, bien sea parando el caído de roca en una determinada distancia o desviándola de la estructura que está siendo protegida.

Es posible, utilizando técnicas apropiadas, controlar el riesgo de los caídos de roca de tamaño de hasta 2 o 3 metros de diámetro. La selección y el diseño de un sistema apropiado de control de caídos de rocas requiere de un conocimiento muy completo del comportamiento del caído.

Los factores más importantes a tener en cuenta en el diseño de estas estructuras son los siguientes:

- Trayectoria de las piedras.
- Velocidad.
- **Energía de impacto.**
- Volumen total de acumulación.

Existen programas de computador que simulan el comportamiento de los caídos. Estos programas requieren de datos de entrada referentes a la topografía, irregularidades de la superficie, características de atenuación de los materiales del talud, tamaño y forma de los bloques, etc.

De acuerdo a las características de los caídos, se pueden diseñar varios tipos de obra, a continuación se muestran algunas de ellas.

A) BERMAS EN EL TALUD

La excavación de bermas intermedias puede aumentar la amenaza de caídos. Los caídos tienden a saltar en las bermas; sin embargo el diseño de bermas anchas puede ser muy útil para ciertos casos de caída, especialmente de residuos de roca.

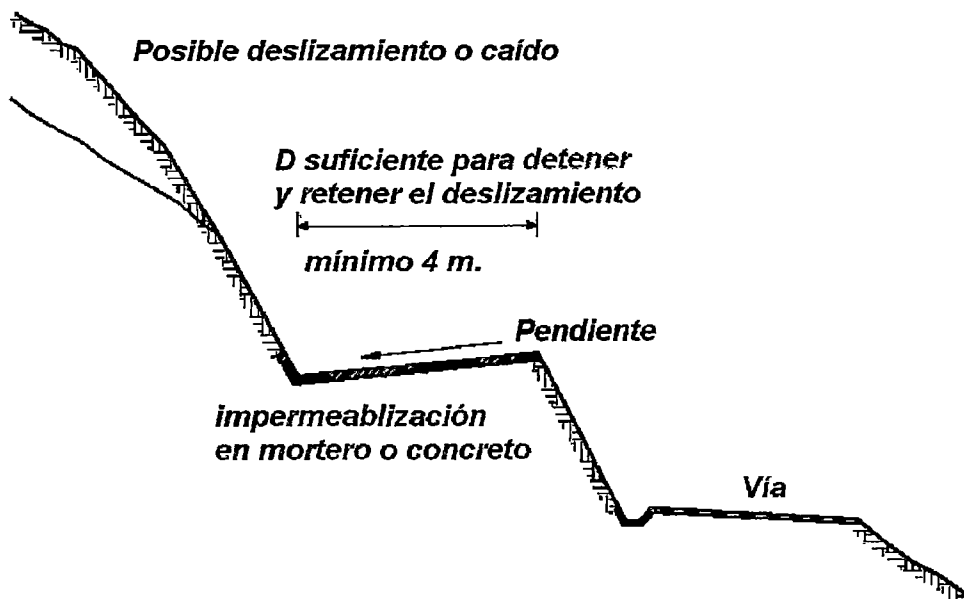


Figura 3.9 Bermas para detener caídos o derrumbes de roca o suelo

B) TRINCHERAS

Una trinchera o excavación en el pie del talud puede impedir que la roca afecte la calzada de una vía y representa una solución muy efectiva cuando existe espacio adecuado para su construcción.

El ancho y profundidad de las trincheras están relacionados con la altura y la pendiente del talud. En los taludes de pendiente superior a 75 grados, los bloques de roca tienden a permanecer muy cerca de la superficie del talud y para pendientes de 55 a 75 grados tienden a saltar y rotar, requiriéndose una mayor dimensión de la trinchera.

Para pendientes de 40 a 55 grados los bloques tienden a rodar y se requiere de una pared vertical junto a la trinchera para que los bloques no traten de salirse. Cuando hay discontinuidades en la superficie del talud se debe analizar a detalle la dinámica de los caídos para un correcto diseño de las trincheras.

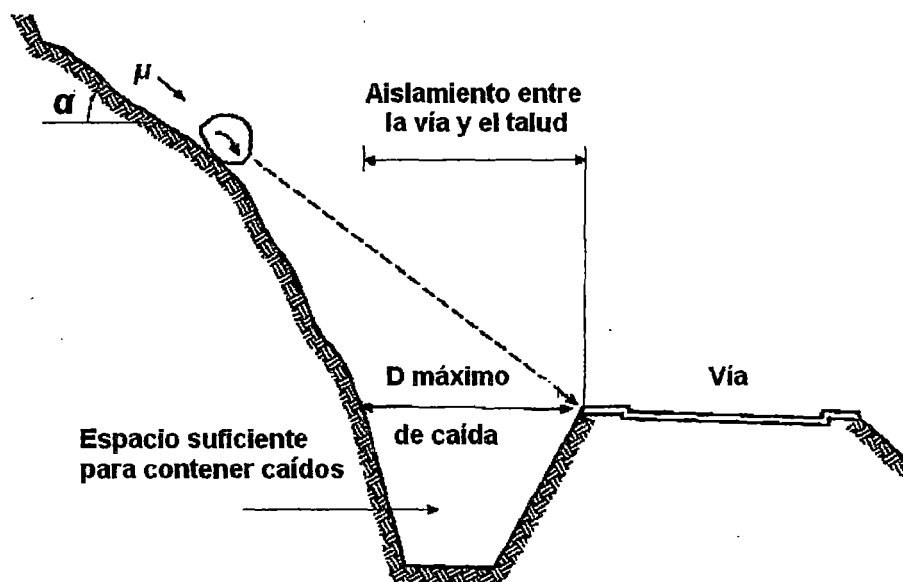


Figura 3.10 Trincheras par control de flujos caídos o avalanchas

C) BARRERAS

Existe una gran variedad de barreras de protección y sus características y dimensiones dependen de la energía de los caídos. Las barreras pueden ser de roca, suelo, tierra armada, muros de concreto, pilotes, **gaviones**, bloques de concreto o cercas. La barrera generalmente, produce un espacio o trinchera en el pie del talud que impide el paso del caído.

Existen programas computacionales para determinar el punto de caída de los bloques. La idea general es absorber la energía de los bloques.

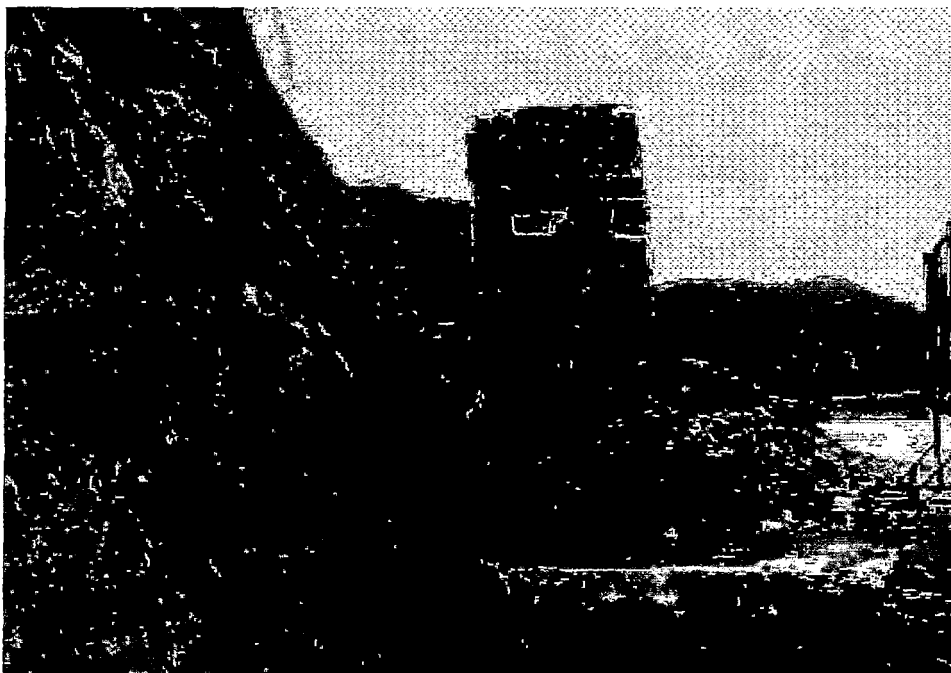


Foto 3.1 Construcción de muro tipo gavión par el control del deslizamiento de rocas o pequeños deslizamientos ⁽¹⁾

D) CUBIERTAS DE PROTECCIÓN

Cuando existe la amenaza de caídos de roca en taludes de alta pendiente se puede plantear la construcción de cubiertas de protección, las cuales consisten en estructuras de concreto armado, inclinadas a una determinada pendiente para permitir el paso de los caídos, flujos a avalanchas sobre ellas (figura 3.11).

Para el diseño de estas estructuras se requiere calcular las cargas de impacto y el peso de los materiales que eventualmente van a pasar o a retenerse sobre la estructura.

⁽¹⁾ Carretera CA, Zona de los Choros, El Salvador Monitero de los taludes de la carretera CA- 1, zonas los choros

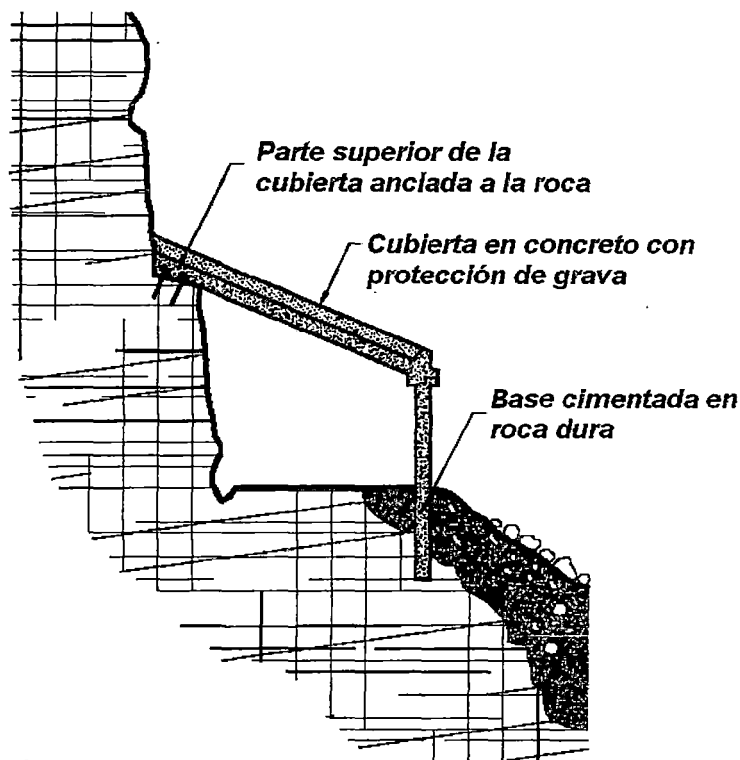


Figura 3.11 Cubierta de protección contra caída de rocas, flujos o avalanchas

3.4 METODOLOGÍA PARA CUANTIFICAR LAS MAGNITUDES DE IMPACTO

El movimiento de caída de un bloque de roca a lo largo de un declive rocoso depende de numerosos factores, los cuales no son fáciles de expresar numéricamente.

Las trayectorias de los bloques de roca dependen de la geometría del declive, de la forma del bloque de roca en caída y de su velocidad inicial en el momento en que se desprende del talud, además de la cantidad de energía disipada por efecto de los choques durante la caída. Los bloques de roca en caída pueden, en efecto, resbalar, rodar o rebotar dependiendo de la forma que tienen, aplanada o redonda, y de la inclinación del talud.

La energía disipada por el efecto de los choques es generalmente diferente cuando cambian las características del movimiento y depende de las características mecánicas del bloque de roca y de los materiales presentes a

lo largo del declive (roca, tierra, vegetación) que se oponen en diferente medida al movimiento de los bloques de roca.

En la realidad, sin embargo, es prácticamente imposible determinar puntualmente el perfil de un declive y la forma de los diferentes bloques de roca que podrían desprenderse.

Además la geometría del talud y la naturaleza de los materiales que se asoman con el tiempo sufren sensibles cambios, por efecto de la alteración de la roca, por la acumulación de detritos en las zonas menos inclinadas y por el desarrollo de la vegetación.

En fin, se hace casi imposible modelar el movimiento de caída de los bloques de roca en los casos en los cuales éstos se despedazan por efecto de los choques, ni tampoco es posible individualizar las zonas en donde se rompen.

Para el análisis de las trayectorias de caída es necesario hacer referencia a modelos muy simplificados: la proyección geotécnica de las intervenciones de protección se debe, por lo tanto, desarrollar sobre la base de una amplia experimentación numérica, que permita indagar sobre los diversos aspectos del fenómeno y reconocer los factores principales que influyen el movimiento de caída en la situación particular examinada.

En los casos más complejos puede ser oportuno usar el modelo con base en un análisis de trayectorias obtenidas con cinematografía en el sitio en el momento del derrumbe.

3.4.1 MÉTODO LUMPED MASS

Las hipótesis del modelo Lumped mass son:

- 1) Esquema plano, perfil del talud semejante a un segmento constituido por fragmentos rectilíneos.
- 2) Bloque de roca puntiforme y resistencia del aire de poca importancia.

En tal caso la trayectoria del bloque se puede determinar utilizando las ecuaciones del movimiento de un grano; haciendo referencia a un sistema de ejes cartesianos ortogonales tales ecuaciones son:

$$X = X_0 + V_x \times t \dots\dots\dots(3.1)$$

$$Y = Y_0 + V_y \times t + \frac{1}{2} \times g \times t^2 \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde:

V_x = Componente horizontal de la velocidad del bloque.

V_y = Componente vertical de la velocidad del bloque.

t = Tiempo.

g = Aceleración de gravedad.

X_0 = Abcisa del punto donde el bloque de roca se desprende del talud o golpea en el movimiento de caída.

Y_0 = Ordenada del punto donde el bloque de roca se desprende del talud o golpea en el movimiento de caída.

De este modo la trayectoria del movimiento resulta compuesta por una serie de parábolas trazadas entre el punto donde se dio el desprendimiento y el punto donde el bloque de roca choca contra el talud por primera vez, en la fase inicial del movimiento; y entre dos puntos consecutivos de impacto en el talud, o al pie, seguidamente, hasta el punto final de parada.

Las coordenadas de los puntos de impacto y los componentes de la velocidad se determinan resolviendo el sistema entre las ecuaciones (3.1 y 3.2) y las ecuaciones de las rectas que representan el perfil del talud.

En la práctica se procede en el punto donde se da el desprendimiento del bloque y se resuelve tal sistema de ecuaciones considerando cada vez las diferentes ecuaciones de las rectas que contienen las sucesivas fracciones del segmento hasta encontrar las coordenadas de un punto, punto de impacto que pertenece a la parábola que representa la trayectoria y cae al interno de uno de las fracciones del segmento y es,

por lo tanto, también un punto del talud. Tal punto representa el primer punto de impacto del bloque de roca en el talud. El procedimiento se repite a partir de tal punto para determinar el sucesivo arco de la trayectoria y un nuevo punto de impacto.

La pérdida de energía cinética por el efecto de los rozamientos y de los choques se puede modelar reduciendo la velocidad del bloque en caída cuando este choca en el talud. En particular, indicando con “ V_{N1} y V_{T1} ” los componentes (normales y tangenciales) de la velocidad antes del choque, después del choque “ V_{N2} y V_{T2} ” se pueden calcular con la relación:

$$V_{N2} = V_{N1} \times \lambda_N \dots\dots\dots(3.3)$$

$$V_{T2} = V_{T1} \times \lambda_T \dots\dots\dots(3.4)$$

en donde λ_N y λ_T son coeficientes de restitución variables en el intervalo 0-1.

La energía cinética (Ec) en un punto determinado (X,Y), vendrá a ser resultado de la masa “ m ” de la roca (inalterada) por el módulo de velocidad, siendo el módulo de la velocidad (V) y la energía cinética (Ec), donde:

$$V = \sqrt{V_{N2}^2 + V_{T2}^2} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$Ec = \frac{1}{2} \times m \times V^2 \dots\dots\dots(3.6)$$

3.4.2 MÉTODO DE CÁLCULO CRSP

El modelo llamado CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) fue desarrollado por Pfeiffer y Bowen (1989) con el objeto de modelar el movimiento de la caída de bloques de roca en forma de esfera, cilindro o disco, con sección circular en el plano vertical del movimiento.

Este modelo aplica la ecuación del movimiento parabólico de un cuerpo en caída libre y el principio de conservación de la energía total para describir el movimiento de los bloques. El fenómeno del impacto se modela utilizando como parámetros de adicionales, con respecto al método "Lumped Mass", la rugosidad del talud y la dimensión de los bloques de roca.

El modelo CRSP asume que el ángulo formado entre la dirección del bloque de roca y el perfil del talud varían según una estadística que se debe definir en cada caso analizado. Por lo tanto trata de manera estadística los resultados, los cuales consisten principalmente en las velocidades y las alturas de rebote con respecto a la superficie del talud durante la caída. Por consiguiente considera las combinaciones de los movimientos de caída libre, de rebote, de rodaje y de deslizamiento, que pueden variar según las dimensiones de los bloques de roca y de la rugosidad del talud. La confiabilidad del modelo ha sido verificada por medio de comparaciones entre los resultados numéricos y los obtenidos en pruebas in situ.

La descripción del movimiento en caída libre inicia en un punto, en el cual se nota la velocidad inicial descompuesta en componente horizontal y vertical. El bloque de roca es sometido al movimiento de caída libre hasta que colisione con la superficie del talud.

De la intersección se recaban las coordenadas del punto del impacto. El vector de la velocidad de pre impacto V , forma un ángulo con el talud. Para cada impacto la inclinación del talud se cambia casualmente en un campo de valores comprendido entre 0 y un valor en función de la rugosidad del talud y de la dimensión del bloque. La velocidad que se obtiene después del impacto se determina por medio de la ecuación de conservación de la energía total:

$$\left(\frac{1}{2} \times J \times \omega_1^2 + \frac{1}{2} \times m \times V_{T1}^2 \right) \times f(F) \times SF = \frac{1}{2} \times J \times \omega_2^2 + \frac{1}{2} \times m \times V_{T2}^2 \dots (3.7)$$

Donde:

- m = Masa del bloque de roca.
- J = Momento de inercia del bloque de roca.
- ω_1 = Velocidad angular antes del impacto.
- ω_2 = Velocidad angular después del impacto.
- V_{T1} = Velocidad tangencial antes del impacto.
- V_{T2} = Velocidad tangencial después del impacto.

La función $f(F)$ de rozamiento viene así definida:

$$f(F) = SF + \frac{(1 - \lambda_T)}{\left[\left(\frac{V_T - \omega_1 \times R}{20} \right)^2 + 1.2 \right]} \dots\dots\dots (3.8)$$

Mientras la función de escala SF :

$$SF = \frac{\lambda_T}{\left[\left(\frac{V_N}{250 \times \lambda_N} \right)^2 + 1 \right]} \dots\dots\dots (3.9)$$

Donde:

- λ_N = Coeficiente de restitución normal.
- λ_T = Coeficiente de restitución tangencial.
- R = Radio del bloque de roca.

Los términos $f(F)$ y SF se obtienen a través de expresiones empíricas que se utilizan para valorar la energía cinética disipada en las colisiones entre bloque y talud a causa del rozamiento y del choque. El rozamiento tiene que ver principalmente con la disipación de la energía producida por la velocidad tangencial, mientras que el choque tiene que ver con aquella producida por la velocidad normal al talud.

Las velocidades tangenciales y angulares post colisión entran en relación entre ellas con la siguiente ecuación:

$$V_{T2} = \omega_2 \times R \dots\dots\dots(3.10)$$

que asume que los bloques de roca abandonan el contacto con el talud rotando, independientemente de la velocidad angular precedente.

De la ecuación 3.7 se obtiene V_{T2} , mientras la velocidad normal post colisión se obtiene de la siguiente expresión empírica:

$$V_{N2} = V_{N1} \times \frac{\lambda_N}{\left[1 + \left(\frac{V_{N1}}{9}\right)^2\right]} \dots\dots\dots(3.11)$$

que tiene en cuenta el hecho, verificado también experimentalmente, que la relación entre las velocidades normales post impacto y pre impacto disminuye con el aumento de la velocidad normal pre impacto.

La energía cinética (E_c) en un punto determinado (X, Y), vendrá a ser resultado de la masa "m" de la roca (inalterada) por el módulo de velocidad, siendo el módulo de la velocidad (V) y la energía cinética (E_c), dadas por las ecuaciones 3.5 y 3.6.

3.5 COMPORTAMIENTO DEL GAVIÓN ANTE EL IMPACTO DE SÓLIDOS

En el capítulo anterior se detalló los comportamientos del gavión frente a los impactos de sólidos, los cuales son mayormente cantos rodados. En el caso de los sólidos (rocas) que se desprenden de taludes e impactan con los gaviones, son sólidos angulosos, los cuales generan, según el lugar de impacto en el gavión, comportamientos similares a los cantos rodados como: la flexión de la malla, el punzonamiento de la malla; o comportamientos diferentes como el corte del alambre de la malla (Foto F.5), debido a que la roca impactante, al ser angulosa, funciona como un cuchillo que intenta cortar el alambre de la malla.

Todos los comportamientos descritos se basan en la pruebas iniciales realizadas a un gavión caja armado.

Capítulo 4

Ensayos

Una vez entendido el fenómeno de impacto de sólidos en estructuras hechas a base de gaviones y el comportamiento de los gaviones ante dichos impactos, se puede realizar ensayos que se asemejen a este fenómeno, previamente definiendo variables y constantes en un modelo.

Los equipos y aparatos que intervienen en los ensayos se han elaborado en base a las características del modelo de impacto que se describe en este capítulo, modelo que representa el aplastamiento del alambre de la malla del gavión por impacto de sólidos. La metodología de los ensayos se explica detalladamente, el cual busca dar un orden y una lógica a la hora de efectuar las pruebas. Esta metodología es dada por el autor de la tesis, debido a que, como se explicó anteriormente, no existe referencia alguna respecto al estudio del impacto de sólidos en gaviones.

La expresión de resultados se basa en dar como valor de resistencia de la malla del gavión al aplastamiento por impacto, la energía de falla (E_F) expresada en Joules (J). De forma referencial se ha considerado la temperatura y la deformación de alambre al momento de efectuarse las pruebas (los impactos). Para dar un valor de energía de falla representativo a cada tipo de malla, se ha utilizado tópicos estadísticos, los cuales están descritos en el presente capítulo.

Finalmente, aquí se ve reflejado los objetivos de la presente tesis, los cuales esperan ayudar a la mejor comprensión del comportamiento de los gaviones ante el fenómeno de impacto de sólidos.

4.1 OBJETIVO

Esta tesis de investigación tiene por objetivo determinar la resistencia de la malla que conforma el gavión, al impacto de sólidos bajo ciertas condiciones de laboratorio. Los valores de resistencia estándares serán los del Sistema Internacional (SI), siendo otros valores en otros sistemas de medidas indicadas en paréntesis como referenciales.

4.2 ANTECEDENTES Y REFERENCIAS

Los siguientes ensayos se basan en el modelamiento descrito en este capítulo, en investigaciones y normas relativas a los gaviones. Debido a que no se ha encontrado mucha información sobre ensayos de impacto en gaviones, se ha tomado también como referencia los ensayos de impactos en otros materiales. Entre estas referencias tenemos:

- NTP 333.012 Revestimientos Cerámicos. Método de ensayo para determinar su resistencia al impacto.
- NTP 339.015 Baldosas de vinil asbesto. Método de ensayo para determinar la resistencia al impacto.
- ASTM A 370-97a Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.
- ASTM A 975-97 Standard specification for Double-Twisted Hexagonal Mesh Gabions and Revet Mattresses (Metallic-Coated Steel Wire or Metallic -Coated Steel Wire with Polyvinyl Chloride (PVC) Coating.

4.3 MODELO DE IMPACTO DE SÓLIDOS EN GAVIONES

Como se pudo apreciar en los capítulos 2 y 3 de la presente tesis, la resistencia de la malla del gavión al impacto depende de muchos factores, los cuales podemos agrupar en cuatro categorías:

- **Tipo de impacto:** aplastamiento, corte, flexión, punzonamiento.
- **Características de la malla:** acero, recubrimiento(s), diámetro del alambre, tejido, zonas de impacto, alteraciones (desgaste), sollicitaciones adicionales (tensión, flexión, torsión, etc.).

- Impactador: geología (forma, tamaño, densidades, dureza), ángulo de interacción (malla-roca-malla).
- Relleno del gavión: geología (forma, tamaño, densidades, dureza), compacidad (depende de la forma, tamaño y acomodo de las rocas) y el medio donde está el gavión (agua, aire).

Después de apreciar los múltiples aspectos que se involucran en los impactos de sólidos en estructuras hechas a base de gaviones, y sabiendo que no existen estudios previos a este fenómeno; se tiene que comenzar con plantear un modelo simple de impacto, el cual debe reducir el número de variables de tal forma que se tenga resultados confiables.

Para entender que es un modelo, tomaré como definición de "modelo" la siguiente: "Un modelo representa de una manera simplificada la complejidad de la naturaleza. Esta simplificación, o mejor, esquematización, es completamente lícita puesto que para el planteamiento y solución de un problema se requiere construir un modelo, es decir, simplificar la realidad ⁽¹⁾".

Y la realidad en que se desarrolla el fenómeno impacto de sólidos es compleja, es decir, tiene muchas variables que si se representaran en un modelo actuando simultáneamente, darían resultados difusos. Es por ello se debe tener claro que se quiere estudiar, cuales son las variables existentes y con cuales se va a trabajar, el resto de ellas se hacen constantes o se obvian.

4.3.1 APLASTAMIENTO DE LA MALLA DEL GAVIÓN POR IMPACTO

De las tantas formas de impacto, esta investigación ha tomado al "aplastamiento de la malla de gavión por impacto de sólidos (rocas)" como motivo de estudio, debido a que la falla de los gaviones por impacto ocurre en las defensas ribereñas, donde el impactador predominante son los cantos rodados y uno de los efectos de estos impactos son los aplastamientos de las mallas del gavión, ocurriendo también otros efectos como son la flexión y punzonamiento de la malla.

⁽¹⁾ ROCHA Felices, Arturo. Introducción a la Hidráulica Fluvial. Pag 248

Teniendo claro el efecto que se va estudiar, haremos una lista de las variables conocidas que están involucradas en la resistencia de la malla del gavión a este fenómeno:

A) El impactador.- El elemento que impacta a la malla de gavión debe ser un elemento sólido, de forma redonda y con una superficie casi lisa, no debe presentar ángulos ni rugosidades notorias.

B) Manufactura de la malla.- Debe detallarse que tipo de malla estamos usando, se debe identificar lo siguiente:

- Tejido de la malla.
- El tipo de acero, el (los) recubrimiento(s) y el diámetro del alambre.
- Abertura o cocada de la malla.

C) Relleno del gavión.- Como se comentó antes, el grado de absorción de la energía de impacto dependerá del grado de compacidad del relleno; a mayor compacidad, el impacto será absorbido por la malla. En un caso ideal, el impacto será absorbido netamente por la malla teniendo un relleno rígido, en el cual no exista desplazamientos relativos entre los elementos que conforman el relleno del gavión. Además, este relleno debe estar conformado por elementos sólidos, de forma redonda y con una superficie casi lisa, no debe presentar ángulos ni rugosidades notorias.

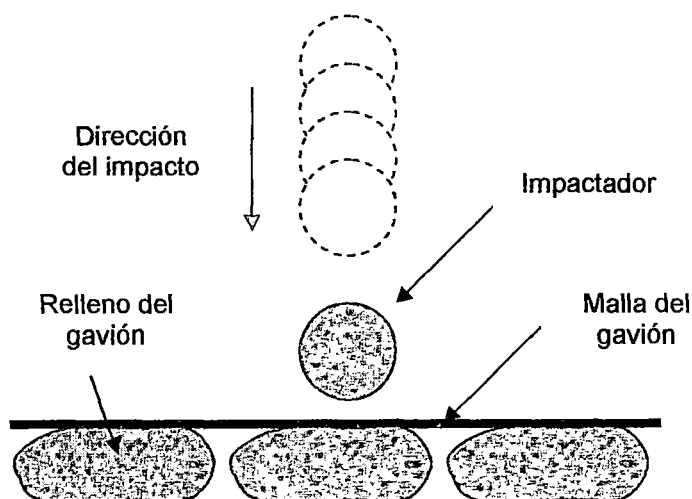


Figura 4.1 Modelo del aplastamiento de la malla de gavión por impacto

Teniendo presente estas condiciones, podemos entender mejor el modelo con la figura 4.1.

4.3.2 ZONAS DE IMPACTO EN LA MALLA DEL GAVIÓN

La malla del gavión con que se va trabajar, es la malla de alambre tejido a doble torsión. Esta confección de las mallas nos da tres zonas características, las cuales describiremos a continuación.

La malla tejida a doble torsión, es una malla hecha a base de girar continuamente pares de alambres a través de tres medios giros (comúnmente llamado doble torsión), para dar forma a las aberturas hexagonales, las cuales después se interconectan a alambres adyacentes, dando forma así a las aberturas hexagonales. Por tanto existen tres zonas definidas o típicas en la malla: el desarrollo del alambre (zona 1), la unión entre el alambre desarrollado y la doble torsión (zona 2) y la doble torsión propiamente dicha (zona 3)

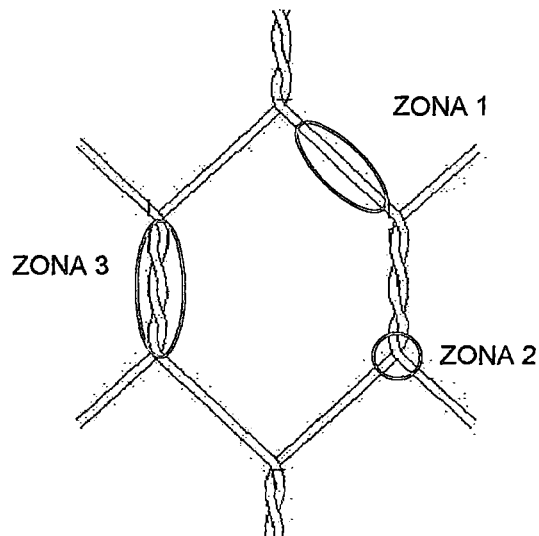


Figura 4.2 Zonas de impacto en la malla a doble torsión

Las zonas de estudio en la malla del gavión, son las zonas 1 y 2.

4.3.3 MAGNITUD DE IMPACTO

Como se ha podido apreciar en los capítulos 2 y 3, las magnitudes de los impactos de sólidos en gaviones se expresan en unidades de energía,

específicamente la energía cinética (E_C). La energía cinética es la energía que posee un cuerpo por el hecho de hallarse en movimiento. Esta energía se expresa de la siguiente manera:

$$E_C = \frac{1}{2} \times m \times V^2 \dots\dots\dots(4.1)$$

Donde:

m = Masa del sólido.

V = Velocidad de caída del sólido.

Para determinar la energía cinética de un elemento, en un determinado instante, será necesario conocer su masa y su velocidad, siendo esta última variable difícil de cuantificar en el modelo, en dicho instante.

Utilizando los principios de la energía mecánica (E_M), se puede hallar en forma indirecta la energía cinética (E_C) de un elemento en el instante del impacto. La energía mecánica (E_M) está compuesta por la energía cinética (E_C) y la energía potencial (E_P). La energía potencial (E_P) depende la posición de un cuerpo con respecto a un sistema de referencia. Utilizaremos al modelo de impacto como sistema de referencia:

$$E_P = m \times g \times h \dots\dots\dots(4.2)$$

Donde:

m = Masa de la sólido.

g = Aceleración de la gravedad.

h = Distancia vertical del sólido respecto a un sistema de referencia.

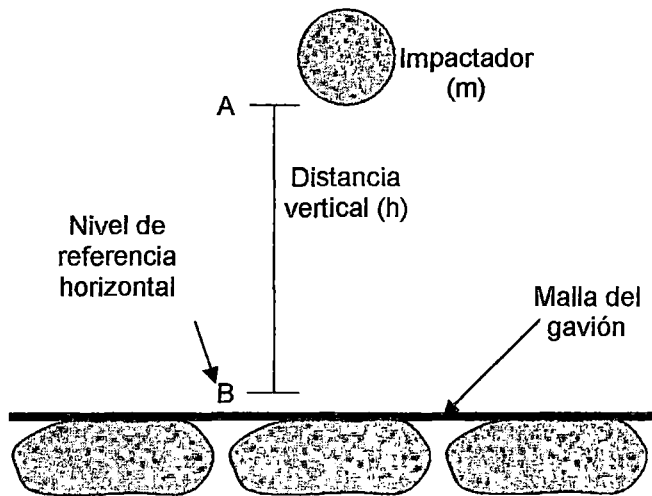


Figura 4.3 Energía potencial del impactador respecto a sistema de referencia

La energía mecánica en los puntos A y B será:

$$Em_A = Ec_A + Ep_A \dots\dots\dots(4.3)$$

$$Em_B = Ec_B + Ep_B \dots\dots\dots(4.4)$$

La energía cinética en los puntos A y B será:

$$Ec_A = \frac{1}{2} \times m \times V_A^2 = 0, \quad V_A = 0 \dots\dots\dots(4.5)$$

$$Ec_B = \frac{1}{2} \times m \times V_B^2 \dots\dots\dots(4.6)$$

La energía potencial en los puntos A y B será:

$$Ep_A = m \times g \times h \dots\dots\dots(4.7)$$

$$Ep_B = m \times g \times h = 0, \quad h = 0 \dots\dots\dots(4.8)$$

La energía mecánica en A y B, son las mismas por el principio de la conservación de la energía. Asumiendo que no existen pérdidas por fricción, y utilizando las ecuaciones del 4.3 al 4.7 tenemos:

$$Ep_A = Ec_B \dots\dots\dots(4.9)$$

Podemos cuantificar la energía cinética de impacto de un sólido en función de la energía potencial respecto a un sistema de referencia, que en este caso es la malla del gavión sobre el relleno rígido.

4.4 EQUIPOS Y APARATOS

Los equipos y aparatos usados en los ensayos de impacto, han sido elaborados en base al modelo de ensayo descrito en este capítulo (ver inciso 4.3.1).

Básicamente, los equipos y aparatos usados para la ejecución y medición de los ensayos son: un impactador de concreto; un piso empedrado; un soporte metálico con un flexómetro; niveles con burbuja y pernos nivelantes; una balanza; un termómetro; un cartabón de corredera (Pie de Rey) y una

cuchilla. A continuación se describe los detalles de los equipos y aparatos usados:

Impactadores.- Los impactadores son esferas macizas de concreto con superficie pulida, de un diámetro nominal de 22 cm. (ver foto F.14). El valor característico de estos impactadores será su masa expresada en kilogramos (kg). El diseño de mezcla del impactador será para un concreto de simple y con superficie pulida.

Piso empedrado o enrocado.- La superficie donde se apoyará la malla de gavión, será una superficie compuesta por una masa de roca y mortero con las siguientes características:

Este piso tiene una dimensión de de 2 x 2 m. de longitud con un espesor de 40 cm., el cual esta dividido en 2 partes, la base y el piso empedrado en sí.

- *Base:* Es una capa de 2 x 2 m. y con espesor de 10 cm. de concreto simple que será soporte del piso empedrado.
- *Piso Empedrado:* Es una mezcla de cantos rodados y mortero cuyas dimensiones son de 2 x 2 m. y con un espesor de 30 cm. La superficie de este piso es plana y muestra una cara de los cantos rodados; estos cantos rodados son rocas ígneas con diámetro máximo de 30 cm. (11 ½") y un diámetro mínimo de mínimo 8 cm. (3 ½").

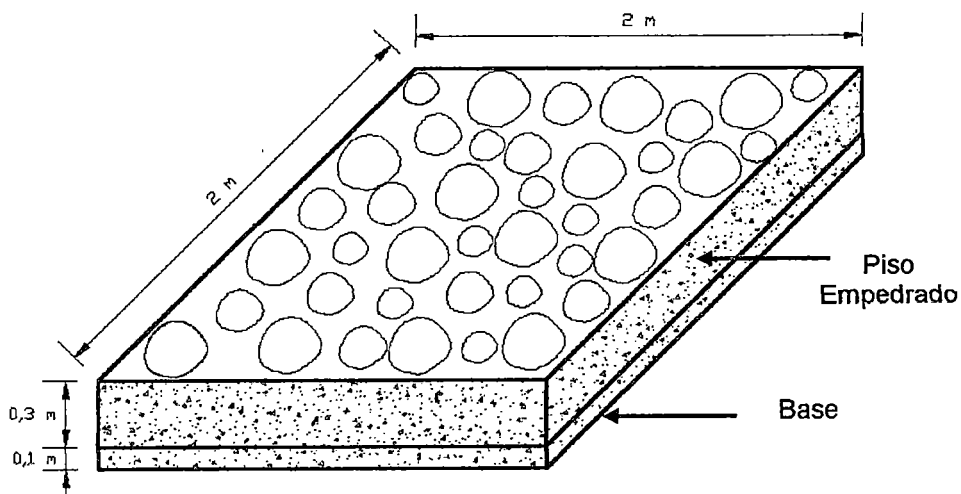


Figura 4.4 Piso empedrado

La clasificación de cada roca en la superficie del piso empedrado se detalla en el anexo A.

Soporte metálico.- El soporte metálico tiene varias funciones:

- Ubicar la zona, en la malla de gavión, donde se desea impactar la esfera de concreto.
- Medir la distancia vertical entre el impactador izado y la zona impactada.
- Fija, con su peso, la malla de gavión durante el ensayo.

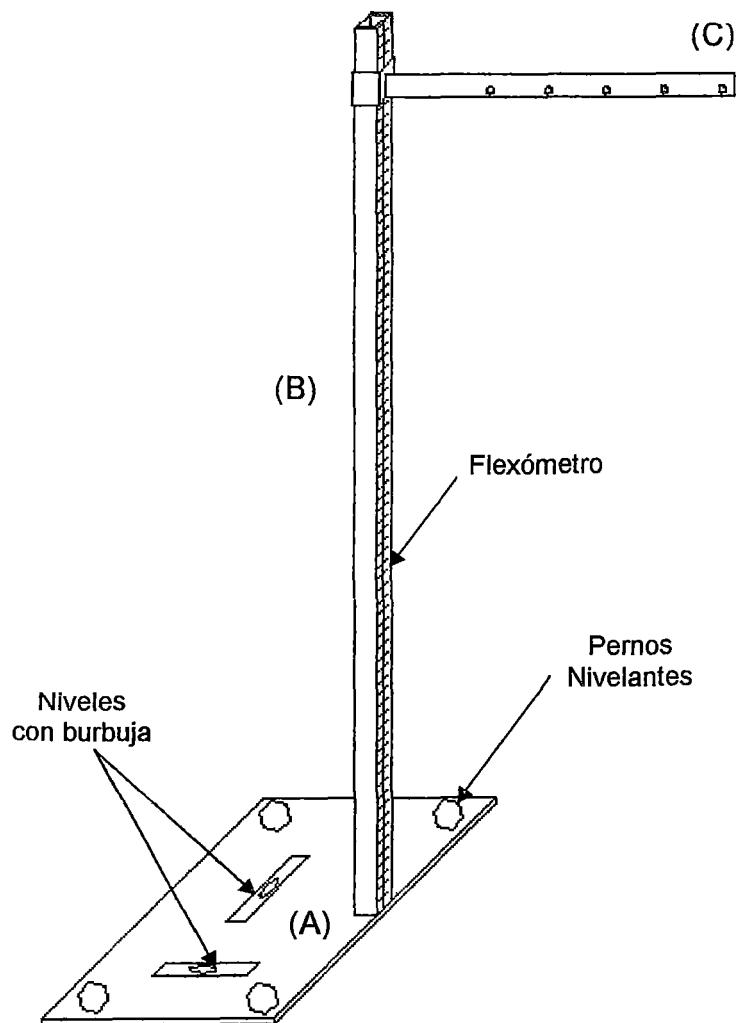


Figura 4.5 Soporte metálico

El soporte metálico está compuesto por las siguientes partes (sus dimensiones están descritas en el anexo B):

- Plancha metálica (A)
- Parante tubular (B)
- Perfil con perforaciones (C)

Adicionalmente a estas partes, se tiene en el soporte metálico los siguientes aparatos:

- 4 pernos nivelantes, con un diámetro nominal (\varnothing) de 15.87 mm (5/8").
- 2 niveles de burbuja, colocados en forma perpendicular entre si.
- Un flexómetro con divisiones en centímetros y milímetros.

Los pernos nivelantes y los niveles de burbuja dan al soporte metálico la verticalidad necesaria respecto al piso empedrado, mientras que el flexómetro mide la distancia vertical entre el impactador izado y la zona impactada.

4.5 ESPÉCIMEN

Los especímenes en los ensayos de la presente tesis son las mallas del gavión, deben cumplir los siguientes requerimientos:

Dimensiones.- Serán paños malla del gavión de 1 x 1 m. de dimensión.

Alambre.- Se deberá anotar por cada malla el tipo, de acero y de recubrimiento(s), según la clasificación indicada en el inciso 1.1.4.3.

Diámetro del alambre. – Se deberá medir el diámetro del alambre de la malla del gavión por cada muestra con un cartabón de corredera (Pie de Rey). En caso se tenga el recubrimiento de PVC, se debe verificar el espesor del mismo, midiendo primero el diámetro del alambre con PVC, luego se retira el PVC sin dañar al alambre, y se mide nuevamente el diámetro del alambre; el espesor del PVC será la semi-diferencia de las medidas.

Tejido y abertura de la malla.- Se debe anotar el tipo de tejido y las dimensiones de las aberturas (en mm.) de las mallas del gavión.

Cada espécimen debe ser identificado con una etiqueta, donde contenga el número de muestra y el tipo de muestra según los requerimientos especificados anteriormente. Los especímenes no deben presentar daños o muestras de deterioro antes de ser ensayados, en caso de presentarlas, se descartará la muestra y se utilizará otra en perfectas condiciones.

4.6 METODOLOGÍA DE ENSAYO

Los ensayos de impacto se realizarán teniendo en cuenta algunas consideraciones:

- a) El ensayo busca la ruptura del alambre de la malla en un punto, de un solo impacto, es decir, no será la consecuencia de impactados repetitivos sobre el mismo punto ⁽¹⁾.
- b) Se analizarán dos zonas de posible ruptura del alambre de la malla del gavión, estas serán: El punto medio del alambre desarrollado, llamado zona 1 (ver figura 4.2) y el punto de encuentro entre el alambre desarrollado y la doble torsión, llamado zona 2 (ver figura 4.2).
- c) La superficie de apoyo de las zonas 1 y 2 de las mallas en análisis, será siempre una roca, buscando siempre la superficie mas plana posible de la misma (ver figura 4.1).
- d) Un ensayo estará realizado completamente hasta romper el alambre de la malla de gavión del un solo impacto.

4.6.1 PASOS A SEGUIR

La secuencia del ensayo será la que se describe a continuación:

1. Tener identificado al espécimen según lo expuesto en el punto 4.5

⁽¹⁾ La justificación de la ruptura de la malla de gavión al primer impacto se encuentra detallado en el anexo C.

2. Se debe tener identificado, pesado y medido el diámetro (\emptyset) del impactador.
3. Colocar el espécimen de forma que cumpla con el requerimiento del inciso 4.6-c e identificar la roca que va soportar el impacto.
4. Izar el impactador hasta la primera altura de ensayo, que en este caso será 30 cm. (anotar la altura de izaje).
5. Verificar que la esfera este sobre el punto de impacto deseado.
6. Soltar la esfera.
7. Si el impactador no da un rebote significativo y la temperatura del alambre de la malla, en la zona de interés, se incrementa súbitamente, la prueba se dará como válida; en caso contrario, repetir la prueba en otro punto de la malla pero con la misma altura
8. De ser válida la prueba, inmediatamente se tomará la temperatura con un termómetro digital en la zona de impacto, luego se medirá la deformación con un cartabón de corredera (esta medición solo se realizará para los ensayos en la zona 1). Estas mediciones se harán solo a las primeras muestras de cada tipo de malla, debido que son datos referenciales.
9. Si el impacto no ha provocado la ruptura del alambre, se pintará el alambre de color azul. Luego se buscará otro punto en la malla de gavión y se soltará el impactador con una altura mayor a la anterior en 10 cm.
10. Si el impacto ha provocado la ruptura del alambre, se pintará el alambre de color rojo. Luego se buscará otro punto, alejado de la ruptura, en la malla del gavión y soltará el impactador con una altura menor a la anterior en 10 cm.
11. Se continuará sucesivamente a partir del punto 4 (pero con la variación de altura de impacto respectiva), tratando que las zonas de impacto no estén cercanas entre sí. Se seguirá con este proceso hasta conseguir 5 puntos de ruptura en una sola muestra o hasta alcanzar la altura referencial máxima de caída $H = 1.5$ m.
12. Al final del ensayo (después de de todas las pruebas) se pesará el impactador cuyo valor será anotado en la hoja de ensayos; ese será el valor de masa del impactador para los cálculos respectivos.

4.6.2 NÚMERO DE ENSAYOS

El número de ensayos por cada cambio en las variables (ejemplo: tipo de alambre, tejido y abertura de la malla, zona de impacto) será de 3. Adicionalmente, en cada ensayo se tendrá 5 valores de ruptura por muestra ⁽¹⁾.

4.7 ANÁLISIS Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Una vez teniendo identificado la muestra para el ensayo (según lo comentado el inciso 4.6.1-1), la zona donde se ha ensayado (zona 1 o 2) y las características del impactador (según lo comentado los incisos 4.6.1- 2 y 12) se obtendrá los siguientes datos iniciales por cada muestra:

m = Masa del impactador expresada en kilogramos.

\emptyset = Diámetro del impactador en metros.

H = Altura de caída referencial, que incluye el diámetro del impactador, expresada en metros.

Energía de falla.- De esta serie valores, se tomarán en cuenta aquellas que produzcan la ruptura del alambre de la malla del gavión. Con estas series de valores ⁽¹⁾ se obtendrán energías de falla mediante la siguiente relación:

$$E_F = m \times g \times h \dots\dots\dots(4.10)$$

Donde:

E_F = Energía de falla, en Joules (J).

m = Masa del impactador, en kilogramos (kg).

g = Aceleración de gravedad = 9.81 m/s².

h = Distancia entre la superficie de la malla y la base del impactador izado, donde: $h = H - \emptyset \dots\dots\dots(4.11)$

⁽¹⁾ En principio son 5 valores, pudiendo ser este número menor o ninguno.

Valor representativo.- El valor representativo de la resistencia de la malla del gavión al aplastamiento por impacto se determinará bajo los siguientes criterios:

- *Distribución normal de los valores:* Los valores de energía de falla obtenidos, pueden estar comprendidos dentro de una distribución normal (campana de Gauss ⁽¹⁾), para lo cual se les efectuará las prueba de bondad de ajuste Kolmogorov -Smirnov (K-S), suponiendo las siguientes hipótesis:

$$H_0 = f(x, \theta) = f_0(x, \theta) \dots\dots\dots(4.12)$$

$$H_1 = f(x, \theta) \neq f_0(x, \theta) \dots\dots\dots(4.13)$$

Donde:

$f(x, \theta)$ = Distribución de una variable aleatoria.

$f_0(x, \theta)$ = Distribución que se supone sigue la muestra aleatoria.

H_0 = Hipótesis inicial, propone que los datos siguen la distribución supuesta.

H_1 = Hipótesis alternativa, propone que los datos no siguen la distribución supuesta.

Esta hipótesis (H_0) debe ser verificada por la prueba de bondad de ajuste K-S con un nivel de significancia (α) igual al 0.05. En caso diera resultado la hipótesis 4.13, se descarta que los valores de energía de falla estén comprendidos en una distribución normal.

En caso se cumpla con la hipótesis 4.12, se considerará que la distribución está comprendida en una distribución normal. Se tomará como valores de falla representativos, aquellos que indiquen un porcentaje (%), del total de energías de falla, y del cual se esperan que de toda la población de estos valores, solo el 100-% de valores no los supere.

$$E_{F84\%} \approx \bar{X} - S \dots\dots\dots(4.14)$$

$$E_{F98\%} \approx \bar{X} - 2 \times S \dots\dots\dots(4.15)$$

⁽¹⁾ Es la representación gráfica de la ecuación matemática que corresponde a una distribución normal.

$$E_{F99\%} \approx \bar{X} - 3 \times S \dots\dots\dots(4.16)$$

Donde:

$E_{F\%}$ = Valor de energía de falla que espera ser superado por un determinado porcentaje del total de valores de energía de falla existentes.

\bar{X} = Media aritmética de los valores de energía de falla.

S = Desviación estándar de los valores de energía de falla.

Solo se tomarán en cuenta aquellos valores representativos que estén comprendidos entre las energías de falla obtenidas en los ensayos.

- *Distribución libre de los valores:* En caso los valores de energía de falla obtenidos, no están comprendidos dentro de una distribución normal, se ordenarán los valores en forma creciente, siendo el valor que indica el límite de exclusión, el valor con orden igual a la posición $0.05 \times n$ ⁽¹⁾ (donde "n" es el número de valores de energía de falla) del ordenamiento de valores en forma creciente (este número siempre será mayor o igual a la unidad).

Ejemplo: $n = 15$ $0.05 \times 15 = 0.75 \approx 1$, esto nos indica que el valor límite es el primer valor del total de valores.

En este caso el valor representativo de la energía de falla (E_F) de un tipo de malla será:

$$E_F = V_{0.05 \times n} \dots\dots\dots(4.17)$$

Donde:

$V_{0.05 \times n}$ = Valor de energía de falla con orden igual a $0.05 \times n$.

⁽¹⁾ Criterio obtenido del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. 3ra edición, Punto 7.4

4.8 ENSAYOS DE LA MALLA DEL GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Los ensayos al aplastamiento por impacto de la mallas del gavión se dividen en dos grupos: Los ensayos en la "zona 1" de la malla y los ensayos en la "zona 2" de la malla; la descripción de cada zona de ensayo fue descrito en el inciso 4.3.2.

En el cuadros 4.1 se muestra las características de las mallas del gavión ensayadas, así también en el cuadro 4.2 se detalla las características de los impactadores utilizados.

Cuadro 4.1 Características y número de muestras ensayadas

Características de la malla	Tejido	DT	DT	DT	DT
	Abertura (mm.)	80x100	80x100	80x100	80x100
	Diámetro (mm.)	2.40	2.70	3.00	3.80
	Acero	A2	A2	A2	A2
	Recubrimiento	R2	R2	R2	R2 y R4
Zonas de ensayo	# muestras Zona 1	3	3	3	3
	# muestras Zona 2	3	3	3	3

DT = Malla tejida a doble torsión

A2 = Acero cuyas características están descritas en el inciso 1.1.4.3

R2 y R4 = Recubrimientos cuyas características están descritas en el inciso 1.1.4.3.

Cuadro 4.2 Características de los impactadores

	Tipo	Peso ⁽¹⁾ (kg)	Diámetro (m)	Observaciones
EF-A	concreto	12.17	0.22	concreto simple, superficie pulida
EF-B	concreto	11.73	0.22	concreto simple, superficie pulida
EF-C	concreto	12.46	0.22	concreto simple, superficie pulida
EF-E	concreto	13.17	0.22	concreto simple, superficie pulida
EF-F	concreto	13.05	0.22	concreto simple, superficie pulida
R-6	roca	16.75	0.28 ⁽²⁾	roca ígnea, granito
R-7	roca	14.75	0.30 ⁽²⁾	roca ígnea, traquita

⁽¹⁾ Peso inicial de cada impactador antes de realizarse todos los ensayos.

⁽²⁾ Para el diámetro de las rocas se considera el diámetro cribado o mayor dimensión.

4.8.1 ENSAYOS EN ZONA 1

Aquí se muestra el análisis y cálculo de los resultados obtenidos de los ensayos al aplastamiento por impacto de las mallas del gavión en la zona 1 de la malla. Para agrupar e identificar cada tipo de malla se ha utilizado la siguiente nomenclatura, ejemplo:

Malla $\frac{DT}{a}$ $\frac{80x100}{b}$ $\frac{\varnothing 2.4}{c}$ $\frac{A2}{d}$ $\frac{R2}{e}$

Donde:

a = Tejido de la malla del gavión.

b = Abertura de la malla del gavión en mm.

c = Diámetro nominal del alambre de la malla del gavión en mm.

d = Tipo de acero del alambre de la malla del gavión.

e = Tipo de recubrimiento(s) del alambre de la malla del gavión.

En los ensayos realizados a los 4 tipos de malla no se logró la ruptura del alambre; los alambres de la malla sufrían deformaciones (aplastamientos), los cuales fueron medidos en las primeras muestras de cada tipo de malla. Se cambiaron los impactadores de concreto por impactadores de roca de mayor peso, para incrementar las magnitudes de energías de impacto, pero el resultado fue el mismo, no se logró la ruptura del alambre.

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los valores máximos de energía de impacto a los que fueron sometidas las mallas del gavión ensayadas.

Cuadro 4.3 Energías máximas de impacto en zona 1

Malla	Impactador	Energía máxima de impacto (J)
DT80x100Ø2.4A2R2	R-7	173.64
DT80x100Ø2.7A2R2	R-7	173.64
DT80x100Ø3.0A2R2	R-7	173.64
DT80x100Ø3.8A2R2R4	R-7	173.64

A) MALLA DT80X100Ø2.4A2R2

En este tipo de malla se ensayaron 3 muestras (mA, mC y mE), las cuales cumplieron con los requerimientos del inciso 4.5. Luego de realizar las pruebas en cada muestra (según el procedimiento indicado en el inciso 4.6.1), donde no se obtuvo valor alguno de ruptura o falla de la malla (el detalle de la secuencia de las pruebas se encuentra en el anexo G).

En el siguiente cuadro se muestra los valores máximos de energía de impacto a las que fueron sometidas las mallas del gavión ensayadas.

Cuadro 4.4 Máximas energías de impacto, malla DT80X100Ø2.4A2R2

Muestra	Impactador	Peso (kg)	Diámetro (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	Energía (J)
A	EC-A	11.95	0.22	1.50	1.28	9.81	150.05
A	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64
C	EC-A	11.85	0.22	1.50	1.28	9.81	148.80
C	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64
E	EC-A	11.73	0.22	1.50	1.28	9.81	147.29
E	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64

En el cuadro 4.5, se muestra los datos de las pruebas realizadas a la malla DT80X100Ø2.4A2R2, muestra A; donde se puede apreciar las energías de impacto, las variaciones de temperatura y diámetro del alambre de la malla debido a estos impactos.

Cuadro 4.5 Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø2.4A2R2, mA

	Impactador	m	Ø	H	h	g	E	T _i	T _F	ΔT	Ø _i	Ø _F	ΔØ
		(kg)	(m)	(m)	(m)	(m/s ²)	(J)	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)
1	EC-A	11.95	0.22	0.30	0.08	9.81	9.38	26.2	28.5	2.3	2.40	2.10	0.30
2	EC-A	11.95	0.22	0.40	0.18	9.81	21.10	26.2	29.6	3.4	2.40	1.90	0.50
3	EC-A	11.95	0.22	0.50	0.28	9.81	32.82	26.2	32.8	6.6	2.40	1.60	0.80
4	EC-A	11.95	0.22	0.60	0.38	9.81	44.55	26.2	34.7	8.5	2.40	1.50	0.90
5	EC-A	11.95	0.22	0.70	0.48	9.81	56.27	26.3	34.7	8.4	2.40	1.35	1.05
6	EC-A	11.95	0.22	0.80	0.58	9.81	67.99	26.3	35.1	8.8	2.40	1.25	1.15
7	EC-A	11.95	0.22	0.90	0.68	9.81	79.72	26.3	35.9	9.6	2.40	1.30	1.10
8	EC-A	11.95	0.22	1.00	0.78	9.81	91.44	26.3	36.5	10.2	2.40	1.15	1.25
9	EC-A	11.95	0.22	1.10	0.88	9.81	103.16	26.3	38.0	11.7	2.40	1.10	1.30
10	EC-A	11.95	0.22	1.20	0.98	9.81	114.88	26.3	38.1	11.8	2.40	1.05	1.35
11	EC-A	11.95	0.22	1.30	1.08	9.81	126.61	26.3	38.1	11.8	2.40	1.05	1.35
12	EC-A	11.95	0.22	1.40	1.18	9.81	138.33	26.3	38.2	11.9	2.40	1.05	1.35
13	EC-A	11.95	0.22	1.50	1.28	9.81	150.05	26.3	38.3	12.0	2.40	1.05	1.35
14	R-7	14.75	0.30	0.50	0.20	9.81	28.94	26.3	32.3	6.0	2.40	1.60	0.80
15	R-7	14.75	0.30	0.60	0.30	9.81	43.41	26.3	34.3	8.0	2.40	1.70	0.70
16	R-7	14.75	0.30	0.70	0.40	9.81	57.88	26.3	34.7	8.4	2.40	1.75	0.65
17	R-7	14.75	0.30	0.80	0.50	9.81	72.35	26.3	32.9	6.6	2.40	1.15	1.25
18	R-7	14.75	0.30	0.90	0.60	9.81	86.82	26.3	35.6	9.3	2.40	1.15	1.25
19	R-7	14.75	0.30	1.00	0.70	9.81	101.29	26.3	37.9	11.6	2.40	1.15	1.25
20	R-7	14.75	0.30	1.10	0.80	9.81	115.76	26.3	38.0	11.7	2.40	1.15	1.25
21	R-7	14.75	0.30	1.20	0.90	9.81	130.23	26.3	38.1	11.8	2.40	1.15	1.25
22	R-7	14.75	0.30	1.30	1.00	9.81	144.70	26.3	38.1	11.8	2.40	1.10	1.30
23	R-7	14.75	0.30	1.40	1.10	9.81	159.17	26.3	38.3	12.0	2.40	1.05	1.35
24	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64	26.3	38.3	12.0	2.40	1.05	1.35

m = masa del impactador

h = distancia vertical

T_i = temperatura inicial

Ø_i = diámetro inicial del alambre

Ø = diámetro del impactador

g = aceleración de la gravedad

T_F = temperatura final

Ø_F = diámetro final del alambre

H = altura de caída referencial

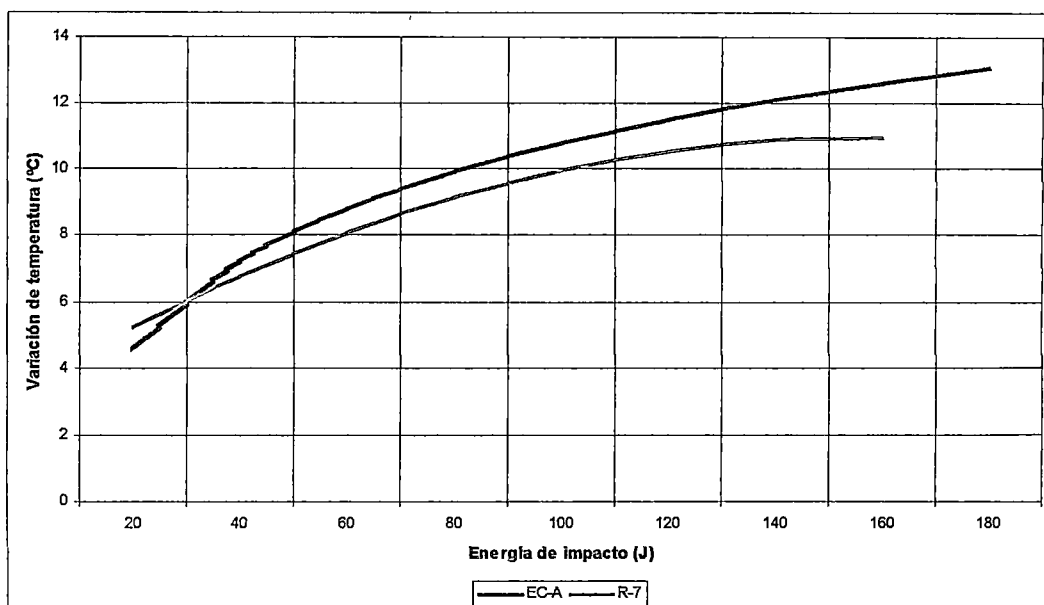
E = energía de impacto

ΔT = variación de la temperatura

ΔØ = variación del diámetro del alambre

En la muestra A, se midieron los incrementos de las temperaturas en el alambre de la malla a efecto de los impactos, tanto con el impactador EC-A como con el impactador R-7, obteniéndose las siguientes líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.2).

Figura 4.6 Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø2.4A2R2, mA



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-A:

$$y = 3.78 \times \ln(x) - 7.03, \quad r = 0.92.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = -0.0003x^2 + 0.095x + 3.464, \quad r = 0.89.$$

Donde:

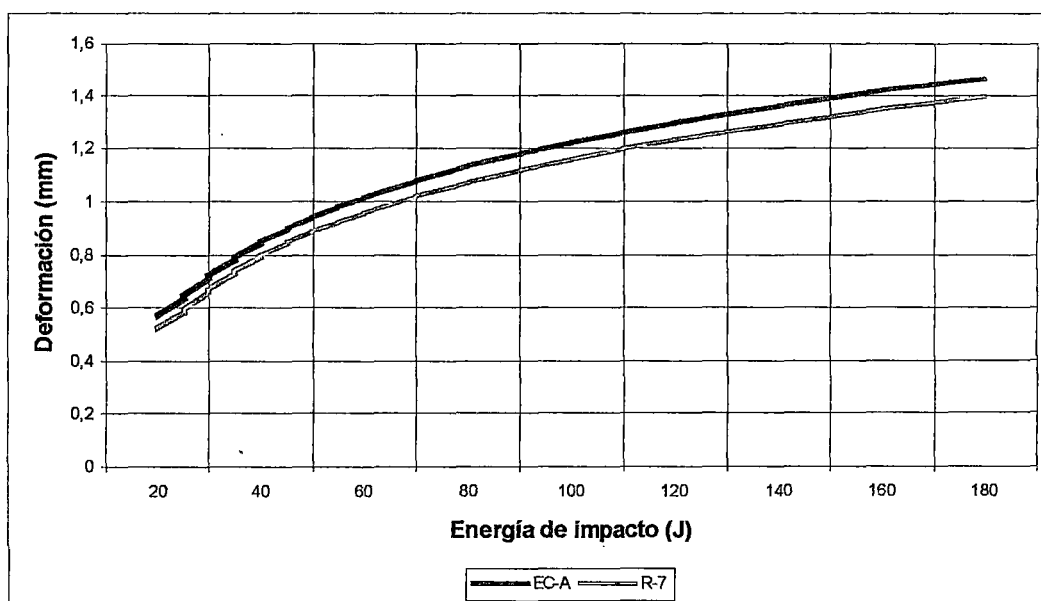
y = Variación de temperatura en el alambre de la malla (°C).

x = Energía de impacto (J)

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

También en la muestra A, se midieron las deformaciones de los alambres de la malla debido a los impactos, tanto con el impactador EC-A como con el impactador R-7, obteniéndose las siguientes líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.2).

Figura 4.7 Energía vs. deformación, malla DT80X100Ø2.4A2R2, mA



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-A:

$$y = 0.42 \times \ln(x) - 0.67, \quad r = 0.91.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = 0.40 \times \ln(x) - 0.68, \quad r = 0.82.$$

Donde:

y = Deformación en el alambre de la malla (mm).

x = Energía de impacto (J)

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

B) MALLA DT80X100Ø2.7A2R2

En este tipo de malla se ensayaron 3 muestras (mA, mC y mE), las cuales cumplieron con los requerimientos del inciso 4.5. Luego de realizar las pruebas en cada muestra (según el procedimiento indicado en el inciso 4.6.1), no se obtuvo ningún valor de ruptura o falla de la malla (el detalle de la secuencia de las pruebas se encuentra en el anexo G). En el cuadro siguiente se muestra los valores máximos de energía de impacto a las que fueron sometidas las mallas.

Cuadro 4.6 Máximas energías de impacto, malla DT80X100Ø2.7A2R2

Muestra	Impactador	Peso (kg)	Diámetro (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	Energía (J)
A	EC-C	12.23	0.22	1.50	1.28	9.81	153.57
A	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64
C	EC-C	12.17	0.22	1.50	1.28	9.81	152.82
C	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64
E	EC-C	12.01	0.22	1.50	1.28	9.81	150.81
E	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64

En el cuadro 4.7, se muestra los datos de las pruebas realizadas a la malla DT80X100Ø2.7A2R2, muestra A; donde se puede apreciar las energías de impacto, las variaciones de temperatura y diámetro del alambre de la malla debido a estos impactos.

Cuadro 4.7 Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø2.7A2R2, mA

	Impactador	M	Ø	H	h	g	E	T _i	T _F	ΔT	Ø _i	Ø _F	ΔØ
		(kg)	(m)	(m)	(m)	(m/s ²)	(J)	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)
1	EC-C	12.23	0.22	0.30	0.08	9.81	9.60	26.7	30.5	3.8	2.70	2.50	0.20
2	EF-C	12.23	0.22	0.40	0.18	9.81	21.60	26.7	30.8	4.1	2.70	2.00	0.70
3	EF-C	12.23	0.22	0.50	0.28	9.81	33.59	26.7	31.5	4.8	2.70	1.70	1.00
4	EF-C	12.23	0.22	0.60	0.38	9.81	45.59	26.7	32.2	5.5	2.70	1.60	1.10
5	EF-C	12.23	0.22	0.70	0.48	9.81	57.59	26.7	32.6	5.9	2.70	1.60	1.10
6	EF-C	12.23	0.22	0.80	0.58	9.81	69.59	26.7	33.1	6.4	2.70	1.55	1.15
7	EF-C	12.23	0.22	0.90	0.68	9.81	81.58	26.7	33.8	7.1	2.70	1.50	1.20
8	EF-C	12.23	0.22	1.00	0.78	9.81	93.58	26.7	34.0	7.3	2.70	1.40	1.30
9	EF-C	12.23	0.22	1.10	0.88	9.81	105.58	26.7	34.5	7.8	2.70	1.40	1.30
10	EF-C	12.23	0.22	1.20	0.98	9.81	117.58	26.7	35.5	8.8	2.70	1.30	1.40
11	EF-C	12.23	0.22	1.30	1.08	9.81	129.57	26.7	36.3	9.6	2.70	1.30	1.40
12	EF-C	12.23	0.22	1.40	1.18	9.81	141.57	26.7	37.6	10.9	2.70	1.25	1.45
13	EF-C	12.23	0.22	1.50	1.28	9.81	153.57	26.7	38.5	11.8	2.70	1.00	1.70
14	R-7	14.75	0.30	0.50	0.20	9.81	28.94	26.7	31.5	4.8	2.70	1.75	0.95
15	R-7	14.75	0.30	0.60	0.30	9.81	43.41	26.7	31.9	5.2	2.70	1.65	1.05
16	R-7	14.75	0.30	0.70	0.40	9.81	57.88	26.7	32.6	5.9	2.70	1.60	1.10
17	R-7	14.75	0.30	0.80	0.50	9.81	72.35	26.7	33.2	6.5	2.70	1.55	1.15
18	R-7	14.75	0.30	0.90	0.60	9.81	86.82	26.7	33.8	7.1	2.70	1.50	1.20
19	R-7	14.75	0.30	1.00	0.70	9.81	101.29	26.7	34.4	7.7	2.70	1.40	1.30
20	R-7	14.75	0.30	1.10	0.80	9.81	115.76	26.7	35.5	8.8	2.70	1.40	1.30
21	R-7	14.75	0.30	1.20	0.90	9.81	130.23	26.7	36.9	10.2	2.70	1.30	1.40
22	R-7	14.75	0.30	1.30	1.00	9.81	144.70	26.7	37.6	10.9	2.70	1.25	1.45
23	R-7	14.75	0.30	1.40	1.10	9.81	159.17	26.7	38.3	11.6	2.70	1.20	1.50
24	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64	26.7	40.2	13.5	2.70	1.10	1.60

m = masa del impactador

h = distancia vertical

T_i = temperatura inicial

Ø_i = diámetro inicial del alambre

Ø = diámetro del impactador

g = aceleración de la gravedad

T_F = temperatura final

Ø_F = diámetro final del alambre

H = altura de caída referencial

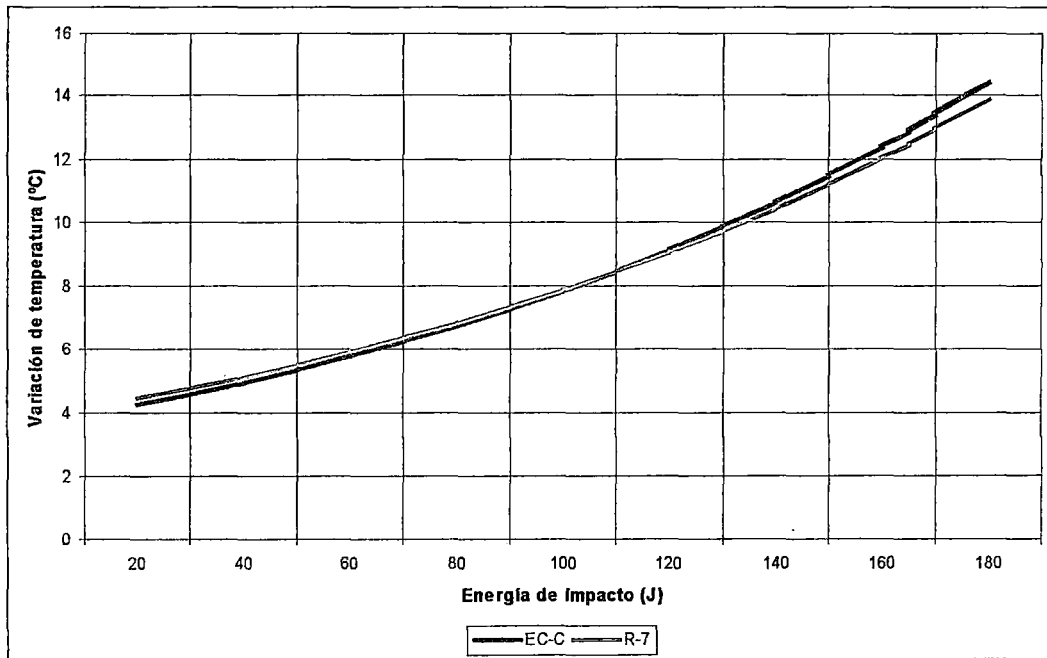
E = energía de impacto

ΔT = variación de la temperatura

ΔØ = variación del diámetro del alambre

En la muestra A, se midieron los incrementos de las temperaturas en el alambre de la malla a efecto de los impactos, tanto con el impactador EC-C como con el impactador R-7, obteniéndose las siguientes líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.2).

Figura 4.8 Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø2.7A2R2, mA



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-C:

$$y = 3.67 \times e^{0.0076.X}, \quad r = 0.99.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = 3.86 \times e^{0.0071.X}, \quad r = 0.91.$$

Donde:

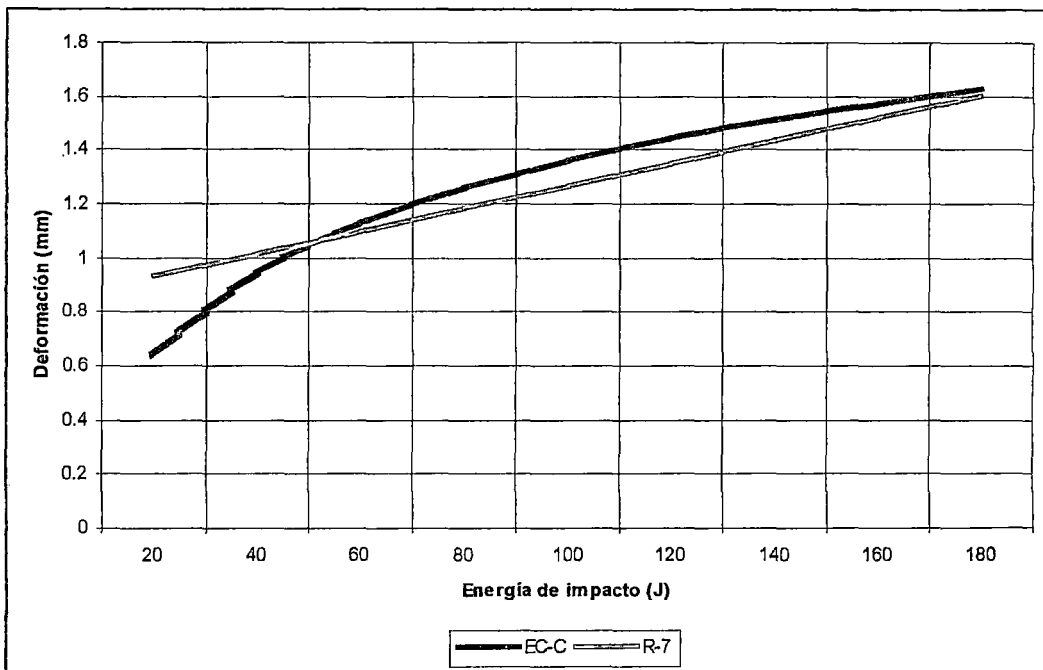
y = Variación de temperatura en el alambre de la malla (°C).

x = Energía de impacto (J)

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

También en la muestra A, se midieron las deformaciones de los alambres de la malla debido a los impactos, tanto con el impactador EC-C como con el impactador R-7, obteniéndose siguientes líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.2).

Figura 4.9 Energía vs. deformación, malla DT80x100Ø2.7A2R2, mA



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-C:

$$y = 0.45 \times \ln(x) - 0.71, \quad r = 0.90.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = 0.0042x + 0.85, \quad r = 0.99.$$

Donde:

y = Deformación en el alambre de la malla (mm).

x = Energía de impacto (J)

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

C) MALLA DT80x100Ø3.0A2R2

En este tipo de malla se ensayaron 3 muestras (mA, mC y mE), las cuales cumplieron con los requerimientos del inciso 4.5. Luego de realizar las pruebas en cada muestra (según el procedimiento indicado en el inciso 4.6.1) no se obtuvo ningún valor de ruptura o falla de la malla (el detalle de la secuencia de las pruebas se encuentra en el anexo G). En el cuadro siguiente se muestra los valores máximos de energía de impacto a las que fueron sometidas las mallas.

Cuadro 4.8 Máximas energías de impacto, malla DT80X100Ø3.0A2R2

Muestra	Impactador	Peso (kg)	Diámetro (m)	H (m)	H (m)	g (m/s ²)	Energía (J)
A	EC-F	12.97	0.22	1.50	1.28	9.81	162.86
A	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64
C	EC-F	12.97	0.22	1.50	1.28	9.81	162.86
C	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64
E	EC-F	12.84	0.22	1.50	1.28	9.81	161.23
E	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64

En el cuadro 4.9, se muestra los datos de las pruebas realizadas a la malla DT80X100Ø3.0A2R2, muestra A; donde se puede apreciar las energías de impacto, las variaciones de temperatura y diámetro del alambre de la malla debido a estos impactos.

Cuadro 4.9 Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø3.0A2R2, mA

	Impactador	m (kg)	Ø (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	E (J)	T _i (°C)	T _F (°C)	ΔT (°C)	Ø _i (mm)	Ø _F (mm)	ΔØ (mm)
1	EC-F	12.97	0.22	0.30	0.08	9.81	10.18	26.0	29.2	3.2	3.00	2.70	0.30
2	EC-F	12.97	0.22	0.40	0.18	9.81	22.90	26.0	30.3	4.3	3.00	2.40	0.60
3	EC-F	12.97	0.22	0.50	0.28	9.81	35.63	26.0	30.9	4.9	3.00	2.30	0.70
4	EC-F	12.97	0.22	0.60	0.38	9.81	48.35	26.0	31.9	5.9	3.00	2.25	0.75
5	EC-F	12.97	0.22	0.70	0.48	9.81	61.07	26.0	32.2	6.2	3.00	2.20	0.80
6	EC-F	12.97	0.22	0.80	0.58	9.81	73.80	26.0	36.6	10.6	3.00	2.20	0.80
7	EC-F	12.97	0.22	0.90	0.68	9.81	86.52	26.0	36.8	10.8	3.00	2.10	0.90
8	EC-F	12.97	0.22	1.00	0.78	9.81	99.24	26.0	37.1	11.1	3.00	1.90	1.10
9	EC-F	12.97	0.22	1.10	0.88	9.81	111.97	26.0	37.3	11.3	3.00	1.80	1.20
10	EC-F	12.97	0.22	1.20	0.98	9.81	124.69	26.0	37.3	11.3	3.00	1.75	1.25
11	EC-F	12.97	0.22	1.30	1.08	9.81	137.41	26.0	37.9	11.9	3.00	1.75	1.25
12	EC-F	12.97	0.22	1.40	1.18	9.81	150.14	26.0	38.5	12.5	3.00	1.70	1.30
13	EC-F	12.97	0.22	1.50	1.28	9.81	162.86	26.0	39.1	13.1	3.00	1.70	1.30
14	R-7	14.75	0.30	0.50	0.20	9.81	28.94	26.0	30.5	4.5	3.00	2.10	0.90
15	R-7	14.75	0.30	0.60	0.30	9.81	43.41	26.0	31.7	5.7	3.00	2.25	0.75
16	R-7	14.75	0.30	0.70	0.40	9.81	57.88	26.0	32.2	6.2	3.00	2.25	0.75
17	R-7	14.75	0.30	0.80	0.50	9.81	72.35	26.0	36.6	10.6	3.00	2.35	0.65
18	R-7	14.75	0.30	0.90	0.60	9.81	86.82	26.0	34.7	8.7	3.00	1.90	1.10
19	R-7	14.75	0.30	1.00	0.70	9.81	101.29	26.0	35.9	9.9	3.00	1.90	1.10
20	R-7	14.75	0.30	1.10	0.80	9.81	115.76	26.0	33.7	7.7	3.00	2.10	0.90
21	R-7	14.75	0.30	1.20	0.90	9.81	130.23	26.0	31.2	5.2	3.00	2.05	0.95
22	R-7	14.75	0.30	1.30	1.00	9.81	144.70	26.0	39.5	13.5	3.00	1.90	1.10
23	R-7	14.75	0.30	1.40	1.10	9.81	159.17	26.0	39.1	13.1	3.00	1.90	1.10
24	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64	26.0	40.2	14.2	3.00	1.80	1.20

m = masa del impactador

h = distancia vertical

T_i = temperatura inicial

Ø_i = diámetro inicial del alambre

Ø = diámetro del impactador

g = aceleración de la gravedad

T_F = temperatura final

Ø_F = diámetro final del alambre

H = altura de caída referencial

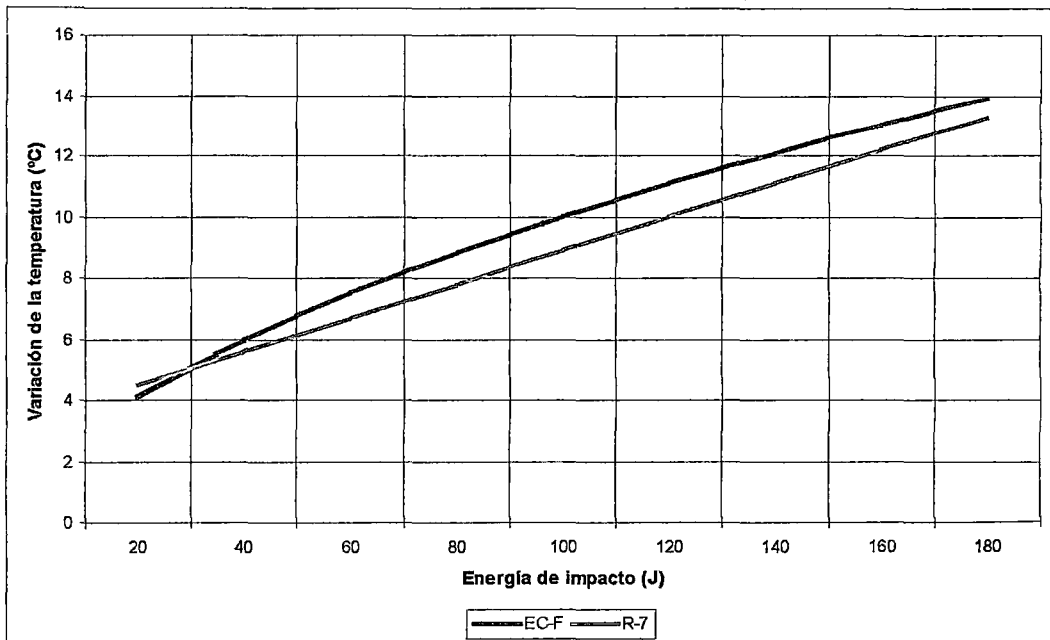
E = energía de impacto

ΔT = variación de la temperatura

ΔØ = variación del diámetro del alambre

En la muestra A, se midieron los incrementos de las temperaturas en el alambre de la malla a efecto de los impactos, tanto con el impactador EC-F como con el impactador R-7, obteniéndose siguientes líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.2).

Figura 4.10 Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø3.0A2R2, mA



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-F:

$$y = 0.76x^{0.56}, \quad r = 0.95.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = 0.055x + 3.41, \quad r = 0.76.$$

Donde:

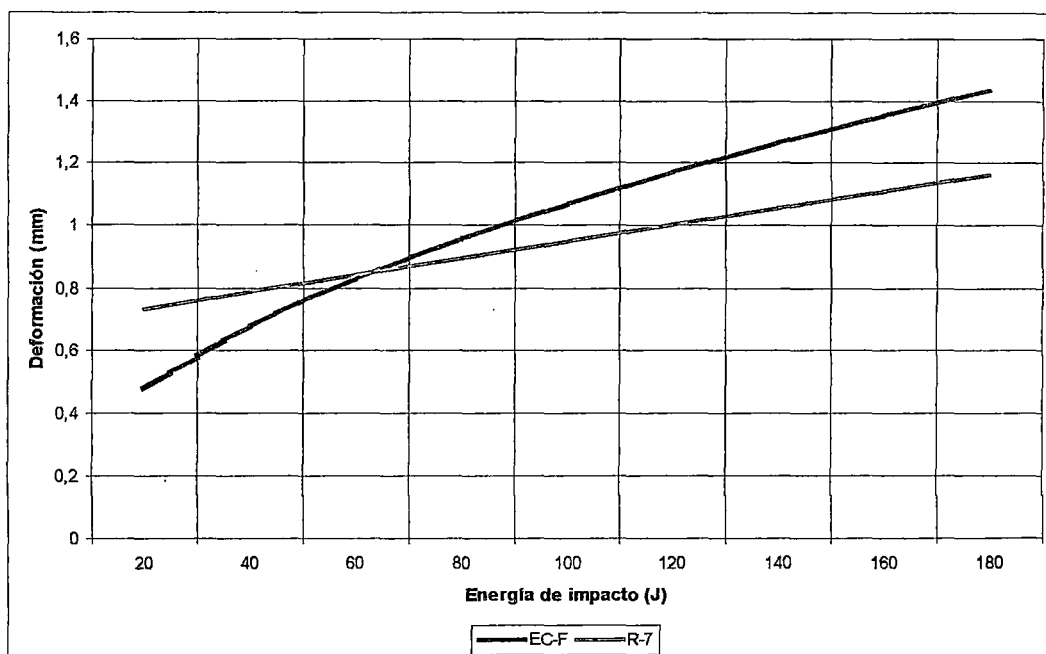
y = Variación de temperatura en el alambre de la malla (°C).

x = Energía de impacto (J)

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

También en la muestra A, se midieron las deformaciones de los alambres de la malla debido a los impactos, tanto con el impactador EC-F como con el impactador R-7, obteniéndose las siguientes líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.2).

Figura 4.11 Energía vs. deformación, malla DT80X100Ø3.0A2R2, mA



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-F:

$$y = 0.107x^{0.50}, \quad r = 0.97.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = 0.0027x + 0.68, \quad r = 0.72.$$

Donde:

y = Deformación en el alambre de la malla (mm).

x = Energía de impacto (J)

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

D) MALLA DT80x100Ø3.8A2R2R4

En este tipo de malla se ensayaron 3 muestras (mA, mC y mE), las cuales cumplieron con los requerimientos del inciso 4.5. Debido a que este tipo de malla posee un recubrimiento adicional de PVC, se procedió a lo indicado en el mismo inciso, es decir, se midió el diámetro total de alambre, posteriormente se retiró el PVC y se midió nuevamente el diámetro del alambre; de estas medidas se obtuvo que el diámetro del alambre sin recubrimiento de PVC es 2.7 mm. y el espesor del PVC (la semi-diferencia de medidas) es 0.55 mm. Luego de realizar las pruebas en cada muestra (según el procedimiento indicado en el inciso 4.6.1), no se obtuvo ningún valor de ruptura o falla de la malla (el detalle de la secuencia de las pruebas se encuentra en el anexo G). En el cuadro siguiente se muestra los valores máximos de energía de impacto a las que fueron sometidas las mallas.

Cuadro 4.10 Máximas energías de impacto, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4

Muestra	Impactador	Peso (kg)	Diámetro (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	Energía (J)
A	EC-F	12.84	0.22	1.50	1.28	9.81	161.23
A	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64
C	EC-F	12.75	0.22	1.50	1.28	9.81	160.10
C	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64
E	EC-F	12.75	0.22	1.50	1.28	9.81	160.10
E	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64

En el cuadro 4.11, se muestra los datos de las pruebas realizadas a la malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, muestra A; donde se puede apreciar las energías de impacto, las variaciones de temperatura y diámetro del alambre de la malla debido a estos impactos.

Cuadro 4.11 Energías de impacto, temperaturas y deformaciones; malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mA

	Impactador	m	Ø	H	h	g	E	T _i	T _F	ΔT	Ø _i	Ø _F	ΔØ
		(kg)	(m)	(m)	(m)	(m/s ²)	(J)	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)
1	EC-F	12.84	0.22	0.30	0.08	9.81	10.08	27.1	33.1	6.0	3.80	3.40	0.40
2	EC-F	12.84	0.22	0.40	0.18	9.81	22.67	27.1	34.2	7.1	3.80	3.20	0.60
3	EC-F	12.84	0.22	0.50	0.28	9.81	35.27	27.1	34.9	7.8	3.80	3.10	0.70
4	EC-F	12.84	0.22	0.60	0.38	9.81	47.86	27.1	35.6	8.5	3.80	3.00	0.80
5	EC-F	12.84	0.22	0.70	0.48	9.81	60.46	27.1	35.8	8.7	3.80	3.00	0.80
6	EC-F	12.84	0.22	0.80	0.58	9.81	73.06	27.1	36.0	8.9	3.80	2.30	1.50
7	EC-F	12.84	0.22	0.90	0.68	9.81	85.65	27.1	36.8	9.7	3.80	2.25	1.55
8	EC-F	12.84	0.22	1.00	0.78	9.81	98.25	27.1	37.5	10.4	3.80	2.20	1.60
9	EC-F	12.84	0.22	1.10	0.88	9.81	110.85	27.1	38.4	11.3	3.80	2.05	1.75
10	EC-F	12.84	0.22	1.20	0.98	9.81	123.44	27.1	39.6	12.5	3.80	1.90	1.90
11	EC-F	12.84	0.22	1.30	1.08	9.81	136.04	27.1	40.1	13.0	3.80	1.70	2.10
12	EC-F	12.84	0.22	1.40	1.18	9.81	148.63	27.1	40.3	13.2	3.80	1.65	2.15
13	EC-F	12.84	0.22	1.50	1.28	9.81	161.23	27.1	40.6	13.5	3.80	1.55	2.25
14	R-7	14.75	0.30	0.50	0.20	9.81	28.94	27.1	36.8	9.7	3.80	3.15	0.65
15	R-7	14.75	0.30	0.60	0.30	9.81	43.41	27.1	39.3	12.2	3.80	2.95	0.85
16	R-7	14.75	0.30	0.70	0.40	9.81	57.88	27.1	37.3	10.2	3.80	3.00	0.80
17	R-7	14.75	0.30	0.80	0.50	9.81	72.35	27.1	35.7	8.6	3.80	1.95	1.85
18	R-7	14.75	0.30	0.90	0.60	9.81	86.82	27.1	36.6	9.5	3.80	2.25	1.55
19	R-7	14.75	0.30	1.00	0.70	9.81	101.29	27.1	38.3	11.2	3.80	1.75	2.05
20	R-7	14.75	0.30	1.10	0.80	9.81	115.76	27.1	38.9	11.8	3.80	2.20	1.60
21	R-7	14.75	0.30	1.20	0.90	9.81	130.23	27.1	40.1	13.0	3.80	1.30	2.50
22	R-7	14.75	0.30	1.30	1.00	9.81	144.70	27.1	39.9	12.8	3.80	1.35	2.45
23	R-7	14.75	0.30	1.40	1.10	9.81	159.17	27.1	38.6	11.5	3.80	1.40	2.40
24	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64	27.1	41.1	14.0	3.80	1.30	2.50

m = masa del impactador

h = distancia vertical

T_i = temperatura inicial

Ø_i = diámetro inicial del alambre

Ø = diámetro del impactador

g = aceleración de la gravedad

T_F = temperatura final

Ø_F = diámetro final del alambre

H = altura de caída referencial

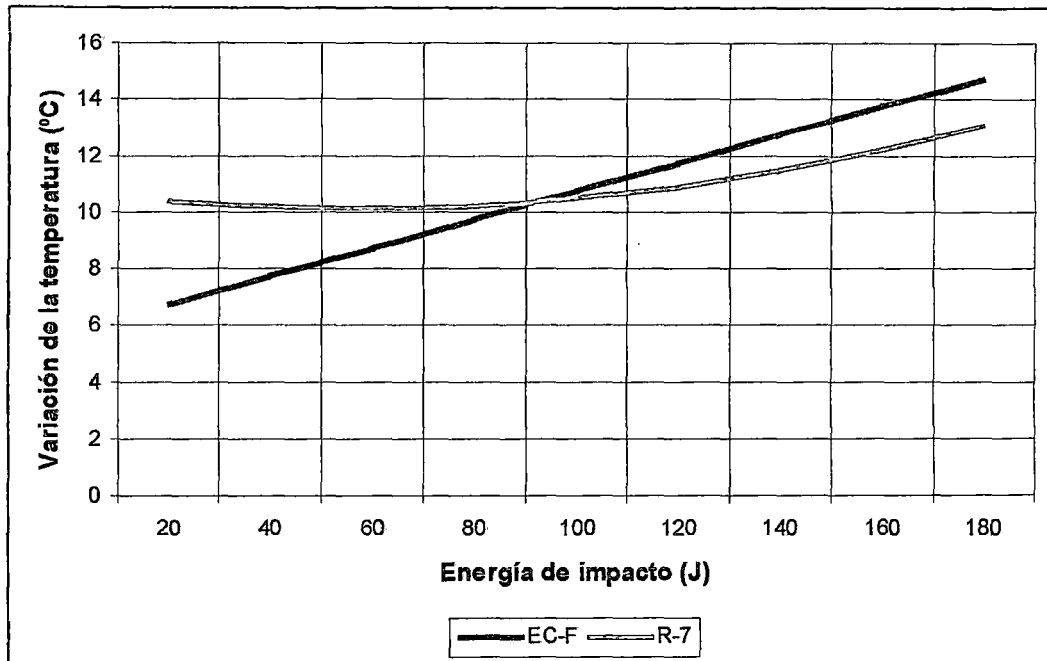
E = energía de impacto

ΔT = variación de la temperatura

ΔØ = variación del diámetro del alambre

En la muestra A, se midieron los incrementos de las temperaturas en el alambre de la malla a efecto de los impactos, tanto con el impactador EC-F como con el impactador R-7, obteniéndose las siguientes líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.2).

Figura 4.12 Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mA



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-F:

$$y = 0.05x + 5.749, \quad r = 0.99.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = 0.0002x^2 + 0.0231x + 10.807, \quad r = 0.68.$$

Donde:

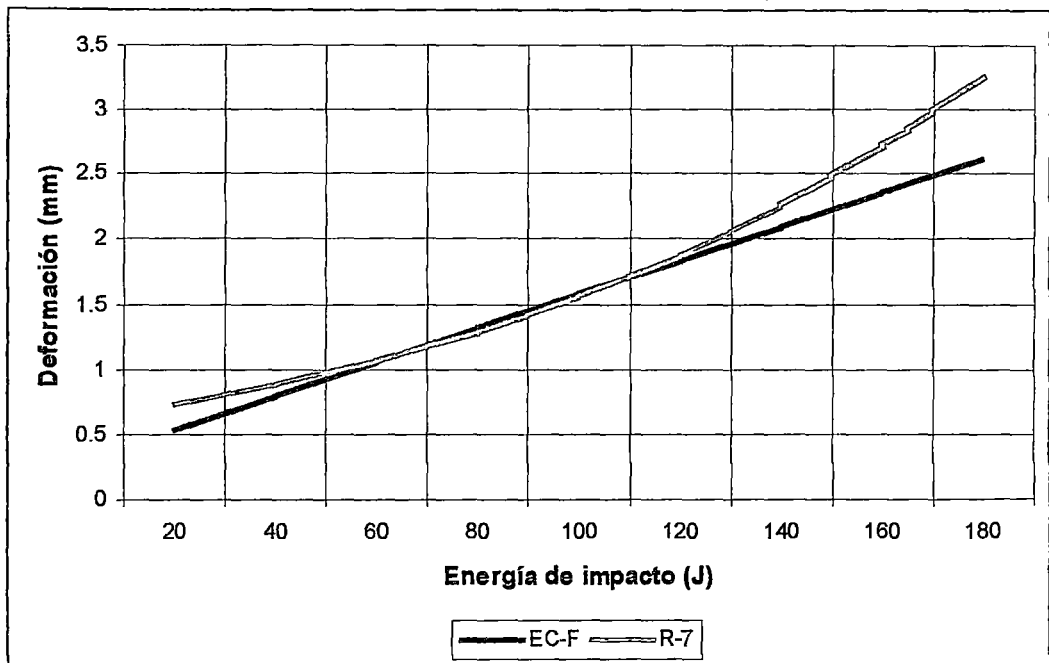
y = Variación de temperatura en el alambre de la malla (°C).

x = Energía de impacto (J)

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

También en la muestra A, se midieron las deformaciones de los alambres de la malla debido a los impactos, tanto con el impactador EC-F como con el impactador R-7, obteniéndose siguientes las líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.2).

Figura 4.13 Energía vs. deformación, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mA



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-F:

$$y = 0.013x + 0.281, \quad r = 0.98.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = 0.613 \times e^{0.0093x}, \quad r = 0.92.$$

Donde:

y = Deformación en el alambre de la malla (mm).

x = Energía de impacto (J)

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

4.8.2 ENSAYOS EN ZONA 2

A continuación se muestran el análisis y cálculo de los resultados obtenidos de los ensayos al aplastamiento por impacto de las mallas del gavión en la zona 2 de la malla. Para agrupar e identificar cada tipo de malla se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

Malla $\frac{DT}{a}$ $\frac{80 \times 100}{b}$ $\frac{\varnothing 2.4}{c}$ $\frac{A2}{d}$ $\frac{R2}{e}$

Donde:

a = Tejido de la malla del gavión.

b = Abertura de la malla del gavión en mm.

c = Diámetro nominal del alambre de la malla del gavión en mm.

d = Tipo de acero del alambre de la malla del gavión.

e = Tipo de recubrimiento(s) del alambre de la malla del gavión.

En los ensayos realizados a los 4 tipos de mallas se logró encontrar valores de energía de falla. Para la malla tipo DT80x100 \varnothing 3.0A2R2, se tuvo que cambiar de impactadores de concreto por impactadores de roca de mayor masa (R-6 y R-7) para lograr un incremento en las energías de impacto, impactos que lograron la ruptura de la malla.

En el cuadro siguiente se muestra un resumen de los valores de energía de falla, promedio y representativo, obtenidos en cada tipo de malla.

Cuadro 4.12 Energías de falla promedios y representativas en zona 2

Malla	$E_{FPROMEDIO}$ (J)	$E_{FPROMEDIO}$ (%)	$E_{F84\%}$ (J)	$E_{F84\%}$ (%)
DT80x100 \varnothing 2.4A2R2	94.21	100.00	69.65	100
DT80x100 \varnothing 2.7A2R2	103.25	109.59	77.25	110.91
DT80x100 \varnothing 3.0A2R2	143.19	151.99	119.82	172.03
DT80x100 \varnothing 3.8A2R2R4	102.51	108.81	66.17	95.00

A) MALLA DT80X100Ø2.4A2R2

En este tipo de malla se ensayaron 3 muestras (mB, mD y mF), las cuales cumplieron con los requerimientos del inciso 4.5. Luego de realizar las pruebas en cada muestra (según el procedimiento indicado en el inciso 4.6.1), se obtuvieron valores de ruptura o falla de la malla (el detalle de la secuencia de las pruebas se encuentra en el anexo G).

En el cuadro 4.13, se muestra los valores de las pruebas que originaron la ruptura de la malla, con estos datos se calcula las energías de falla y luego se procede a hallar los valores representativos de energía de falla de la malla tipo DT80X100Ø2.4A2R2, según lo indica el inciso 4.7.

Cuadro 4.13 Energía de falla, malla DT80X100Ø2.4A2R2

	Muestra	Impactador	m (kg)	Ø (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	E _F (J)
1	B	EC-B	11.52	0.22	1.00	0.78	9.81	88.15
2	B	EC-B	11.52	0.22	1.00	0.78	9.81	88.15
3	B	EC-B	11.52	0.22	1.10	0.88	9.81	99.45
4	B	EC-B	11.52	0.22	1.10	0.88	9.81	99.45
5	B	EC-B	11.52	0.22	1.30	1.08	9.81	122.05
6	D	EC-B	11.37	0.22	0.70	0.48	9.81	53.54
7	D	EC-B	11.37	0.22	1.30	1.08	9.81	120.46
8	D	EC-B	11.37	0.22	1.20	0.98	9.81	109.31
9	D	EC-B	11.37	0.22	1.50	1.28	9.81	142.77
10	F	EC-B	11.20	0.22	0.80	0.58	9.81	63.73
11	F	EC-B	11.20	0.22	0.80	0.58	9.81	63.73
12	F	EC-B	11.20	0.22	1.10	0.88	9.81	96.69
13	F	EC-B	11.20	0.22	1.00	0.78	9.81	85.70
14	F	EC-B	11.20	0.22	1.00	0.78	9.81	85.70

Tipo de distribución:

Con las energías de falla del cuadro 4.13, se obtienen los siguientes valores:

$$n = 14 \quad \bar{X} = 94.21 \quad S^2 = 603.28$$

$$S = 24.56 \quad D_{MAX} = 0.287 \quad D_{K-S} = 0.349$$

Luego de comparar los valores $D_{MÁX}$ y D_{K-S} , vemos que el primero es menor que el segundo, con lo que podemos afirmar que la hipótesis H_0 (ecuación 4.12) es válida, es decir, los valores siguen una distribución normal.

El detalle de los cálculos para obtener el tipo de distribución se encuentran en el anexo D.4.

Valores representativos:

Como el tipo de distribución de datos es normal, los valores representativos que tomaremos será de acuerdo a lo descrito en el inciso 4.7:

$$E_{F84\%} \approx \bar{X} - S = 94.21 - 24.56 = 69.65J$$

$$E_{F98\%} \approx \bar{X} - 2 \times S = 94.21 - 2 \times 24.56 = 45.09J$$

$$E_{F99\%} \approx \bar{X} - 3 \times S = 94.21 - 3 \times 24.56 = 20.53J$$

De estos tres valores, solo consideramos el primer valor ($E_F = 69.65$ J), debido a que los otros dos son inferiores a la menor energía de falla obtenida en los ensayos.

Cuadro 4.14 Energías de impacto y temperaturas; malla DT80X100Ø2.4A2R2, mB.

	Impactador	m	∅	H	h	g	E	T _i	T _F	ΔT
		(kg)	(m)	(m)	(m)	(m/s ²)	(J)	(°C)	(°C)	(°C)
1	EC-B	11.52	0.22	0.30	0.08	9.81	9.04	25.7	27.2	1.5
2	EC-B	11.52	0.22	0.40	0.18	9.81	20.34	25.7	27.9	2.2
3	EC-B	11.52	0.22	0.50	0.28	9.81	31.64	25.7	28.1	2.4
4	EC-B	11.52	0.22	0.60	0.38	9.81	42.94	25.7	28.4	2.7
5	EC-B	11.52	0.22	0.70	0.48	9.81	54.25	25.7	28.6	2.9
6	EC-B	11.52	0.22	0.80	0.58	9.81	65.55	25.7	29.1	3.4
7	EC-B	11.52	0.22	0.90	0.68	9.81	76.85	25.7	29.7	4.0
⁽¹⁾ 8	EC-B	11.52	0.22	1.00	0.78	9.81	88.15	25.7	30.3	4.6
9	EC-B	11.52	0.22	0.90	0.68	9.81	76.85	25.7	30.1	4.4
10	EC-B	11.52	0.22	1.00	0.78	9.81	88.15	25.5	30.5	5.0
11	EC-B	11.52	0.22	0.90	0.68	9.81	76.85	25.5	29.8	4.3
12	EC-B	11.52	0.22	1.00	0.78	9.81	88.15	25.5	30.3	4.8
13	EC-B	11.52	0.22	1.10	0.88	9.81	99.45	25.5	30.8	5.3
14	EC-B	11.52	0.30	1.00	0.70	9.81	79.11	25.5	30.4	4.9
15	EC-B	11.52	0.30	1.10	0.80	9.81	90.41	25.5	31.0	5.5
16	EC-B	11.52	0.30	1.00	0.70	9.81	79.11	25.5	31.8	6.3
17	EC-B	11.52	0.30	1.10	0.80	9.81	90.41	25.5	32.7	7.2
18	EC-B	11.52	0.30	1.20	0.90	9.81	101.71	25.5	33.4	7.9
19	EC-B	11.52	0.30	1.30	1.00	9.81	113.01	25.5	34.5	9.0

m = masa del impactador

h = distancia vertical

T_i = temperatura inicial

∅ = diámetro del impactador

g = aceleración de la gravedad

T_F = temperatura final

H = altura de caída referencial

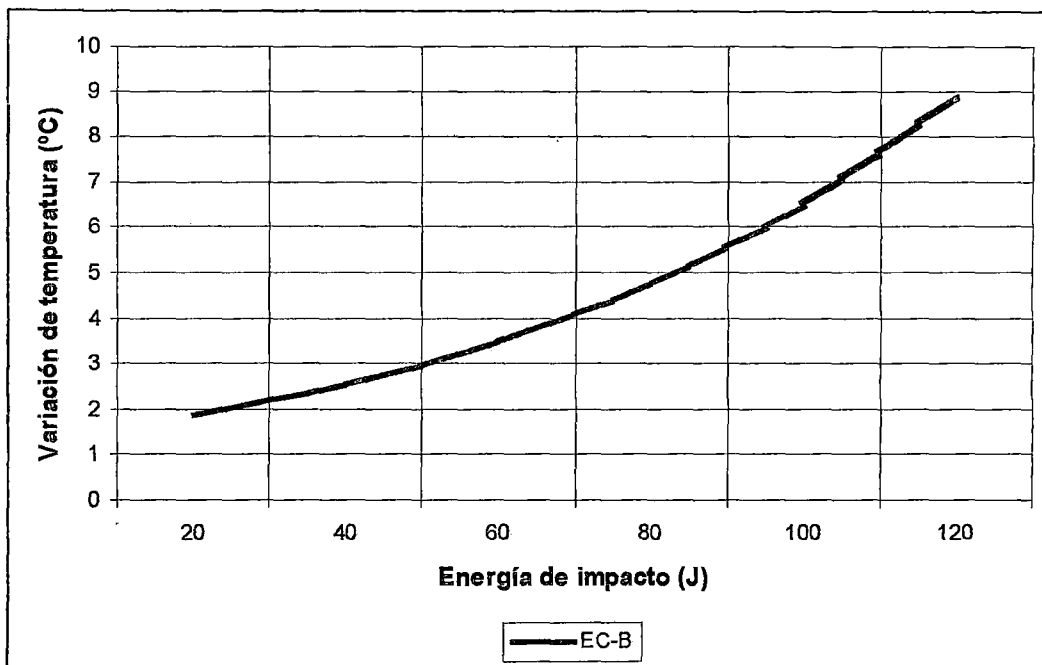
E = energía de impacto

ΔT = variación de la temperatura

⁽¹⁾ Los valores que están resaltados, son aquellos que produjeron la ruptura de la malla.

En la muestra B, se midieron los incrementos de las temperaturas en el alambre de la malla a efecto de los impactos, con el impactador EC-B, obteniéndose la siguiente línea tendencia (el detalle de los cálculos de dicha línea se encuentra el anexo D.3):

Figura 4.14 Energía vs. temperatura, malla DT80x100Ø2.4A2R2, mB



La ecuación que rige esta línea tendencia es:

$$y = 1.38 \times e^{0.0155x}, \quad r = 0.88.$$

Donde:

y = Variación de temperatura en el alambre de la malla (°C).

x = Energía de impacto (J).

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

B) MALLA DT80X100Ø2.7A2R2

En este tipo de malla se ensayaron 3 muestras (mB, mD y mF), las cuales cumplieron con los requerimientos del inciso 4.5. Luego de realizar las pruebas en cada muestra (según el procedimiento indicado en el inciso 4.6.1), se obtuvieron valores de ruptura o falla de la malla (el detalle de la secuencia de las pruebas se encuentra en el anexo G).

En el cuadro 4.15, se muestra los valores de las pruebas que originaron la ruptura de la malla, con estos datos se calcula las energías de falla y luego se procede a hallar los valores representativos de energía de falla de la malla tipo DT80X100Ø2.7A2R2, según lo indica el inciso 4.7.

Cuadro 4.15 Energía de falla, malla DT80X100Ø2.7A2R2

	Muestra	Impactador	m (kg)	Ø (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	E _F (J)
1	B	EC-C	12.19	0.22	1.00	0.78	9.81	93.28
2	B	EC-C	12.19	0.22	1.30	1.08	9.81	129.15
3	B	EC-C	12.19	0.22	1.40	1.18	9.81	141.11
4	D	EC-C	12.17	0.22	0.90	0.68	9.81	81.18
5	D	EC-C	12.17	0.22	0.90	0.68	9.81	81.18
6	F	EC-C	12.01	0.22	0.70	0.48	9.81	56.55
7	F	EC-C	12.01	0.22	1.10	0.88	9.81	103.68
8	F	EC-C	12.01	0.22	1.20	0.98	9.81	115.46
9	F	EC-C	12.01	0.22	1.10	0.88	9.81	103.68
10	F	EC-C	12.01	0.22	1.30	1.08	9.81	127.24

Tipo de distribución:

Con las energías de falla del cuadro 4.15, se obtienen los siguientes valores:

$$\begin{array}{lll}
 n = 10 & \bar{X} = 103.25 & S^2 = 675.92 \\
 S = 26.00 & D_{MAX} = 0.230 & D_{K-S} = 0.410
 \end{array}$$

Luego de comparar los valores $D_{MÁX}$ y D_{K-S} , vemos que el primero es menor que el segundo, con lo que podemos afirmar que la hipótesis H_0 (ecuación 4.12) es válida, es decir, los valores siguen una distribución normal.

El detalle de los cálculos para obtener el tipo de distribución se encuentran en el anexo D.4.

Valores representativos:

Como el tipo de distribución de datos es normal, los valores representativos que tomaremos será de acuerdo a lo descrito en el inciso 4.7:

$$E_{F84\%} \approx \bar{X} - S = 103.25 - 26.00 = 77.25J$$

$$E_{F98\%} \approx \bar{X} - 2 \times S = 103.25 - 2 \times 26.00 = 51.25J$$

$$E_{F99\%} \approx \bar{X} - 3 \times S = 103.25 - 3 \times 26.00 = 25.25J$$

De estos tres valores, solo consideramos el primer valor ($E_F = 77.25$ J), debido a que los otros dos son inferiores a la menor energía de falla obtenida en los ensayos.

Cuadro 4.16 Energías de impacto y temperaturas; malla DT80X100Ø2.7A2R2, mB

	Impactador	m	Ø	H	h	g	E	T _i	T _F	ΔT
		(kg)	(m)	(m)	(m)	(m/s ²)	(J)	(°C)	(°C)	(°C)
1	EC-C	12.19	0.22	0.30	0.08	9.81	9.57	26.5	27.9	1.4
2	EC-C	12.19	0.22	0.40	0.18	9.81	21.53	26.5	28.2	1.7
3	EC-C	12.19	0.22	0.50	0.28	9.81	33.48	26.5	28.9	2.4
4	EC-C	12.19	0.22	0.60	0.38	9.81	45.44	26.5	29.5	3.0
5	EC-C	12.19	0.22	0.80	0.58	9.81	69.36	26.5	30.7	4.2
6	EC-C	12.19	0.22	0.80	0.58	9.81	69.36	26.5	32.5	6.0
7	EC-C	12.19	0.22	0.90	0.68	9.81	81.32	26.5	34.7	8.2
⁽¹⁾ 8	EC-C	12.19	0.22	1.00	0.78	9.81	93.28	26.5	34.9	8.4
9	EC-C	12.19	0.22	0.90	0.68	9.81	81.32	26.5	34.6	8.1
10	EC-C	12.19	0.22	1.00	0.78	9.81	93.28	26.5	34.8	8.3
11	EC-C	12.19	0.22	1.10	0.88	9.81	105.23	26.5	36.3	9.8
12	EC-C	12.19	0.22	1.20	0.98	9.81	117.19	26.5	37.1	10.6
13	EC-C	12.19	0.22	1.30	1.08	9.81	129.15	26.5	37.5	11.0
14	EC-C	12.19	0.30	1.20	0.90	9.81	107.63	26.5	36.5	10.0
15	EC-C	12.19	0.30	1.30	1.00	9.81	119.58	26.5	37.7	11.2
16	EC-C	12.19	0.30	1.40	1.10	9.81	131.54	26.5	38.1	11.6
17	EC-C	12.19	0.30	1.30	1.00	9.81	119.58	26.5	37.5	11.0
18	EC-C	12.19	0.30	1.40	1.10	9.81	131.54	26.5	37.5	11.0
19	EC-C	12.19	0.30	1.50	1.20	9.81	143.50	26.5	38.8	12.3

m = masa del impactador

h = distancia vertical

T_i = temperatura inicial

Ø = diámetro del impactador

g = aceleración de la gravedad

T_F = temperatura final

H = altura de caída referencial

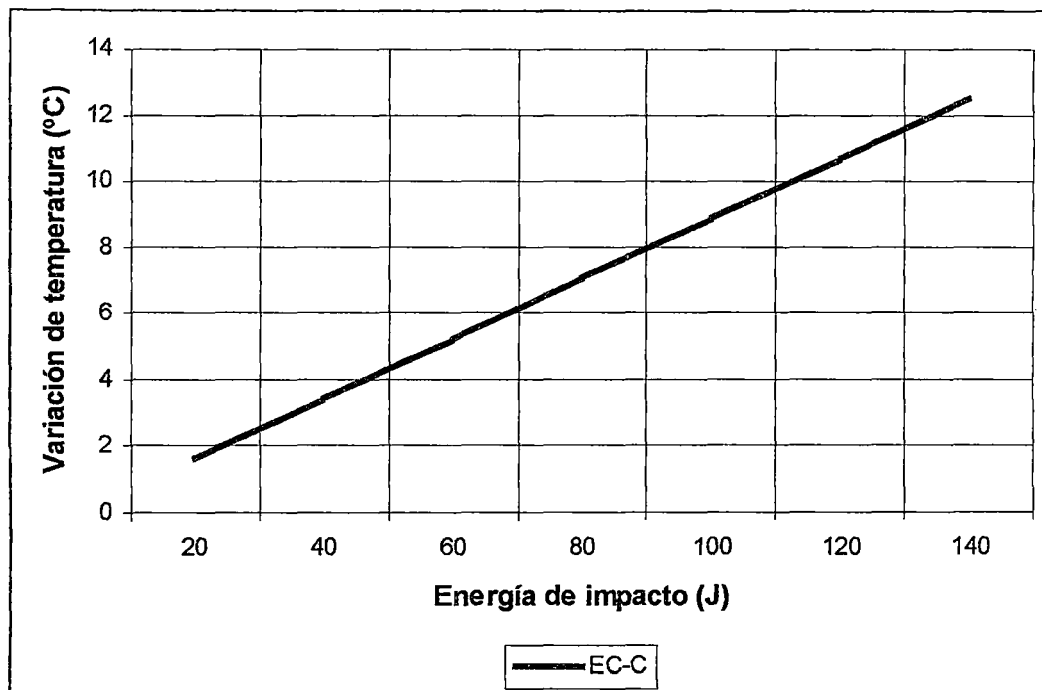
E = energía de impacto

ΔT = variación de la temperatura

⁽¹⁾ Los valores que están resaltados, son aquellos que produjeron la ruptura de la malla.

En la muestra "B", se midieron los incrementos de las temperaturas en el alambre de la malla a efecto de los impactos, con el impactador "EC-C", obteniéndose la siguiente línea tendencia (el detalle de los cálculos de dicha línea se encuentra el anexo D.3):

Figura 4.15 Energía vs. temperatura, malla DT80x100Ø2.7A2R2, mB



La ecuación que rige esta línea tendencia es:

$$y = 0.091x - 0.216, \quad r = 0.98.$$

Donde:

y = Variación de temperatura en el alambre de la malla (°C).

x = Energía de impacto (J).

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

C) MALLA DT80X100Ø3.0A2R2

En este tipo de malla se ensayaron 3 muestras (mB, mD y mF), las cuales cumplieron con los requerimientos del inciso 4.5. Luego de realizar las pruebas en cada muestra (según el procedimiento indicado en el inciso 4.6.1), se obtuvieron valores de ruptura o falla de la malla (el detalle de la secuencia de las pruebas se encuentra en el anexo G).

En el cuadro 4.17, se muestra los valores de las pruebas que originaron la ruptura de la malla, con estos datos se calcula las energías de falla y luego se procede a hallar los valores representativos de energía de falla de la malla tipo DT80X100Ø3.0A2R2, según lo indica el inciso 4.7

Cuadro 4.17 Energía de falla, malla DT80X100Ø3.0A2R2

	Muestra	Impactador	m (Kg)	Ø (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	E _f (J)
1	B	R-6	16.75	0.28	1.30	1.02	9.81	167.60
2	B	R-6	16.75	0.28	1.30	1.02	9.81	167.60
3	D	R-6	16.75	0.28	1.10	0.82	9.81	134.74
4	F	R-7	14.75	0.30	1.10	0.80	9.81	115.76
5	F	R-7	14.75	0.30	1.20	0.90	9.81	130.23

Tipo de distribución:

Con las energías de falla del cuadro 4.17, se obtienen los siguientes valores:

$$\begin{array}{lll}
 n = 5 & \bar{X} = 143.19 & S^2 = 546.00 \\
 S = 23.37 & D_{MAX} = 0.164 & D_{K-S} = 0.565
 \end{array}$$

Luego de comparar los valores D_{MAX} y D_{K-S} , vemos que el primero es menor que el segundo, con lo que podemos afirmar que la hipótesis H_0 (ecuación 5.3) es válida, es decir, los valores siguen una distribución normal.

El detalle de los cálculos para obtener el tipo de distribución se encuentran en el anexo D.4.

Valores representativos:

Como el tipo de distribución de datos es normal, los valores representativos que tomaremos será de acuerdo a lo descrito en el inciso 4.7:

$$E_{F84\%} \approx \bar{X} - S = 143.19 - 23.37 = 119.82J$$

$$E_{F98\%} \approx \bar{X} - 2 \times S = 143.19 - 2 \times 23.37 = 96.45J$$

$$E_{F99\%} \approx \bar{X} - 3 \times S = 143.19 - 3 \times 23.37 = 73.08J$$

De estos tres valores, solo consideramos el primer valor ($E_F = 119.82 J$), debido a que los otros dos son inferiores a la menor energía de falla obtenida en los ensayos.

Cuadro 4.18 Energías de impacto y temperaturas; malla DT80X100Ø3.0A2R2, mB

	Impactador	m	Ø	H	h	g	E	T _i	T _F	ΔT
		(kg)	(m)	(m)	(m)	(m/s ²)	(J)	(°C)	(°C)	(°C)
1	EC-C	12.97	0.22	0.30	0.08	9.81	10.18	25.8	27.1	1.3
2	EC-C	12.97	0.22	0.40	0.18	9.81	22.90	25.8	27.9	2.1
3	EC-C	12.97	0.22	0.50	0.28	9.81	35.63	25.8	28.3	2.5
4	EC-C	12.97	0.22	0.60	0.38	9.81	48.35	25.8	28.7	2.9
5	EC-C	12.97	0.22	0.70	0.48	9.81	61.07	25.8	29.5	3.7
6	EC-C	12.97	0.22	0.80	0.58	9.81	73.80	25.8	30.7	4.9
7	EC-C	12.97	0.22	0.90	0.68	9.81	86.52	25.8	31.4	5.6
8	EC-C	12.97	0.22	1.00	0.78	9.81	99.24	25.8	32.3	6.5
9	EC-C	12.97	0.22	1.10	0.88	9.81	111.97	25.8	34.7	8.9
10	EC-C	12.97	0.22	1.20	0.98	9.81	124.69	25.8	35.9	10.1
11	EC-C	12.97	0.22	1.30	1.08	9.81	137.41	25.8	36.1	10.3
12	EC-C	12.97	0.22	1.40	1.18	9.81	150.14	25.8	37.5	11.7
13	EC-C	12.97	0.22	1.50	1.28	9.81	162.86	25.8	38.3	12.5
14	R-7	14.75	0.30	0.50	0.20	9.81	28.94	25.8	28.1	2.3
15	R-7	14.75	0.30	0.60	0.30	9.81	43.41	25.6	29.2	3.6
16	R-7	14.75	0.30	0.70	0.40	9.81	57.88	25.6	30.1	4.5
17	R-7	14.75	0.30	0.80	0.50	9.81	72.35	25.6	31.5	5.9
18	R-7	14.75	0.30	0.90	0.60	9.81	86.82	25.6	33.0	7.4
19	R-7	14.75	0.30	1.00	0.70	9.81	101.29	25.6	35.1	9.5
20	R-7	14.75	0.30	1.10	0.80	9.81	115.76	25.6	36.7	11.1
21	R-7	14.75	0.30	1.20	0.90	9.81	130.23	25.6	37.3	11.7

m = masa del impactador

h = distancia vertical

T_i = temperatura inicial

Ø = diámetro del impactador

g = aceleración de la gravedad

T_F = temperatura final

H = altura de caída referencial

E = energía de impacto

ΔT = variación de la temperatura

Cuadro 4.18 (Continuación)

	Impactador	m (kg)	∅ (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	E (J)	T _i (°C)	T _F (°C)	ΔT (°C)
22	R-7	14.75	0.30	1.30	1.00	9.81	144.70	25.6	37.9	12.3
23	R-7	14.75	0.30	1.40	1.10	9.81	159.17	25.6	38.2	12.6
24	R-7	14.75	0.30	1.50	1.20	9.81	173.64	25.6	39.5	13.9
25	R-6	16.75	0.28	0.50	0.22	9.81	36.15	25.6	28.3	2.7
26	R-6	16.75	0.28	0.60	0.32	9.81	52.58	25.6	29.5	3.9
27	R-6	16.75	0.28	0.70	0.42	9.81	69.01	25.6	30.7	5.1
28	R-6	16.75	0.28	0.80	0.52	9.81	85.45	25.6	31.2	5.6
29	R-6	16.75	0.28	0.90	0.62	9.81	101.88	25.6	32.4	6.8
30	R-6	16.75	0.28	1.00	0.72	9.81	118.31	25.6	33.7	8.1
31	R-6	16.75	0.28	1.10	0.82	9.81	134.74	25.6	34.2	8.6
32	R-6	16.75	0.28	1.20	0.92	9.81	151.17	25.6	35.1	9.5
⁽¹⁾ 33	R-6	16.75	0.28	1.30	1.02	9.81	167.60	25.6	36.6	11.0
34	R-6	16.75	0.28	1.20	0.92	9.81	151.17	25.6	36.4	10.8
35	R-6	16.75	0.28	1.30	1.02	9.81	167.60	25.6	38.7	13.1
36	R-6	16.75	0.28	1.20	0.92	9.81	151.17	25.6	37.9	12.3
37	R-6	16.75	0.28	1.30	1.02	9.81	167.60	25.6	40.2	14.6
38	R-6	16.75	0.28	1.40	1.12	9.81	184.04	25.6	40.8	15.2
39	R-6	16.75	0.28	1.50	1.22	9.81	200.47	25.6	41.5	15.9

m = masa del impactador
h = distancia vertical
T_i = temperatura inicial

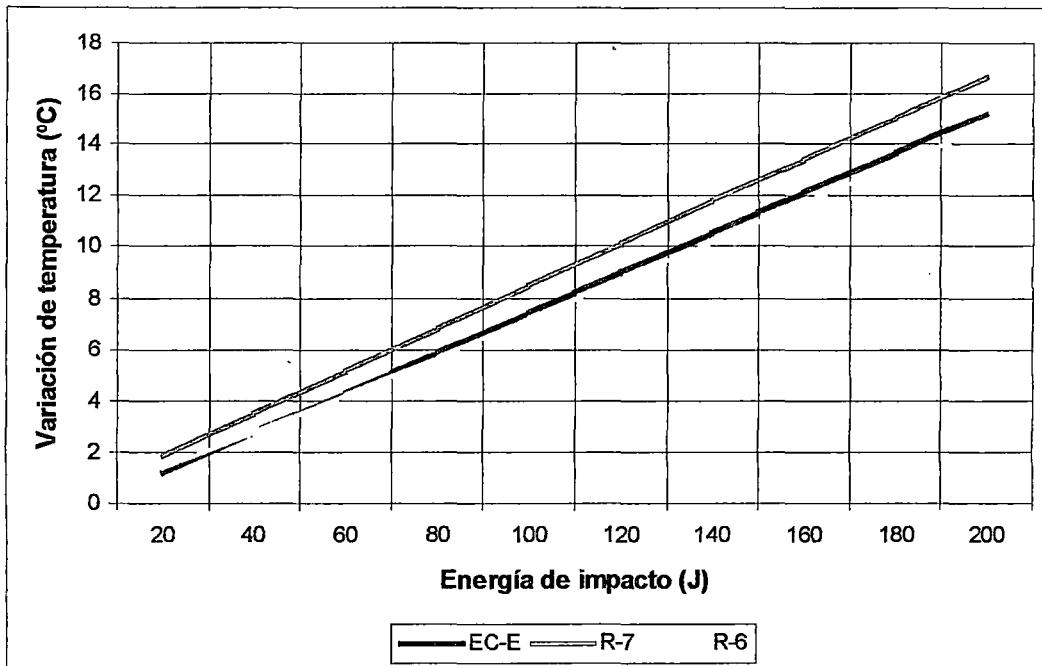
∅ = diámetro del impactador
g = aceleración de la gravedad
T_F = temperatura final

H = altura de caída referencial
E = energía de impacto
ΔT = variación de la temperatura

⁽¹⁾ Los valores que están resaltados, son aquellos que produjeron la ruptura de la malla.

En la muestra B, se midieron los incrementos de las temperaturas en el alambre de la malla a efecto de los impactos, tanto con el impactador EC-E, R-7 y R-6 obteniéndose las siguientes líneas tendencia (el detalle de los cálculos de dichas líneas se encuentra el anexo D.3):

Figura 4.16 Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø3.0A2R2, mB



Las ecuaciones que rigen estas líneas tendencia son:

* Para el impactador EC-E:

$$y = 0.078x - 0.34, \quad r = 0.99.$$

* Para el impactador R-7:

$$y = 0.083x + 0.17, \quad r = 0.99.$$

* Para el impactador R-6:

$$y = 0.062x^{1.033}, \quad r = 0.97$$

Donde:

y = Variación de temperatura en el alambre de la malla (°C).

x = Energía de impacto (J).

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

D) MALLA DT80X100Ø3.8A2R2R4

En este tipo de malla se ensayaron 3 muestras (mB, mD y mF), las cuales cumplieron con los requerimientos del inciso 4.5. Debido a que este tipo de malla posee un recubrimiento adicional de PVC, se procedió a lo indicado en el mismo inciso, es decir, se midió el diámetro total de alambre, posteriormente se retiró el PVC y se midió nuevamente el diámetro del alambre; de estas medidas se obtuvo que el diámetro del alambre sin recubrimiento de PVC es 2.7 mm. y el espesor del PVC (la semi-diferencia de medidas) es 0.55 mm. Luego de realizar las pruebas en cada muestra (según el procedimiento indicado en el inciso 4.6.1), se obtuvieron valores de ruptura o falla de la malla (el detalle de la secuencia de las pruebas se encuentra en el anexo G).

En el cuadro 4.19, se muestra los valores de las pruebas que originaron la ruptura de la malla, con estos datos se calcula las energías de falla y luego se procede a hallar los valores representativos de energía de falla de la malla tipo DT80X100Ø3.8A2R2R4, según lo indica el inciso 4.7

Cuadro 4.19 Energía de falla, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4

	Muestra	Impactador	m (kg)	Ø (m)	H (m)	h (m)	g (m/s ²)	E _F (J)
1	B	EC-F	12.84	0.22	1.40	1.18	9.81	148.63
2	B	EC-F	12.84	0.22	1.40	1.18	9.81	148.63
3	D	EC-F	12.75	0.22	1.30	1.08	9.81	135.08
4	F	EC-F	12.75	0.22	1.00	0.78	9.81	97.56
5	F	EC-F	12.75	0.22	0.90	0.68	9.81	85.05
6	F	EC-F	12.75	0.22	0.80	0.58	9.81	72.54
7	F	EC-F	12.75	0.22	0.80	0.58	9.81	72.54
8	F	EC-F	12.75	0.22	0.70	0.48	9.81	60.04

Tipo de distribución:

Con las energías de falla del cuadro 4.19, se obtienen los siguientes valores:

$$\begin{array}{lll} n = 8 & \bar{X} = 102.51 & S^2 = 1320.68 \\ S = 36.34 & D_{MAX} = 0.247 & D_{K-S} = 0.457 \end{array}$$

Luego de comparar los valores D_{MAX} y D_{K-S} , vemos que el primero es menor que el segundo, con lo que podemos afirmar que la hipótesis H_0 (ecuación 4.12) es válida, es decir, los valores siguen una distribución normal.

El detalle de los cálculos para obtener el tipo de distribución se encuentran en el anexo D.4.

Valores representativos:

Como el tipo de distribución de datos es normal, los valores representativos que tomaremos será de acuerdo a lo descrito en el inciso 4.7:

$$E_{F84\%} \approx \bar{X} - S = 102.51 - 36.34 = 66.17J$$

$$E_{F98\%} \approx \bar{X} - 2 \times S = 102.51 - 2 \times 36.34 = 29.83J$$

$$E_{F99\%} \approx \bar{X} - 3 \times S = 102.51 - 3 \times 36.34 = -6.51J$$

De estos tres valores, solo consideramos el primer valor ($E_F = 66.17$ J), debido a que los otros dos son inferiores a la menor energía de falla obtenida en los ensayos.

Cuadro 4.20 Energías de impacto y temperaturas; malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mB

	Impactador	m	Ø	H	h	g	E	T _i	T _f	ΔT
		(kg)	(m)	(m)	(m)	(m/s ²)	(J)	(°C)	(°C)	(°C)
1	EC-F	12.84	0.22	0.30	0.08	9.81	10.08	26.9	32.4	5.5
2	EC-F	12.84	0.22	0.40	0.18	9.81	22.67	26.9	32.9	6.0
3	EC-F	12.84	0.22	0.50	0.28	9.81	35.27	26.9	33.3	6.4
4	EC-F	12.84	0.22	0.60	0.38	9.81	47.86	26.9	33.8	6.9
5	EC-F	12.84	0.22	0.70	0.48	9.81	60.46	26.9	34.1	7.2
6	EC-F	12.84	0.22	0.80	0.58	9.81	73.06	26.9	35.7	8.8
7	EC-F	12.84	0.22	0.90	0.68	9.81	85.65	26.9	35.9	9.0
8	EC-F	12.84	0.22	1.00	0.78	9.81	98.25	26.9	36.2	9.3
9	EC-F	12.84	0.22	1.10	0.88	9.81	110.85	26.9	36.5	9.6
10	EC-F	12.84	0.22	1.20	0.98	9.81	123.44	26.9	36.8	9.9
11	EC-F	12.84	0.22	1.30	1.08	9.81	136.04	26.9	37.2	10.3
⁽¹⁾ 12	EC-F	12.84	0.22	1.40	1.18	9.81	148.63	26.9	37.6	10.7
13	EC-F	12.84	0.22	1.30	1.08	9.81	136.04	26.9	37.9	11.0
14	EC-F	12.84	0.30	1.40	1.10	9.81	138.56	26.9	38.0	11.1
15	EC-F	12.84	0.30	1.30	1.00	9.81	125.96	26.9	38.2	11.3
16	EC-F	12.84	0.30	1.40	1.10	9.81	138.56	26.9	38.8	11.9
17	EC-F	12.84	0.30	1.50	1.20	9.81	151.15	26.9	39.5	12.6

m = masa del impactador

h = distancia vertical

T_i = temperatura inicial

Ø = diámetro del impactador

g = aceleración de la gravedad

T_f = temperatura final

H = altura de caída referencial

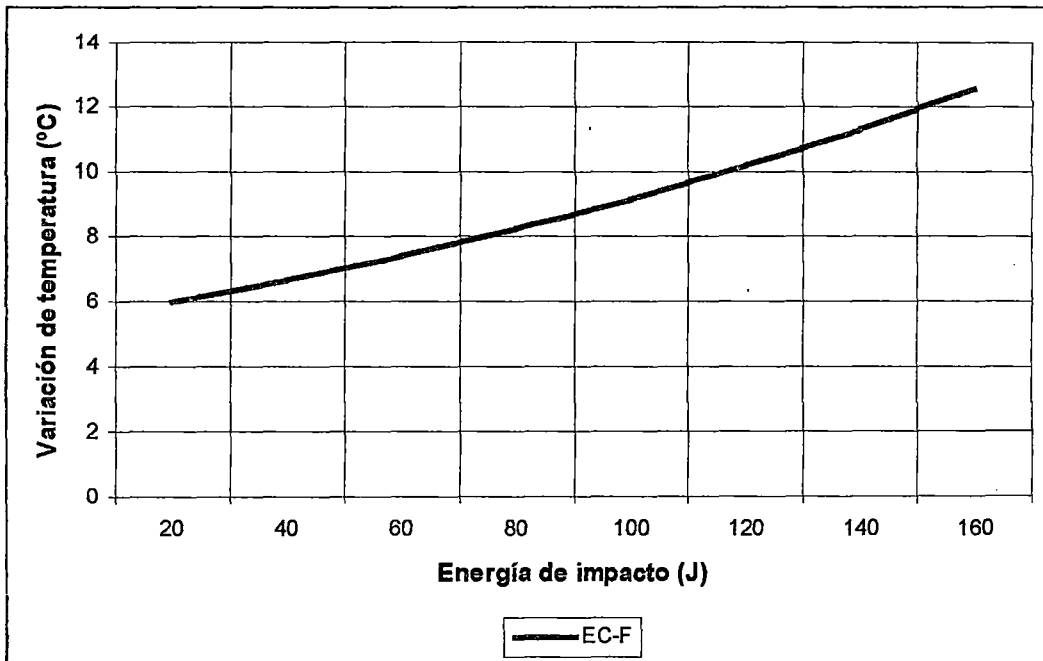
E = energía de impacto

ΔT = variación de la temperatura

⁽¹⁾ Los valores que están resaltados en negrita, son aquellos que produjeron la ruptura de la malla.

En la muestra B, se midieron los incrementos de las temperaturas en el alambre de la malla a efecto de los impactos, con el impactador EC-F, obteniéndose la siguiente línea tendencia (el detalle de los cálculos de dicha línea se encuentra el anexo D.3):

Figura 4.17 Energía vs. temperatura, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4, mB



La ecuación que rige esta línea tendencia es:

$$y = 5.395 \times e^{0.0053X}, \quad r = 0.97.$$

Donde:

y = Variación de temperatura en el alambre de la malla (°C).

x = Energía de impacto (J).

r = Coeficiente de correlación de Pearson.

Conclusiones

1. Las zonas 1 y 2 de la malla del gavión fueron sometidas a iguales cargas de impacto (carga máxima aproximadamente 170 J.), lográndose la ruptura de la malla solo en la zona 2. Esto indica que la zona 2 de la malla es más vulnerable que la zona 1. Esto se debe a que el alambre en la zona 2 es más frágil, debido a que el material está siendo forzado (la doble torsión).
2. Como se puede apreciar en la figura A, la resistencia representativa de la malla del gavión al aplastamiento por impacto, en la zona 2 de la malla, aumenta a medida que se incrementa el diámetro del alambre (solo se considera el acero A2 más el recubrimiento R2). Este incremento es notorio en la malla de 3.0 mm, con respecto a la malla 2.4 mm.

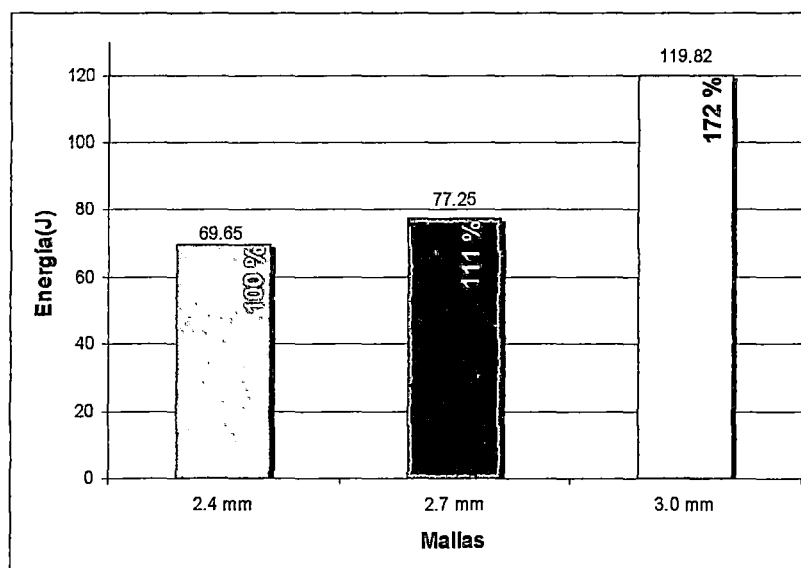


Figura A. Energías de falla representativas ($E_{F84\%}$), zona 2

3. En el caso de la malla de diámetro 3.8 mm. (alambre de diámetro 2.7 mm. con acero A2 y primer recubrimiento R2 más un recubrimiento adicional de PVC de 0.55 mm. de espesor) su resistencia representativa al aplastamiento por impacto es menor a las resistencias de las mallas de

2.4, 2.7 y 3.0 mm. Esto se debe a la presencia de valores de energías de falla muy altos y muy bajos, lo cual genera una gran desviación estándar, valor que afecta a la energía de falla representativa. Pero si comparamos las energías de falla promedio de las mallas de 2.7. y 3.80 mm., sus valores son muy similares entre si (menos del 1 % de diferencia). En general se puede decir que el PVC no aumenta la resistencia de la malla (zona 2) al aplastamiento por impacto.

4. En los ensayos en zona 1, se pudo apreciar que el diámetro del alambre disminuye (se aplana) al incrementarse las cargas de impacto, no lográndose la ruptura del alambre. Asimismo, tanto en zona 1 como en zona 2, los impactadores de roca causaban deformaciones de manera uniforme, mientras que con los impactadores de concreto estas deformaciones eran irregulares. Esto se debe a que la superficie de las rocas (cantos rodados) se mantenían pulidas durante todas las pruebas, mientras que los impactadores de concreto, esta superficie comenzaba a presentar rugosidades después de una serie de pruebas.
5. Tanto en los ensayos en zona 1 como en zona 2, existieron pruebas con energías de impacto menores a las de falla, que si bien no lograron la falla de las mallas, la debilitaron de forma tal, que al menor contacto, hubo ruptura de las mismas. Esto nos indica que si estas zonas, fueran sometidas a sollicitaciones adicionales al impacto (por ejemplo: la tensión) podrían fallar.
6. En lo referente a la relación, energía de impacto versus temperatura o versus deformación, los ensayos con impactadores de concreto dieron un alto grado de asociación entre variables (mayor valor del número de correlación de Pearson) en comparación a los impactadores de roca. Esto se debe a que las magnitudes de impacto de los impactadores de concreto son más precisas por el hecho de ser esferas (forma regular); mientras que los impactadores de roca, al presentar irregularidades en su forma, los hace imprecisos a la hora de cuantificar sus magnitudes de impacto.

Recomendaciones

1. Si se desea utilizar los valores de resistencia obtenidos en esta tesis como herramienta para el diseño de estructuras resistentes al impacto de sólidos, debe tomarse en consideración las condiciones en que se realizó los ensayos. Asimismo, estas resistencias son válidas solamente para las mallas utilizadas; si existiera alguna modificación en la manufactura de las mallas, por ejemplo: el tejido o abertura de la malla, el acero, el(los) recubrimiento(s) o el diámetro del alambre; los valores de resistencia obtenidos en los ensayos pierden su validez.
2. Si las mallas del gavión, que van recibir el impacto de sólidos, son usadas en estructuras hidráulicas, deben tener una protección adicional de PVC (recubrimiento R4) si desea usar las resistencias obtenidas en la presente tesis como valores de diseño. El PVC protege al alambre de la malla contra la corrosión y la abrasión, agentes que alteran la composición físico-química del alambre de las mallas.
3. Se recomienda utilizar las resistencias cuyo valor equivale a la media aritmética de los datos generados en las pruebas menos la desviación estándar de los mismos ($\bar{X} - S$). Los datos obtenidos siguen una distribución normal, con lo cual al utilizar esta condición, se tiene la seguridad de que el valor de resistencia no es superado solo por el 14% del total de valores. Es un valor más confiable que la media aritmética y está contenido dentro del rango de valores obtenidos.
4. Teniendo presente que las magnitudes de impacto dependen, en gran parte de la masa y la velocidad del sólido que genera el impacto, se puede utilizar las curvas "velocidad vs. masa" del anexo E para la elección de la malla que pueda soportar dicho impacto. Para la utilización de estas gráficas se necesita conocer la masa y la velocidad del impactador y plotear estos datos. Para que la malla soporte dicho

impacto, el cruce de estos valores debe encontrarse debajo de la curva límite. Estas curvas se basan en la ecuación de la energía cinética de un sólido.

5. Para una mayor certeza en los resultados de ensayos posteriores y su mayor semejanza con los impactos que se desarrollan en los ríos, se recomienda lo siguiente:
 - Utilizar un equipo de impacto pendular, con lo cual se obtendría una mayor precisión en el punto de impacto.
 - Utilizar impactadores de roca tallada y pulida en forma esférica, con lo cual el impactador se asemeja (en su composición y su comportamiento) a los cantos rodados que impactan a las mallas. La forma esférica del impactador transmite la misma energía de impacto en cualquier punto del impactador.

6. Se recomienda seguir evaluando mas mallas del gavión, adicionando nuevas condiciones como:
 - Utilizar nuevas variedades de malla, variando su confección, abertura, tipos de acero, recubrimientos, diámetros, etc.
 - Cambiar el impactador por una roca angulosa, la cual se asemeja a los sólidos que impactan en la caída de rocas en taludes o en el material acarreado por los ríos en las parte altas de las cuencas.
 - Someter a la malla del gavión a efectos combinados como por ejemplo: impacto-tensión, en el cual la malla se encuentra tensionada al momento del impacto.
 - Utilizar mallas alteradas por agentes físico-químicos, como lo son la abrasión y la corrosión.
 - Si desea proteger con un material a la malla del gavión contra los impactos, este material debe ser evaluado con el mismo criterio que las mallas ensayadas.

7. Finalmente, a medida que se conozca mas sobre el comportamiento de la malla del gavión frente al impacto de sólidos, podemos pasar al siguiente paso, es decir, analizar al gavión en su conjunto (malla-relleno).

Bibliografía

1. AGUIRRE, Julián. Hidráulica de los sedimentos. Mérida, Venezuela, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, 1978.
2. AMERICAN Society for Testing and Materials (E.E.U.U). Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products. ASTM A 370 – 97a. 1997. 53 p.
3. AMERICAN Society for Testing and Materials (E.E.U.U). Standard specification for welded wire fabric gabions and gabion mattresses (metallic-coated or polyvinyl chloride (PVC) coated). ASTM A 974-97. 1997. 7 p.
4. AMERICAN Society for Testing and Materials (E.E.U.U). Standard specification for double-twisted hexagonal mesh gabions and revet mattresses (metallic-coated steel wire or metallic-coated steel wire with polyvinyl chloride) (PVC) coating). ASTM A 975-97. 1997. 7 p.
5. ARANCIBIA Alfaro, Nilo Javier. Defensas ribereñas con gaviones (Río Tarma). Trabajo monográfico. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, 2001.
6. BOGÁRDI, Janos. Sediment transport in alluvial streams. Budapest, Akadémiai Kiado, 1974.
7. CAJAHUARINGA Vidalón, Jorge. Evaluación integral de defensa ribereñas ejecutadas por el INDECI en el periodo 1992-2000. Informe de suficiencia. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2005.
8. CIDELSA. Gaviones para aplicaciones para carreteras [CD ROM]. 2003.

9. COMISIÓN Federal de Electricidad. Manual de diseños de obras civiles, hidrotecnia. México.
10. CORONADO Del Águila, Francisco. La iniciación del movimiento de los sedimentos (VI Seminario Latinoamericano de Irrigación y Drenaje, 1971). 14 p.
11. DE ALMEIDA Barros, Pérsio Leister. Obras de contención. Manual técnico [en línea]. Disponible en: <<http://www.maccaferri.com.br/downloadDe.php?idioma=0&download=81>>.
12. DIAZ Bustos., Pedro. Tablas estadísticas. 69 p.
13. ESCUELA de Telecomunicaciones – Ejército de Chile. Guía para la redacción de citas bibliográficas [en línea]. Disponible en: <www.esctel.cl/MaterialInvestigacion/GUIA%20DE%20CITAS%20BIBLIOGRAFICAS.doc>.
14. FARRADAY V, R. y CHARLTON G, F. Hydraulic factors in bridge design. Londres, Hydraulic Research Station Limited, 1983, 102 p.
15. FEDERAL Highway Administration. Debris control structures. Evaluation and countermeasures (HEC-9). Third Edition. [en línea]. Disponible en: <http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/library_arc.cfm?pub_number=9&id=23>.
16. FUENTES Ramirez, Ivan Javier. Pruebas de bondad de ajuste. [en línea]. Disponible en: <http://foros.emagister.com/tema-prueba_de_kolmogorov_smirnov-12873-281041.htm>.
17. GEOSTRU Software. Georock (caída de rocas). [en línea]. Disponible en: <<http://www.geostru.com/Espanol/Software/Georock.htm>>.
18. GEO&SOFT. Rotomap. Rockfall analysis. [en línea]. Disponible en: <http://www.rock-mechanics software. com/ rockmechanics _rock _ fall_ analysis.htm>.

19. INSTITUTO de Corrosión y Protección. Informe técnico ICP-INF-200-.9.9. Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1999, 141 p.
20. JUNTA del Acuerdo de Cartagena, PADT-REFORT. Manual de diseño para maderas del grupo andino. Lima, Princliness e.i.r.l, 2000.
21. MACCAFERRI. Revestimiento de canales y cursos de agua [en línea]. Disponible en: <<http://www.maccaferri.com.br/downloadDe.php?idioma=2&download=13>>.
22. MANEUVREIR, Georges: Tratado elemental de física. Paris, librería de la Vda. de C. Bouret, 1919, 983 p.
23. MENDOZA Dueñas, Jorge. Física. 547 p.
24. MITACC Meza, Máximo. Tópicos de estadística descriptiva y probabilidad. Lima, Editorial Thales S.R. Ltda., 1996, 527 p.
25. NORMA Brasileira Registrada (Brazil). Alambre de acero de bajo contenido de carbono, cincado, para gaviones. NBR 8964. 1985. 5 p.
26. NORMA Brasileira Registrada (Brazil). Redes de acero en malla hexagonal de doble torsión, para la confección de gaviones. NBR 10514. 1988. 6 p.
27. NORMAS Mexicanas (México). Industria siderúrgica – Gaviones y colchones para revestimiento hechos con malla hexagonal torcida, de alambre de acero con recubrimiento metálico o alambre de acero con recubrimiento metálico y revestido de PVC (cloruro de polivinilo) – Especificaciones. NMX-B-S/N-SCFI-1999. 1999. 18 p.
28. NORMA Técnica Peruana (Perú). Baldosas de vinil asbesto, método de ensayo para determinar la resistencia al impacto. NTP 339.015. 1974, 2p.
29. NORMA Técnica Peruana (Perú). Revestimientos cerámicos, método de ensayo para determinar su resistencia al impacto. NTP 333.012. 1984, 4 p.

30. PAULET Rodríguez, Daniel Jorge. Defensas ribereñas con gaviones en el norte del Perú. Informe de ingeniería. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2001.
31. PINEDO Nolorbe, R. Uso de gaviones en el diseño de bocatomas. Caso bocatoma Yuracyacu-Nueva Cajamarca, San Martín. Tesis (Título Profesional). Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, 2001.
32. PRODAC. Gavión (catálogo) [en línea]. Disponible en: <http://www.prodac.com.pe/downloads/Catalogo_Gaviones.pdf>.
33. QUISPE Alanya, Juan. Diseños de defensas ribereñas para la central Chimay - Río Tulumayo. Informe de suficiencia. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2005.
34. ROCHA Felices, Arturo. Introducción a la hidráulica fluvial. Lima, W H Editores, 1998, 270 p.
35. ROCHA Felices, Arturo. Transporte de sedimentos. Lima, Perú, 1969.
36. SUAREZ Díaz , Jaime. Control de erosión en zonas tropicales. [en línea]. Disponible en: <<http://albatros.uis.edu.co/~pagina/profesores/planta/jsuarez/publicaciones/libroerosion/index.html>>.
37. TE Chow, Ven. Hidráulica de canales abiertos. Santafé de Bogotá, McGraw-Hill, 1994, 345 p.
38. THE Highways Agency. The design of highway bridges for hydraulic action [en línea]. Disponible en: <www.archive2.official-documents.co.uk/document/deps/ha/dmrb/vol1/sect3/ba5994.pdf>.
39. TORRES Herrera, Francisco José. Solución bio-técnica para la protección del talud en el embarcadero fluvial de Contamina. Informe de suficiencia. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2004.
40. UNIVERSIDAD Nacional de Ingeniería. Manual de laboratorio de física. 1998, 164 p.

ANEXOS

ANEXO A

CARACTERÍSTICAS DEL PISO EMPEDRADO ⁽¹⁾

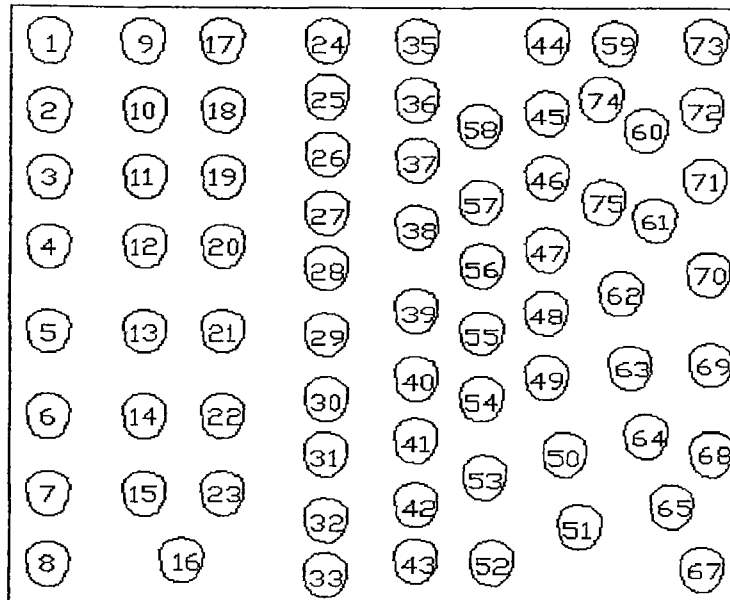


Figura A.1 Distribución de rocas en piso empedrado

Cuadro A.1 Clasificación de la rocas

Nº	Roca	Nº	Roca	Nº	Roca	Nº	Roca
1	R.I, Granito	21	R.I, Andesita	42	R.I, Diorita	62	R.I, Diorita
2	R.I, Diorita	22	- ⁽²⁾	43	R.I, Tonalita	63	R.I, Andesita
3	R.I, Granito	23	R.I, Traquita	44	R.I, Andesita	64	R.I, Monzonita
4	R.I, Diorita	24	R.I, Andesita	45	R.I, Andesita	65	R.I, Tonalita
5	R.I, Tonalita	25	R.I, Andesita	46	R.I, Andesita	66	R.I, Diorita
6	R.I, Andesita	26	R.I, Traquita	47	R.I, Traquita	67	R.I, Andesita
7	R.I, Traquita	27	R.I, Andesita	48	R.I, Traquita	68	R.I, Diorita
8	R.I, Tonalita	28	R.I, Granodiorita	49	- ⁽²⁾	69	R.I, Tonalita
9	R.I, Granodiorita	29	R.I, Tonalita	50	R.I, Diorita	70	R.I, Andesita
10	R.I, Tonalita	30	R.I, Traquita	51	R.I, Andesita	71	R.I, Andesita
11	R.I, Granito	31	- ⁽²⁾	52	- ⁽²⁾	72	R.I, Andesita
12	R.I, Tonalita	32	R.I, Tonalita	53	R.I, Tonalita	73	R.I, Diorita
13	R.I, Andesita	33	R.I, Tonalita	54	R.I, Andesita	74	R.I, Andesita
14	R.I, Tonalita	35	R.I, Diorita	55	R.I, Andesita	75	R.I, Andesita
15	R.I, Andesita	36	R.I, Andesita	56	R.I, Traquita		
16	R.I, Tonalita	37	R.I, Andesita	57	R.I, Andesita		
17	R.I, Tonalita	38	R.I, Granito	58	R.I, Tonalita		
18	R.I, Traquita	39	R.I, Tonalita	59	R.I, Andesita		
19	R.I, Andesita	40	R.I, Andesita	60	R.I, Andesita		
20	R.I, Tonalita	41	R.I, Diorita	61	R.I, Tonalita		

⁽¹⁾ La identificación de cada roca fue de manera visual.

⁽²⁾ Los espacios señalados con " - ", indican que no se pudo determinar, de forma visual, el tipo de roca.

ANEXO B

DETALLE DEL SOPORTE METÁLICO

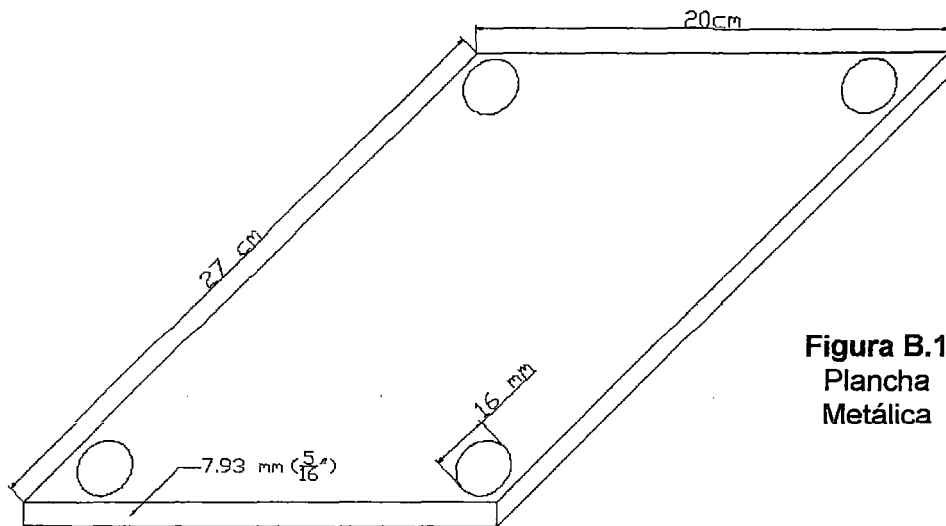


Figura B.1
Plancha
Metálica

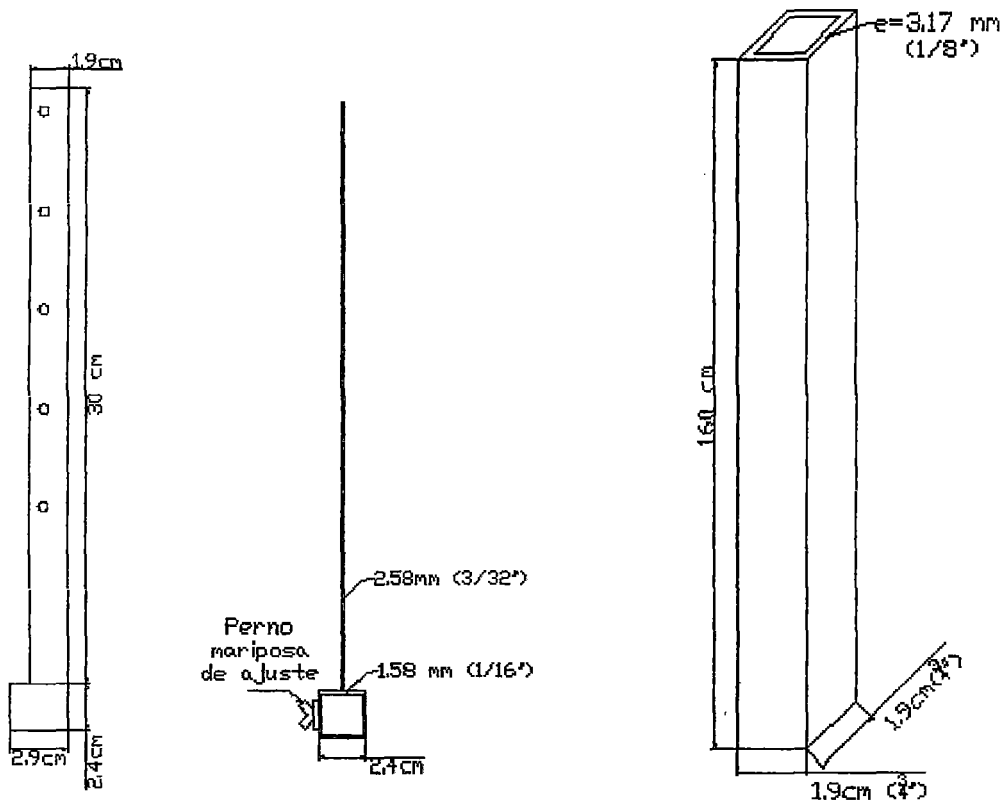


Figura B.2 Perfil con perforaciones

Figura B.3 Parante tubular

ANEXO C

PROBABILIDADES DE IMPACTO EN LA MALLA DEL GAVIÓN

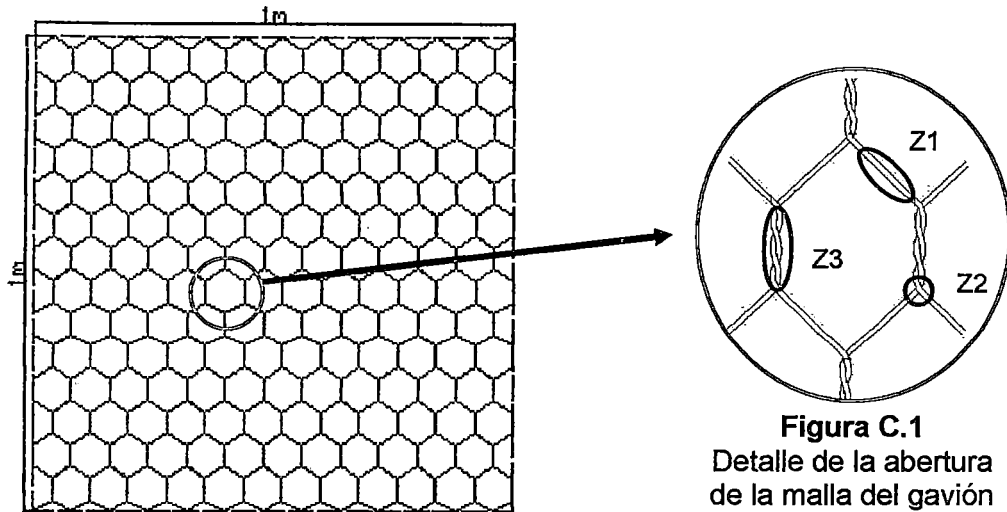


Figura C.1
Detalle de la abertura
de la malla del gavión

Para analizar el modelo de probabilidad de impacto en determinada zona de la malla del gavión, debemos asumir ciertas condiciones:

1. Este modelo proviene de un experimento aleatorio o no determinístico.
2. Las zonas de impacto en la malla están identificadas (Z1, Z2, Z3 y Z4), siendo la Z4, la abertura de la malla.
3. Los impactos no abarcan más de una sola zona a la vez.

El número de puntos de cada zona (Z1, Z2, Z3 y Z4) del tejido de la malla de gavión, con abertura de de la malla de 80x100 mm., por metro cuadrado es la siguiente:

$$Z1 = 288 \quad Z2 = 144 \quad Z3 = 72 \quad Z4 = 144$$

El espacio muestral (Ω) esta comprendido con el conjunto de los valores de Z1, Z2, Z3 y Z4; y "A" es un evento que contiene un cierto número de eventos simples de Ω . La probabilidad de que de ocurra un evento (impacto) en un metro cuadrado de malla de gavión es:

$$P(A) = \frac{R}{N} \dots\dots\dots (C.1)$$

Donde:

R = Número de elementos de A

N = Número de elementos de Ω

En nuestro caso, R es igual a uno (un solo impacto en una zona determinada) y N es igual a la suma de todas las zonas posibles ($Z1+Z2+Z3+Z4$), que en este caso es 648. Entonces la probabilidad de que ocurra un impacto en una determinada zona de la malla es: $P(A) = \frac{1}{648} = 0.00154$, lo que en porcentaje sería un 0.154 % de probabilidad .

Ahora, si deseamos estimar la probabilidad de que el impacto ocurra en una misma zona una, dos, tres,n veces; la probabilidad será:

$$P(A)_n = \left(\frac{R}{N}\right)^n \dots\dots\dots(C.2)$$

Donde:

n = Número de impactos en una misma zona.

ANEXO D

NOTAS DE CÁLCULO

D.1 ECUACIONES Y FÓRMULAS UTILIZADAS

Media aritmética de "X" e "Y" $\bar{X} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{Y} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n y_i$

Varianza de "X" e "Y" $S_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}$, $S_Y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}$

Desviación estándar o típica de "X" e "Y"

$$S_X = \sqrt{S_X^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad S_Y = \sqrt{S_Y^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}$$

Covarianza de "X-Y" $S_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}) \times (y_i - \bar{Y})}{n-1}$

Coefficiente de correlación de Pearson: $r = \frac{S_{XY}}{S_X \times S_Y}$

Solución para la ecuación: $y = a_0 + a_1 x$

$$\sum_{i=1}^n y_i = a_0 \times n + a_1 \times \sum_{i=1}^n x_i, \quad \sum_{i=1}^n x_i y_i = a_0 \times \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \times \sum_{i=1}^n x_i^2$$

Solución para la ecuación: $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$

$$\sum_{i=1}^n y_i = a_0 \times n + a_1 \times \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \times \sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = a_0 \times \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \times \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \times \sum_{i=1}^n x_i^3$$

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 y_i = a_0 \times \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \times \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \times \sum_{i=1}^n x_i^4$$

Probabilidad de Weibull de: $P_w = \frac{m}{n+1}$

Distribución normal: $z = \frac{x - \bar{X}}{S}$ $F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

Prueba de ajuste Kolmogorov – Smirnov (K-S): $D_{MAX} = \text{Máx}|F(x) - F(z)|$

D.2 CÁLCULOS PARA OBTENER LAS LÍNEAS TENDENCIA Y COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON EN LOS ENSAYOS - ZONA 1

E vs. ΔT = Energía de impacto versus variación de la temperatura del alambre de la malla del gavión.

E vs. $\Delta \phi$ = Energía de impacto versus variación del diámetro del alambre de la malla del gavión.

Cuadro D.1 E vs. ΔT , malla DT80x100 ϕ 2.4A2R2, mA, EC-A

$$y = a_0 + a_1 \ln(x), \quad x' = \ln(x)$$

	x	x'	y	x'y	x' ²	y ²	x - \bar{X}	8=7*7	y - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	3	4	5	6	7		9		
1	9.38	2.24	2.30	5.15	5.01	5.29	-70.34	4947.39	-6.70	44.89	471.26
2	21.10	3.05	3.40	10.37	9.30	11.56	-58.61	3435.69	-5.60	31.36	328.24
3	32.82	3.49	6.60	23.04	12.19	43.56	-46.89	2198.84	-2.40	5.76	112.54
4	44.55	3.80	8.50	32.27	14.41	72.25	-35.17	1236.85	-0.50	0.25	17.58
5	56.27	4.03	8.40	33.85	16.24	70.56	-23.45	549.71	-0.60	0.36	14.07
6	67.99	4.22	8.80	37.13	17.80	77.44	-11.72	137.43	-0.20	0.04	2.34
7	79.72	4.38	9.60	42.03	19.17	92.16	0.00	0.00	0.60	0.36	0.00
8	91.44	4.52	10.20	46.06	20.39	104.04	11.72	137.43	1.20	1.44	14.07
9	103.16	4.64	11.70	54.24	21.50	136.89	23.45	549.71	2.70	7.29	63.30
10	114.88	4.74	11.80	55.98	22.50	139.24	35.17	1236.85	2.80	7.84	98.47
11	126.61	4.84	11.80	57.12	23.44	139.24	46.89	2198.84	2.80	7.84	131.30
12	138.33	4.93	11.90	58.66	24.30	141.61	58.61	3435.69	2.90	8.41	169.98
13	150.05	5.01	12.00	60.13	25.11	144.00	70.34	4947.39	3.00	9.00	211.01
Σ	1036.31	53.9	117.00	516.05	231.37	1177.84	0.00	25011.82	0.00	124.84	1634.18

n	\bar{X}	\bar{Y}	a_0	a_1	S_x^2	S_y^2	S_x	S_y	S_{xy}	r
13	79.72	9.00	-7.03	3.87	2084.32	10.40	45.65	3.23	136.18	0.92

Cuadro D.2 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø2.4A2R2, mA, R-7

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

x	y	xy	x^2	x^2y	x^3	x^4	$x - \bar{X}$	$9=8^*8$	$y - \bar{Y}$	$11=10^*10$	$12=10^*8$	
1	2	3	4	5	6	7	8		10			
1	28.94	6.0	173.64	8.4E+02	5.0E+03	2.4E+04	7.0E+05	-72.35	5234.34	-3.93	15.42	284.13
2	43.41	8.0	347.27	1.9E+03	1.5E+04	8.2E+04	3.6E+06	-57.88	3349.98	-1.93	3.71	111.55
3	57.88	8.4	486.18	3.3E+03	2.8E+04	1.9E+05	1.1E+07	-43.41	1884.36	-1.53	2.33	66.30
4	72.35	6.6	477.50	5.2E+03	3.5E+04	3.8E+05	2.7E+07	-28.94	837.49	-3.33	11.07	96.29
5	86.82	9.3	807.41	7.5E+03	7.0E+04	6.5E+05	5.7E+07	-14.47	209.37	-0.63	0.39	9.08
6	101.29	11.6	1174.94	1.0E+04	1.2E+05	1.0E+06	1.1E+08	0.00	0.00	1.67	2.80	0.00
7	115.76	11.7	1354.37	1.3E+04	1.6E+05	1.6E+06	1.8E+08	14.47	209.37	1.77	3.14	25.65
8	130.23	11.8	1536.69	1.7E+04	2.0E+05	2.2E+06	2.9E+08	28.94	837.49	1.87	3.51	54.20
9	144.70	11.8	1707.43	2.1E+04	2.5E+05	3.0E+06	4.4E+08	43.41	1884.36	1.87	3.51	81.29
10	159.17	12.0	1910.01	2.5E+04	3.0E+05	4.0E+06	6.4E+08	57.88	3349.98	2.07	4.30	119.97
11	173.64	12.0	2083.64	3.0E+04	3.6E+05	5.2E+06	9.1E+08	72.35	5234.34	2.07	4.30	149.96
Σ	1114.17	109.2	12059.09	1.4E+05	1.5E+06	1.8E+07	2.7E+09	0.00	23031.10	0.00	54.48	998.41

n	\bar{X}	\bar{Y}	a_0	a_1	a_2	S_X^2	S_Y^2	S_X	S_Y	S_{XY}	r
11	101.29	9.93	3.464	0.095	-0.0003	2303.11	5.45	47.99	2.33	99.84	0.89

Cuadro D.3 E vs. $\Delta \theta$, malla DT80x100Ø2.4A2R2, mA, EC-A

$$y = a_0 + a_1 \ln(x), \quad x' = \ln(x)$$

x	x'	y	$x'y$	x'^2	y^2	$x - \bar{X}$	$8=7^*7$	$y - \bar{Y}$	$10=9^*9$	$11=9^*7$	
1	2	3	4	5	6	7		9			
1	9.38	2.24	0.30	0.67	5.01	0.09	-70.34	4947.39	-0.76	0.57	53.29
2	21.10	3.05	0.50	1.52	9.30	0.25	-58.61	3435.69	-0.56	0.31	32.69
3	32.82	3.49	0.80	2.79	12.19	0.64	-46.89	2198.84	-0.26	0.07	12.08
4	44.55	3.80	0.90	3.42	14.41	0.81	-35.17	1236.85	-0.16	0.02	5.55
5	56.27	4.03	1.05	4.23	16.24	1.10	-23.45	549.71	-0.01	0.00	0.18
6	67.99	4.22	1.15	4.85	17.80	1.32	-11.72	137.43	0.09	0.01	-1.08
7	79.72	4.38	1.10	4.82	19.17	1.21	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
8	91.44	4.52	1.25	5.64	20.39	1.56	11.72	137.43	0.19	0.04	2.25
9	103.16	4.64	1.30	6.03	21.50	1.69	23.45	549.71	0.24	0.06	5.68
10	114.88	4.74	1.35	6.40	22.50	1.82	35.17	1236.85	0.29	0.09	10.28
11	126.61	4.84	1.35	6.54	23.44	1.82	46.89	2198.84	0.29	0.09	13.71
12	138.33	4.93	1.35	6.66	24.30	1.82	58.61	3435.69	0.29	0.09	17.13
13	150.05	5.01	1.35	6.76	25.11	1.82	70.34	4947.39	0.29	0.09	20.56
Σ	1036.31	53.9	13.75	60.34	231.37	15.97	0.00	25011.82	0.00	1.42	172.33

n	\bar{X}	\bar{Y}	a_0	a_1	S_X^2	S_Y^2	S_X	S_Y	S_{XY}	r
13	79.72	1.06	-0.67	0.42	2084.32	0.12	45.65	0.34	14.36	0.91

Cuadro D.4 E vs. $\Delta\theta$, malla DT80x100Ø2.4A2R2, mA, R-7

$$y = a_0 + a_1 \ln(x), \quad x' = \ln(x)$$

	x	x'	y	x'y	x' ²	y ²	x - \bar{X}	8=7*7	y - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	3	4	5	6	7		9		
1	28.94	3.37	0.80	2.69	11.32	0.64	-72.35	5234.34	-0.33	0.11	23.68
2	43.41	3.77	0.70	2.64	14.22	0.49	-57.88	3349.98	-0.43	0.18	24.73
3	57.88	4.06	0.65	2.64	16.47	0.42	-43.41	1884.36	-0.48	0.23	20.72
4	72.35	4.28	1.25	5.35	18.33	1.56	-28.94	837.49	0.12	0.02	-3.55
5	86.82	4.46	1.25	5.58	19.93	1.56	-14.47	209.37	0.12	0.02	-1.78
6	101.29	4.62	1.25	5.77	21.33	1.56	0.00	0.00	0.12	0.02	0.00
7	115.76	4.75	1.25	5.94	22.58	1.56	14.47	209.37	0.12	0.02	1.78
8	130.23	4.87	1.25	6.09	23.71	1.56	28.94	837.49	0.12	0.02	3.55
9	144.70	4.97	1.30	6.47	24.75	1.69	43.41	1884.36	0.17	0.03	7.50
10	159.17	5.07	1.35	6.84	25.70	1.82	57.88	3349.98	0.22	0.05	12.89
11	173.64	5.16	1.35	6.96	26.59	1.82	72.35	5234.34	0.22	0.05	16.11
Σ	1114.17	49.4	12.40	56.97	224.93	14.70	0.00	23031.10	0.00	0.72	105.63

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
11	101.29	1.13	-0.68	0.40	2303.11	0.07	47.99	0.27	10.56	0.82

Cuadro D.5 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø2.7A2R2, mA, EC-C

$$y = a_0 e^{a_1 x} \quad \ln(y) = \ln(a_0) + a_1 x \quad y' = \ln(y) \quad a'_0 = \ln(a_0)$$

	x	y	y'	xy'	x ²	y' ²	x - \bar{X}	8=7*7	y' - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	3	4	5	6	7		9		
1	9.60	3.80	1.34	12.81	92.12	1.78	-71.99	5181.95	-3.42	11.66	245.86
2	21.60	4.10	1.41	30.47	466.38	1.99	-59.99	3598.58	-3.12	9.71	186.89
3	33.59	4.80	1.57	52.70	1128.51	2.46	-47.99	2303.09	-2.42	5.83	115.92
4	45.59	5.50	1.70	77.72	2078.54	2.91	-35.99	1295.49	-1.72	2.94	61.74
5	57.59	5.90	1.77	102.22	3316.45	3.15	-24.00	575.77	-1.32	1.73	31.56
6	69.59	6.40	1.86	129.17	4842.25	3.45	-12.00	143.94	-0.82	0.66	9.78
7	81.58	7.10	1.96	159.91	6655.93	3.84	0.00	0.00	-0.12	0.01	0.00
8	93.58	7.30	1.99	186.03	8757.50	3.95	12.00	143.94	0.08	0.01	1.02
9	105.58	7.80	2.05	216.87	11146.96	4.22	24.00	575.77	0.58	0.34	14.03
10	117.58	8.80	2.17	255.70	13824.30	4.73	35.99	1295.49	1.58	2.51	57.03
11	129.57	9.60	2.26	293.07	16789.53	5.12	47.99	2303.09	2.38	5.69	114.44
12	141.57	10.90	2.39	338.18	20042.64	5.71	59.99	3598.58	3.68	13.58	221.03
13	153.57	11.80	2.47	379.03	23583.64	6.09	71.99	5181.95	4.58	21.02	330.03
Σ	1060.59	93.8	24.95	2233.88	1.13E+05	49.39	0.00	26197.65	0.00	75.70	1389.33

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
13	81.58	7.22	3.67	0.0076	2183.14	6.31	46.72	2.51	115.78	0.99

Cuadro D.6 E vs. ΔT , malla DT80x100 \varnothing 2.7A2R2, mA, R-7

$$y = a_0 e^{a_1 x} \quad \ln(y) = \ln(a_0) + a_1 x \quad y' = \ln(y) \quad a'_0 = \ln(a_0)$$

	x	y	y'	xy'	x ²	y' ²	x - \bar{X}	8=7*7	y - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	3	4	5	6	7		9		
1	28.94	4.80	1.57	45.39	837.49	2.46	-52.64	2771.43	-2.42	5.83	127.16
2	43.41	5.20	1.65	71.57	1884.36	2.72	-38.17	1457.30	-2.02	4.06	76.94
3	57.88	5.90	1.77	102.73	3349.98	3.15	-23.70	561.92	-1.32	1.73	31.18
4	72.35	6.50	1.87	135.42	5234.34	3.50	-9.24	85.29	-0.72	0.51	6.61
5	86.82	7.10	1.96	170.17	7537.45	3.84	5.23	27.40	-0.12	0.01	-0.60
6	101.29	7.70	2.04	206.75	10259.31	4.17	19.70	388.26	0.48	0.23	9.55
7	115.76	8.80	2.17	251.74	13399.91	4.73	34.17	1167.87	1.58	2.51	54.15
8	130.23	10.20	2.32	302.44	16959.27	5.39	48.64	2366.23	2.98	8.91	145.18
9	144.70	10.90	2.39	345.65	20937.37	5.71	63.11	3983.33	3.68	13.58	232.55
10	159.17	11.60	2.45	390.12	25334.21	6.01	77.58	6019.18	4.38	19.22	340.17
11	173.64	13.50	2.60	451.92	30149.81	6.77	92.05	8473.78	6.28	39.50	578.52
Σ	1114.17	92.2	22.80	2473.92	1.36E+05	48.45	216.75	27301.99	12.83	96.10	1601.40

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
11	101.29	8.38	3.86	0.0071	2730.20	8.11	52.25	2.85	160.14	0.91

Cuadro D.7 E vs. $\Delta \theta$, malla DT80x100 \varnothing 2.7A2R2, mA, EC-C

$$y = a_0 + a_1 \ln(x), \quad x' = \ln(x)$$

	x	x'	y	x'y	x' ²	y ²	x - \bar{X}	8=7*7	y - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	3	4	5	6	7		9		
1	9.60	2.26	0.20	0.45	5.11	0.04	-71.99	5181.95	-0.95	0.91	68.66
2	21.60	3.07	0.70	2.15	9.44	0.49	-59.99	3598.58	-0.45	0.21	27.23
3	33.59	3.51	1.00	3.51	12.35	1.00	-47.99	2303.09	-0.15	0.02	7.38
4	45.59	3.82	1.10	4.20	14.59	1.21	-35.99	1295.49	-0.05	0.00	1.94
5	57.59	4.05	1.10	4.46	16.43	1.21	-24.00	575.77	-0.05	0.00	1.29
6	69.59	4.24	1.15	4.88	18.00	1.32	-12.00	143.94	0.00	0.00	0.05
7	81.58	4.40	1.20	5.28	19.37	1.44	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
8	93.58	4.54	1.30	5.90	20.60	1.69	12.00	143.94	0.15	0.02	1.75
9	105.58	4.66	1.30	6.06	21.71	1.69	24.00	575.77	0.15	0.02	3.51
10	117.58	4.77	1.40	6.67	22.73	1.96	35.99	1295.49	0.25	0.06	8.86
11	129.57	4.86	1.40	6.81	23.66	1.96	47.99	2303.09	0.25	0.06	11.81
12	141.57	4.95	1.45	7.18	24.53	2.10	59.99	3598.58	0.30	0.09	17.77
13	153.57	5.03	1.70	8.56	25.34	2.89	71.99	5181.95	0.55	0.30	39.32
Σ	1060.59	54.2	15.00	66.12	233.87	19.01	0.00	26197.65	0.00	1.70	189.56

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
13	81.58	1.15	-0.71	0.45	2183.14	0.14	46.72	0.38	15.80	0.90

Cuadro D.8 E vs. $\Delta\theta$, malla DT80x100Ø2.7A2R2, mA, R-7

$$y = a_0 + a_1x$$

	x	y	xy	x ²	y ²	x - \bar{X}	7=6*6	y - \bar{Y}	9=8*8	10=8*6
	1	2	3	4	5	6		8		
1	28.94	0.95	27.49	837.49	0.90	-72.35	5234.34	-0.32	0.10	23.35
2	43.41	1.05	45.58	1884.36	1.10	-57.88	3349.98	-0.22	0.05	12.89
3	57.88	1.10	63.67	3349.98	1.21	-43.41	1884.36	-0.17	0.03	7.50
4	72.35	1.15	83.20	5234.34	1.32	-28.94	837.49	-0.12	0.02	3.55
5	86.82	1.20	104.18	7537.45	1.44	-14.47	209.37	-0.07	0.01	1.05
6	101.29	1.30	131.67	10259.31	1.69	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
7	115.76	1.30	150.49	13399.91	1.69	14.47	209.37	0.03	0.00	0.39
8	130.23	1.40	182.32	16959.27	1.96	28.94	837.49	0.13	0.02	3.68
9	144.70	1.45	209.81	20937.37	2.10	43.41	1884.36	0.18	0.03	7.70
10	159.17	1.50	238.75	25334.21	2.25	57.88	3349.98	0.23	0.05	13.15
11	173.64	1.60	277.82	30149.81	2.56	72.35	5234.34	0.33	0.11	23.68
Σ	1114.17	14.00	1514.98	1.36E+05	18.23	0.00	23031.10	0.00	0.41	96.95

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
11	101.29	1.27	0.85	0.0042	2303.11	0.04	47.99	0.20	9.69	0.995

Cuadro D.9 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.0A2R2, mA, EC-F

$$y = a_0 x^{a_1} \quad \ln(y) = \ln(a_0) + a_1 \ln(x) \quad y' = \ln(y) \quad x' = \ln(x) \quad a'_0 = \ln(a_0)$$

	x	y	x'	y'	x'y'	x ²	y ²	x - \bar{X}	9=8*8	y - \bar{Y}	11=10*10	12=10*8
	1	2	3	4	5	6	7	8		10		
1	10.18	3.20	2.32	1.16	2.70	5.38	1.35	-76.34	5828.01	-5.81	33.73	443.37
2	22.90	4.30	3.13	1.46	4.57	9.80	2.13	-63.62	4047.23	-4.71	22.16	299.49
3	35.63	4.90	3.57	1.59	5.68	12.77	2.53	-50.89	2590.23	-4.11	16.87	209.06
4	48.35	5.90	3.88	1.77	6.88	15.04	3.15	-38.17	1457.00	-3.11	9.66	118.62
5	61.07	6.20	4.11	1.82	7.50	16.91	3.33	-25.45	647.56	-2.81	7.88	71.45
6	73.80	10.60	4.30	2.36	10.15	18.50	5.57	-12.72	161.89	1.59	2.54	-20.26
7	86.52	10.80	4.46	2.38	10.61	19.89	5.66	0.00	0.00	1.79	3.21	0.00
8	99.24	11.10	4.60	2.41	11.07	21.14	5.79	12.72	161.89	2.09	4.38	26.62
9	111.97	11.30	4.72	2.42	11.44	22.26	5.88	25.45	647.56	2.29	5.25	58.33
10	124.69	11.30	4.83	2.42	11.70	23.29	5.88	38.17	1457.00	2.29	5.25	87.50
11	137.41	11.90	4.92	2.48	12.19	24.24	6.13	50.89	2590.23	2.89	8.37	147.20
12	150.14	12.50	5.01	2.53	12.66	25.12	6.38	63.62	4047.23	3.49	12.20	222.17
13	162.86	13.10	5.09	2.57	13.10	25.94	6.62	76.34	5828.01	4.09	16.75	312.41
Σ	1124.76	117.1	54.95	27.38	120.26	240.28	60.41	0.00	29463.84	0.00	148.25	1975.97

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
13	86.52	9.01	0.76	0.56	2455.32	12.35	49.55	3.51	164.66	0.95

Cuadro D.10 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.0A2R2, mA, R-7

$$y = a_0 + a_1 x$$

	x	y	xy	x ²	y ²	x - \bar{X}	8=7*7	y - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	4	5	6	7		9		
1	28.94	4.50	130.23	837.49	20.25	-72.35	5234.34	-4.53	20.50	327.54
2	43.41	5.70	247.43	1884.36	32.49	-57.88	3349.98	-3.33	11.07	192.58
3	57.88	6.20	358.85	3349.98	38.44	-43.41	1884.36	-2.83	7.99	122.73
4	72.35	10.60	766.90	5234.34	112.36	-28.94	837.49	1.57	2.47	-45.51
5	86.82	8.70	755.32	7537.45	75.69	-14.47	209.37	-0.33	0.11	4.74
6	101.29	9.90	1002.75	10259.31	98.01	0.00	0.00	0.87	0.76	0.00
7	115.76	7.70	891.34	13399.91	59.29	14.47	209.37	-1.33	1.76	-19.21
8	130.23	5.20	677.18	16959.27	27.04	28.94	837.49	-3.83	14.65	-110.76
9	144.70	13.50	1953.42	20937.37	182.25	43.41	1884.36	4.47	20.01	194.16
10	159.17	13.10	2085.09	25334.21	171.61	57.88	3349.98	4.07	16.59	235.73
11	173.64	14.20	2465.65	30149.81	201.64	72.35	5234.34	5.17	26.76	374.24
Σ	1114.17	99.3	11334.16	1.36E+05	1019.07	0.00	23031.10	0.00	122.66	1276.23

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
11	101.29	9.03	3.41	0.055	2303.11	12.27	47.99	3.50	127.62	0.76

Cuadro D.11 E vs. $\Delta \phi$, malla DT80x100Ø3.0A2R2, mA, EC-F

$$y = a_0 + a_1 x$$

	x	y	x'	y'	x'y'	x ²	y ²	x - \bar{X}	9=8*8	y - \bar{Y}	11=10*10	12=10*8
	1	2	3	4	5	6	7	8		10		
1	10.18	0.30	2.32	-1.20	-2.79	5.38	1.45	-76.34	5828.01	-0.64	0.41	49.03
2	22.90	0.60	3.13	-0.51	-1.60	9.80	0.26	-63.62	4047.23	-0.34	0.12	21.78
3	35.63	0.70	3.57	-0.36	-1.27	12.77	0.13	-50.89	2590.23	-0.24	0.06	12.33
4	48.35	0.75	3.88	-0.29	-1.12	15.04	0.08	-38.17	1457.00	-0.19	0.04	7.34
5	61.07	0.80	4.11	-0.22	-0.92	16.91	0.05	-25.45	647.56	-0.14	0.02	3.62
6	73.80	0.80	4.30	-0.22	-0.96	18.50	0.05	-12.72	161.89	-0.14	0.02	1.81
7	86.52	0.90	4.46	-0.11	-0.47	19.89	0.01	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.00
8	99.24	1.10	4.60	0.10	0.44	21.14	0.01	12.72	161.89	0.16	0.02	2.01
9	111.97	1.20	4.72	0.18	0.86	22.26	0.03	25.45	647.56	0.26	0.07	6.56
10	124.69	1.25	4.83	0.22	1.08	23.29	0.05	38.17	1457.00	0.31	0.09	11.74
11	137.41	1.25	4.92	0.22	1.10	24.24	0.05	50.89	2590.23	0.31	0.09	15.66
12	150.14	1.30	5.01	0.26	1.31	25.12	0.07	63.62	4047.23	0.36	0.13	22.76
13	162.86	1.30	5.09	0.26	1.34	25.94	0.07	76.34	5828.01	0.36	0.13	27.31
Σ	1124.76	12.25	54.95	-1.66	-3.01	240.28	2.31	0.00	29463.84	0.00	1.20	181.95

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
13	86.52	0.94	0.107	0.50	2455.32	0.10	49.55	0.32	15.16	0.97

Cuadro D.12 E vs. $\Delta\theta$, malla DT80x100Ø3.0A2R2, mA, R-7

$$y = a_0 + a_1x$$

	x	y	xy	x ²	y ²	x - \bar{X}	7=6*6	y - \bar{Y}	9=8*8	10=8*6
	1	2	3	4	5	6		8		
1	28.94	0.90	26.05	837.49	0.81	-72.35	5234.34	-0.05	0.00	3.95
2	43.41	0.75	32.56	1884.36	0.56	-57.88	3349.98	-0.20	0.04	11.84
3	57.88	0.75	43.41	3349.98	0.56	-43.41	1884.36	-0.20	0.04	8.88
4	72.35	0.65	47.03	5234.34	0.42	-28.94	837.49	-0.30	0.09	8.81
5	86.82	1.10	95.50	7537.45	1.21	-14.47	209.37	0.15	0.02	-2.10
6	101.29	1.10	111.42	10259.31	1.21	0.00	0.00	0.15	0.02	0.00
7	115.76	0.90	104.18	13399.91	0.81	14.47	209.37	-0.05	0.00	-0.79
8	130.23	0.95	123.72	16959.27	0.90	28.94	837.49	0.00	0.00	-0.13
9	144.70	1.10	159.17	20937.37	1.21	43.41	1884.36	0.15	0.02	6.31
10	159.17	1.10	175.08	25334.21	1.21	57.88	3349.98	0.15	0.02	8.42
11	173.64	1.20	208.36	30149.81	1.44	72.35	5234.34	0.25	0.06	17.76
Σ	1114.17	10.50	1126.47	1.36E+05	10.35	0.00	23031.10	0.00	0.33	62.94

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
11	101.29	0.95	0.68	0.0027	2303.11	0.03	47.99	0.18	6.29	0.725

Cuadro D.13 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.8A2R2R4, mA, EC-F

$$y = a_0 + a_1x$$

	x	y	xy	x ²	y ²	x - \bar{X}	7=6*6	y - \bar{Y}	9=8*8	10=8*6
	1	2	3	4	5	6		8		
1	10.08	6.00	60.46	101.54	36.00	-75.58	5711.77	-4.05	16.37	305.79
2	22.67	7.10	160.98	514.06	50.41	-62.98	3966.51	-2.95	8.68	185.55
3	35.27	7.80	275.10	1243.90	60.84	-50.38	2538.56	-2.25	5.05	113.17
4	47.86	8.50	406.85	2291.05	72.25	-37.79	1427.94	-1.55	2.39	58.43
5	60.46	8.70	526.01	3655.53	75.69	-25.19	634.64	-1.35	1.81	33.91
6	73.06	8.90	650.21	5337.33	79.21	-12.60	158.66	-1.15	1.31	14.44
7	85.65	9.70	830.83	7336.45	94.09	0.00	0.00	-0.35	0.12	0.00
8	98.25	10.40	1021.79	9652.89	108.16	12.60	158.66	0.35	0.13	4.46
9	110.85	11.30	1252.55	12286.65	127.69	25.19	634.64	1.25	1.57	31.59
10	123.44	12.50	1543.01	15237.73	156.25	37.79	1427.94	2.45	6.02	92.73
11	136.04	13.00	1768.48	18506.13	169.00	50.38	2538.56	2.95	8.73	148.83
12	148.63	13.20	1961.96	22091.85	174.24	62.98	3966.51	3.15	9.95	198.63
13	161.23	13.50	2176.60	25994.89	182.25	75.58	5711.77	3.45	11.93	261.03
Σ	1113.49	130.6	12634.84	1.24E+05	1.39E+03	0.00	28876.16	0.00	74.05	1448.54

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
13	85.65	10.05	5.749	0.05	2406.35	6.17	49.05	2.48	120.71	0.99

Cuadro D.14 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.8A2R2R4, mA, R-7

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

x	y	xy	x^2	x^2y	x^3	x^4	$x - \bar{X}$	9=8*8	$y - \bar{Y}$	11=10*10	12=10*8	
1	2	3	4	5	6	7	8		10			
1	28.94	9.7	280.71	8.4E+02	8.1E+03	2.4E+04	7.0E+05	-72.35	5234.34	-1.62	2.62	117.07
2	43.41	12.2	529.59	1.9E+03	2.3E+04	8.2E+04	3.6E+06	-57.88	3349.98	0.88	0.78	-51.04
3	57.88	10.2	590.37	3.3E+03	3.4E+04	1.9E+05	1.1E+07	-43.41	1884.36	-1.12	1.25	48.54
4	72.35	8.6	622.20	5.2E+03	4.5E+04	3.8E+05	2.7E+07	-28.94	837.49	-2.72	7.39	78.66
5	86.82	9.5	824.78	7.5E+03	7.2E+04	6.5E+05	5.7E+07	-14.47	209.37	-1.82	3.31	26.31
6	101.29	11.2	1134.43	1.0E+04	1.1E+05	1.0E+06	1.1E+08	0.00	0.00	-0.12	0.01	0.00
7	115.76	11.8	1365.94	1.3E+04	1.6E+05	1.6E+06	1.8E+08	14.47	209.37	0.48	0.23	6.97
8	130.23	13.0	1692.96	1.7E+04	2.2E+05	2.2E+06	2.9E+08	28.94	837.49	1.68	2.83	48.67
9	144.70	12.8	1852.13	2.1E+04	2.7E+05	3.0E+06	4.4E+08	43.41	1884.36	1.48	2.20	64.32
10	159.17	11.5	1830.42	2.5E+04	2.9E+05	4.0E+06	6.4E+08	57.88	3349.98	0.18	0.03	10.52
11	173.64	14.0	2430.92	3.0E+04	4.2E+05	5.2E+06	9.1E+08	72.35	5234.34	2.68	7.19	194.03
Σ	1114.17	124.5	13154.45	1.4E+05	1.7E+06	1.8E+07	2.7E+09	0.00	23031.10	0.00	27.84	544.06

n	\bar{X}	\bar{Y}	a_0	a_1	a_2	S_X^2	S_Y^2	S_X	S_Y	S_{XY}	r
11	101.29	11.32	10.807	0.0231	0.0002	2303.1103	2.78	47.99	1.67	54.41	0.68

Cuadro D.15 E vs. $\Delta \theta$, malla DT80x100Ø3.8A2R2R4, mA, EC-F

$$y = a_0 + a_1x$$

x	y	xy	x^2	y^2	$x - \bar{X}$	8=7*7	$y - \bar{Y}$	10=9*9	11=9*7	
1	2	4	5	6	7		9			
1	10.08	0.40	4.03	101.54	0.16	-75.58	5711.77	-0.99	0.98	74.99
2	22.67	0.60	13.60	514.06	0.36	-62.98	3966.51	-0.79	0.63	49.90
3	35.27	0.70	24.69	1243.90	0.49	-50.38	2538.56	-0.69	0.48	34.88
4	47.86	0.80	38.29	2291.05	0.64	-37.79	1427.94	-0.59	0.35	22.38
5	60.46	0.80	48.37	3655.53	0.64	-25.19	634.64	-0.59	0.35	14.92
6	73.06	1.50	109.59	5337.33	2.25	-12.60	158.66	0.11	0.01	-1.36
7	85.65	1.55	132.76	7336.45	2.40	0.00	0.00	0.16	0.02	0.00
8	98.25	1.60	157.20	9652.89	2.56	12.60	158.66	0.21	0.04	2.62
9	110.85	1.75	193.98	12286.65	3.06	25.19	634.64	0.36	0.13	9.01
10	123.44	1.90	234.54	15237.73	3.61	37.79	1427.94	0.51	0.26	19.18
11	136.04	2.10	285.88	18506.13	4.41	50.38	2538.56	0.71	0.50	35.66
12	148.63	2.15	319.56	22091.85	4.62	62.98	3966.51	0.76	0.57	47.72
13	161.23	2.25	362.77	25994.89	5.06	75.58	5711.77	0.86	0.74	64.82
Σ	1113.49	18.10	1925.05	1.24E+05	30.27	0.00	28876.16	0.00	5.07	374.73

n	\bar{X}	\bar{Y}	a_0	a_1	S_X^2	S_Y^2	S_X	S_Y	S_{XY}	r
13	85.65	1.39	0.281	0.013	2406.35	0.42	49.05	0.65	31.23	0.98

Cuadro D.16 E vs. $\Delta\theta$, malla DT80x100Ø3.8A2R2R4, mA, R-7

$$y = a_0 + a_1x$$

	x	y	y'	xy'	x ²	y ²	x - \bar{X}	8=7*7	y - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	3	4	5	6	7		9		
1	28.94	0.65	-0.43	-12.47	837.49	0.19	-72.35	5234.34	-1.10	1.20	79.25
2	43.41	0.85	-0.16	-7.05	1884.36	0.03	-57.88	3349.98	-0.90	0.80	51.83
3	57.88	0.80	-0.22	-12.92	3349.98	0.05	-43.41	1884.36	-0.95	0.89	41.04
4	72.35	1.85	0.62	44.51	5234.34	0.38	-28.94	837.49	0.10	0.01	-3.03
5	86.82	1.55	0.44	38.05	7537.45	0.19	-14.47	209.37	-0.20	0.04	2.83
6	101.29	2.05	0.72	72.71	10259.31	0.52	0.00	0.00	0.30	0.09	0.00
7	115.76	1.60	0.47	54.41	13399.91	0.22	14.47	209.37	-0.15	0.02	-2.10
8	130.23	2.50	0.92	119.33	16959.27	0.84	28.94	837.49	0.75	0.57	21.84
9	144.70	2.45	0.90	129.66	20937.37	0.80	43.41	1884.36	0.70	0.50	30.58
10	159.17	2.40	0.88	139.35	25334.21	0.77	57.88	3349.98	0.65	0.43	37.88
11	173.64	2.50	0.92	159.10	30149.81	0.84	72.35	5234.34	0.75	0.57	54.59
Σ	1114.17	19.20	5.03	724.67	1.36E+05	4.82	0.00	23031.10	0.00	5.12	314.72

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
11	101.29	1.75	0.613	0.0093	2303.11	0.51	47.99	0.72	31.47	0.916

D.3 CÁLCULOS PARA OBTENER LAS LÍNEAS TENDENCIA Y COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON EN LOS ENSAYOS -ZONA 2

E vs.ΔT = Energía de impacto versus variación de la temperatura del alambre de la malla del gavión.

Cuadro D.17 E vs.ΔT, malla DT80x100Ø2.4A2R2, mB, EC-B

$$y = a_0 e^{a_1 x} \quad \ln(y) = \ln(a_0) + a_1 x \quad y' = \ln(y) \quad a'_0 = \ln(a_0)$$

	x	y	y'	xy'	x ²	y' ²	x - \bar{X}	8=7*7	y - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	3	4	5	6	7		9		
1	9.04	1.50	0.41	3.67	81.74	0.16	-63.17	3990.11	-3.15	9.91	198.81
2	20.34	2.20	0.79	16.04	413.80	0.62	-51.87	2690.10	-2.45	5.99	126.94
3	31.64	2.40	0.88	27.70	1001.29	0.77	-40.57	1645.53	-2.25	5.05	91.16
4	42.94	2.70	0.99	42.65	1844.21	0.99	-29.26	856.38	-1.95	3.79	56.99
5	54.25	2.90	1.06	57.76	2942.56	1.13	-17.96	322.66	-1.75	3.05	31.39
6	65.55	3.40	1.22	80.21	4296.34	1.50	-6.66	44.38	-1.25	1.56	8.31
7	76.85	4.00	1.39	106.53	5905.56	1.92	4.64	21.52	-0.65	0.42	-3.00
8	88.15	4.60	1.53	134.52	7770.20	2.33	15.94	254.10	-0.05	0.00	-0.76
9	76.85	4.40	1.48	113.86	5905.56	2.20	4.64	21.52	-0.25	0.06	-1.15
10	88.15	5.00	1.61	141.87	7770.20	2.59	15.94	254.10	0.35	0.12	5.62
11	76.85	4.30	1.46	112.09	5905.56	2.13	4.64	21.52	-0.35	0.12	-1.61
12	88.15	4.80	1.57	138.27	7770.20	2.46	15.94	254.10	0.15	0.02	2.43
13	99.45	5.30	1.67	165.85	9890.27	2.78	27.24	742.11	0.65	0.43	17.78
14	79.11	4.90	1.59	125.72	6258.05	2.53	6.90	47.60	0.25	0.06	1.74
15	90.41	5.50	1.70	154.12	8173.78	2.91	18.20	331.27	0.85	0.73	15.52
16	79.11	6.30	1.84	145.60	6258.05	3.39	6.90	47.60	1.65	2.73	11.40
17	90.41	7.20	1.97	178.47	8173.78	3.90	18.20	331.27	2.55	6.52	46.46
18	101.71	7.90	2.07	210.22	10344.94	4.27	29.50	870.36	3.25	10.58	95.96
19	113.01	9.00	2.20	248.31	12771.53	4.83	40.80	1664.88	4.35	18.95	177.60
Σ	1371.96	88.3	27.42	2203.48	1.13E+05	43.39	0.00	14411.13	0.00	70.09	881.59

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
19	72.21	4.65	1.38	0.0155	800.62	3.89	28.30	1.97	48.98	0.88

Cuadro D.18 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø2.7A2R2, mB, EC-C

$$y = a_0 + a_1x$$

	x	y	xy	x ²	y ²	x - \bar{X}	7=6*6	y - \bar{Y}	9=8*8	10=8*6
	1	2	3	4	5	6		8		
1	9.57	1.4	13.39	91.52	1.96	-80.06	6409.33	-6.51	42.32	520.80
2	21.53	1.7	36.59	463.33	2.89	-68.10	4637.59	-6.21	38.51	422.58
3	33.48	2.4	80.36	1121.14	5.76	-56.14	3151.87	-5.51	30.31	309.07
4	45.44	3.0	136.33	2064.96	9.00	-44.18	1952.15	-4.91	24.06	216.73
5	69.36	4.2	291.31	4810.62	17.64	-20.27	410.72	-3.71	13.73	75.09
6	69.36	6.0	416.15	4810.62	36.00	-20.27	410.72	-1.91	3.63	38.61
7	81.32	8.2	666.80	6612.46	67.24	-8.31	69.02	0.29	0.09	-2.45
8	93.28	8.4	783.51	8700.31	70.56	3.65	13.33	0.49	0.24	1.81
9	81.32	8.1	658.67	6612.46	65.61	-8.31	69.02	0.19	0.04	-1.62
10	93.28	8.3	774.19	8700.31	68.89	3.65	13.33	0.39	0.16	1.44
11	105.23	9.8	1031.29	11074.16	96.04	15.61	243.64	1.89	3.59	29.57
12	117.19	10.6	1242.24	13734.02	112.36	27.57	759.95	2.69	7.26	74.29
13	129.15	11.0	1420.66	16679.88	121.00	39.53	1562.28	3.09	9.58	122.32
14	107.63	10.0	1076.26	11583.25	100.00	18.00	324.02	2.09	4.39	37.71
15	119.58	11.2	1339.34	14300.31	125.44	29.96	897.54	3.29	10.86	98.71
16	131.54	11.6	1525.89	17303.37	134.56	41.92	1757.06	3.69	13.65	154.87
17	119.58	11.0	1315.42	14300.31	121.00	29.96	897.54	3.09	9.58	92.71
18	131.54	11.0	1446.97	17303.37	121.00	41.92	1757.06	3.09	9.58	129.72
19	143.50	12.3	1765.06	20592.45	151.29	53.88	2902.59	4.39	19.31	236.77
Σ	1702.87	150.20	16020.42	1.81E+05	1428.24	0.00	28238.75	0.00	240.87	2558.74

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
19	89.62	7.91	-0.216	0.091	1568.82	13.38	39.61	3.66	142.15	0.98

Cuadro D.19 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.0A2R2, mB, R-7

$$y = a_0 + a_1x$$

	x	y	xy	x ²	y ²	x - \bar{X}	7=6*6	y - \bar{Y}	9=8*8	10=8*6
	1	2	3	4	5	6		8		
1	28.94	2.30	66.56	837.49	5.29	-72.35	5234.34	-6.32	39.92	457.11
2	43.41	3.60	156.27	1884.36	12.96	-57.88	3349.98	-5.02	25.18	290.45
3	57.88	4.50	260.46	3349.98	20.25	-43.41	1884.36	-4.12	16.96	178.77
4	72.35	5.90	426.86	5234.34	34.81	-28.94	837.49	-2.72	7.39	78.66
5	86.82	7.40	642.46	7537.45	54.76	-14.47	209.37	-1.22	1.48	17.63
6	101.29	9.50	962.24	10259.31	90.25	0.00	0.00	0.88	0.78	0.00
7	115.76	11.10	1284.91	13399.91	123.21	14.47	209.37	2.48	6.16	35.91
8	130.23	11.70	1523.66	16959.27	136.89	28.94	837.49	3.08	9.50	89.19
9	144.70	12.30	1779.78	20937.37	151.29	43.41	1884.36	3.68	13.56	159.82
10	159.17	12.60	2005.51	25334.21	158.76	57.88	3349.98	3.98	15.85	230.46
11	173.64	13.90	2413.55	30149.81	193.21	72.35	5234.34	5.28	27.90	382.13
Σ	1114.17	94.8	11522.26	1.36E+05	981.68	0.00	23031.10	0.00	164.68	1920.14

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
11	101.29	8.62	0.17	0.083	2303.11	16.47	47.99	4.06	192.01	0.99

Cuadro D.20 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.0A2R2, mB, EC-E

$$y = a_0 + a_1x$$

	x	y	xy	x ²	y ²	x - \bar{X}	7=6*6	y - \bar{Y}	9=8*8	10=8*6
	1	2	3	4	5	6		8		
1	10.18	1.30	13.23	103.61	1.69	-76.34	5828.01	-5.08	25.85	388.17
2	22.90	2.10	48.10	524.52	4.41	-63.62	4047.23	-4.28	18.36	272.58
3	35.63	2.50	89.06	1269.21	6.25	-50.89	2590.23	-3.88	15.09	197.70
4	48.35	2.90	140.21	2337.68	8.41	-38.17	1457.00	-3.48	12.14	133.01
5	61.07	3.70	225.97	3729.93	13.69	-25.45	647.56	-2.68	7.21	68.32
6	73.80	4.90	361.60	5445.95	24.01	-12.72	161.89	-1.48	2.20	18.89
7	86.52	5.60	484.51	7485.76	31.36	0.00	0.00	-0.78	0.62	0.00
8	99.24	6.50	645.08	9849.34	42.25	12.72	161.89	0.12	0.01	1.47
9	111.97	8.90	996.51	12536.70	79.21	25.45	647.56	2.52	6.33	64.01
10	124.69	10.10	1259.38	15547.84	102.01	38.17	1457.00	3.72	13.80	141.82
11	137.41	10.30	1415.37	18882.76	106.09	50.89	2590.23	3.92	15.33	199.27
12	150.14	11.70	1756.62	22541.46	136.89	63.62	4047.23	5.32	28.25	338.15
13	162.86	12.50	2035.77	26523.93	156.25	76.34	5828.01	6.12	37.40	466.86
Σ	1124.76	83.00	9471.43	1.27E+05	7.13E+02	0.00	29463.84	0.00	182.60	2290.24

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
13	86.52	6.38	-0.34	0.078	2455.32	15.22	49.55	3.90	190.85	0.99

Cuadro D.21 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.0A2R2, mB, R-6

$$y = a_0 e^{a_1 x} \quad \ln(y) = \ln(a_0) + a_1 x \quad y' = \ln(y) \quad a'_0 = \ln(a_0)$$

	x	y	x'	y'	x'y'	x ²	y ²	x - \bar{X}	9=8*8	y - \bar{Y}	11=10*10	12=10*8
	1	2	3	4	5	6	7	8		10		
1	36.15	2.70	3.59	0.99	3.56	12.87	0.99	-93.11	8670.08	-6.85	46.88	637.52
2	52.58	3.90	3.96	1.36	5.39	15.70	1.85	-76.68	5880.05	-5.65	31.88	432.99
3	69.01	5.10	4.23	1.63	6.90	17.93	2.65	-60.25	3630.03	-4.45	19.77	267.91
4	85.45	5.60	4.45	1.72	7.66	19.78	2.97	-43.82	1920.02	-3.95	15.58	172.94
5	101.88	6.80	4.62	1.92	8.86	21.38	3.67	-27.39	750.01	-2.75	7.54	75.22
6	118.31	8.10	4.77	2.09	9.99	22.78	4.38	-10.95	120.00	-1.45	2.09	15.85
7	134.74	8.60	4.90	2.15	10.55	24.04	4.63	5.48	30.00	-0.95	0.90	-5.19
8	151.17	9.50	5.02	2.25	11.30	25.18	5.07	21.91	480.00	-0.05	0.00	-1.02
9	167.60	11.00	5.12	2.40	12.28	26.23	5.75	38.34	1470.01	1.45	2.11	55.72
10	151.17	10.80	5.02	2.38	11.94	25.18	5.66	21.91	480.00	1.25	1.57	27.46
11	167.60	13.10	5.12	2.57	13.18	26.23	6.62	38.34	1470.01	3.55	12.63	136.24
12	151.17	12.30	5.02	2.51	12.59	25.18	6.30	21.91	480.00	2.75	7.58	60.32
13	167.60	14.60	5.12	2.68	13.73	26.23	7.19	38.34	1470.01	5.05	25.54	193.75
14	184.04	15.20	5.22	2.72	14.19	27.20	7.41	54.77	3000.03	5.65	31.96	309.65
15	200.47	15.90	5.30	2.77	14.66	28.10	7.65	71.20	5070.05	6.35	40.36	452.38
Σ	1938.95	143.2	71.5	32.1	156.79	3.44E+02	72.78	0.00	34920.31	0.00	246.40	2831.74

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
15	129.26	9.55	0.062	1.033	2494.31	17.60	49.94	4.20	202.27	0.97

Cuadro D.22 E vs. ΔT , malla DT80x100Ø3.8A2R2R4, mB, EC-F

$$y = a_0 e^{a_1 x} \quad \ln(y) = \ln(a_0) + a_1 x \quad y' = \ln(y) \quad a'_0 = \ln(a_0)$$

	x	y	y'	xy'	x ²	y' ²	x - \bar{X}	8=7*7	y - \bar{Y}	10=9*9	11=9*7
	1	2	3	4	5	6	7		9		
1	10.08	5.5	1.70	17.18	101.54	2.91	-86.54	7489.55	-3.76	14.17	325.81
2	22.67	6.0	1.79	40.62	514.06	3.21	-73.95	5468.04	-3.26	10.66	241.41
3	35.27	6.4	1.86	65.47	1243.90	3.45	-61.35	3763.84	-2.86	8.21	175.75
4	47.86	6.9	1.93	92.45	2291.05	3.73	-48.75	2376.96	-2.36	5.59	115.29
5	60.46	7.2	1.97	119.35	3655.53	3.90	-36.16	1307.40	-2.06	4.26	74.66
6	73.06	8.8	2.17	158.88	5337.33	4.73	-23.56	555.17	-0.46	0.22	10.95
7	85.65	9.0	2.20	188.20	7336.45	4.83	-10.97	120.25	-0.26	0.07	2.90
8	98.25	9.3	2.23	219.10	9652.89	4.97	1.63	2.66	0.04	0.00	0.06
9	110.85	9.6	2.26	250.71	12286.65	5.12	14.23	202.38	0.34	0.11	4.77
10	123.44	9.9	2.29	282.99	15237.73	5.26	26.82	719.43	0.64	0.40	17.04
11	136.04	10.3	2.33	317.26	18506.13	5.44	39.42	1553.79	1.04	1.07	40.81
12	148.63	10.7	2.37	352.30	22091.85	5.62	52.01	2705.48	1.44	2.06	74.66
13	136.04	11.0	2.40	326.20	18506.13	5.75	39.42	1553.79	1.74	3.01	68.40
14	138.56	11.1	2.41	333.50	19197.89	5.79	41.94	1758.75	1.84	3.37	76.97
15	125.96	11.3	2.42	305.43	15866.02	5.88	29.34	860.92	2.04	4.14	59.72
16	138.56	11.9	2.48	343.14	19197.89	6.13	41.94	1758.75	2.64	6.94	110.52
17	151.15	12.6	2.53	382.97	22847.07	6.42	54.53	2973.90	3.34	11.12	181.89
Σ	1642.52	157.50	37.36	3795.76	1.94E+05	83.12	0.00	35171.05	0.00	75.42	1581.59

n	\bar{X}	\bar{Y}	a ₀	a ₁	S _X ²	S _Y ²	S _X	S _Y	S _{XY}	r
17	96.62	9.26	5.395	0.0053	2198.19	4.71	46.88	2.17	98.85	0.97

D.4 CÁLCULOS PARA OBTENER LOS VALORES DE ENERGÍA DE FALLA REPRESENTATIVOS EN LOS ENSAYOS - ZONA 2

Cuadro D.23 E_F , malla DT80X100Ø2.4A2R2

	x	$x - \bar{X}$	$3=2^*2$	V.O.A	f_i	P_w	$F(x)$	z	$F(z)$	$10=7-9$
	1	2		4	5	6	7	8	9	
1	88.15	-6.06	36.68	53.54	1	0.0094	0.0094	-1.66	0.0489	-0.022
2	88.15	-6.06	36.68	63.73	2.5	0.0236	0.0330	-1.24	0.1073	-0.032
3	99.45	5.24	27.51	63.73	2.5	0.0236	0.0566	-1.24	0.1073	-0.009
4	99.45	5.24	27.51	85.70	4.5	0.0425	0.0991	-0.35	0.3646	-0.186
5	122.05	27.85	775.46	85.70	4.5	0.0425	0.1415	-0.35	0.3646	-0.143
6	53.54	-40.67	1653.72	88.15	6.5	0.0613	0.2028	-0.25	0.4026	-0.086
7	120.46	26.26	689.48	88.15	6.5	0.0613	0.2642	-0.25	0.4026	-0.025
8	109.31	15.10	228.13	96.69	8	0.0755	0.3396	0.10	0.5403	-0.060
9	142.77	48.57	2358.64	99.45	9.5	0.0896	0.4292	0.21	0.5845	0.010
10	63.73	-30.48	928.98	99.45	9.5	0.0896	0.5189	0.21	0.5845	0.100
11	63.73	-30.48	928.98	109.31	11	0.1038	0.6226	0.61	0.7307	0.085
12	96.69	2.48	6.16	120.46	12	0.1132	0.7358	1.07	0.8575	0.090
13	85.70	-8.50	72.33	122.05	13	0.1226	0.8585	1.13	0.8716	0.215
14	85.70	-8.50	72.33	142.77	14	0.1415	1.0000	1.98	0.9760	0.287
Σ	1318.87	0.00	7842.59	1318.87	105.00	1.0000				

n	\bar{X}	S^2	S	D_{MAX}	D_{K-S}
14	94.21	603.28	24.56	0.287	0.349

V.O.A = Valores (de la columna 1) ordenados en forma ascendente.

f_i = Frecuencia absoluta.

P_w = Probabilidad de Weibull.

$F(x)$ = Probabilidad de Weibull acumulada.

D_{MAX} = Valor máximo en valor absoluto de la columna 10.

D_{K-S} = Valor crítico de la prueba Kolmogorov-Smirnov para un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) y un número de datos ($n = 14$).

D.4 CÁLCULOS PARA OBTENER LOS VALORES DE ENERGÍA DE FALLA REPRESENTATIVOS EN LOS ENSAYOS - ZONA 2

Cuadro D.23 E_F , malla DT80X100Ø2.4A2R2

	x	$x - \bar{X}$	$3=2^*2$	V.O.A	f_i	P_w	$F(x)$	z	$F(z)$	$10=7-9$
	1	2		4	5	6	7	8	9	
1	88.15	-6.06	36.68	53.54	1	0.0094	0.0094	-1.66	0.0489	-0.022
2	88.15	-6.06	36.68	63.73	2.5	0.0236	0.0330	-1.24	0.1073	-0.032
3	99.45	5.24	27.51	63.73	2.5	0.0236	0.0566	-1.24	0.1073	-0.009
4	99.45	5.24	27.51	85.70	4.5	0.0425	0.0991	-0.35	0.3646	-0.186
5	122.05	27.85	775.46	85.70	4.5	0.0425	0.1415	-0.35	0.3646	-0.143
6	53.54	-40.67	1653.72	88.15	6.5	0.0613	0.2028	-0.25	0.4026	-0.086
7	120.46	26.26	689.48	88.15	6.5	0.0613	0.2642	-0.25	0.4026	-0.025
8	109.31	15.10	228.13	96.69	8	0.0755	0.3396	0.10	0.5403	-0.060
9	142.77	48.57	2358.64	99.45	9.5	0.0896	0.4292	0.21	0.5845	0.010
10	63.73	-30.48	928.98	99.45	9.5	0.0896	0.5189	0.21	0.5845	0.100
11	63.73	-30.48	928.98	109.31	11	0.1038	0.6226	0.61	0.7307	0.085
12	96.69	2.48	6.16	120.46	12	0.1132	0.7358	1.07	0.8575	0.090
13	85.70	-8.50	72.33	122.05	13	0.1226	0.8585	1.13	0.8716	0.215
14	85.70	-8.50	72.33	142.77	14	0.1415	1.0000	1.98	0.9760	0.287
Σ	1318.87	0.00	7842.59	1318.87	105.00	1.0000				

n	\bar{X}	S^2	S	D_{MAX}	D_{K-S}
14	94.21	603.28	24.56	0.287	0.349

V.O.A = Valores (de la columna 1) ordenados en forma ascendente.

f_i = Frecuencia absoluta.

P_w = Probabilidad de Weibull.

$F(x)$ = Probabilidad de Weibull acumulada.

D_{MAX} = Valor máximo en valor absoluto de la columna 10.

D_{K-S} = Valor crítico de la prueba Kolmogorov-Smirnov para un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) y un número de datos ($n = 14$).

Cuadro D.24 E_F , malla DT80X100Ø2.7A2R2

	x	$x - \bar{X}$	$3=2*2$	V.O.A	f_i	P_w	$F(x)$	z	$F(z)$	$10=7-9$
	1	2		4	5	6	7	8	9	
1	93.28	-9.98	9.95E+01	56.55	1	0.0179	0.0179	-1.80	0.0362	-0.018
2	129.15	25.90	6.71E+02	81.18	2.5	0.0446	0.0625	-0.85	0.1980	-0.135
3	141.11	37.86	1.43E+03	81.18	2.5	0.0446	0.1071	-0.85	0.1980	-0.091
4	81.18	-22.07	4.87E+02	93.28	4	0.0714	0.1786	-0.38	0.3506	-0.172
5	81.18	-22.07	4.87E+02	103.68	5.5	0.0982	0.2768	0.02	0.5066	-0.230
6	56.55	-46.70	2.18E+03	103.68	5.5	0.0982	0.3750	0.02	0.5066	-0.132
7	103.68	0.43	1.83E-01	115.46	7	0.1250	0.5000	0.47	0.6807	-0.181
8	115.46	12.21	1.49E+02	127.24	8	0.1429	0.6429	0.92	0.8219	-0.179
9	103.68	0.43	1.83E-01	129.15	9	0.1607	0.8036	1.00	0.8404	-0.037
10	127.24	23.99	5.76E+02	141.11	10	0.1964	1.0000	1.46	0.9273	0.073
Σ	1032.52	0.00	6.08E+03	1032.52	55.00	1.0000				

n	\bar{X}	S^2	S	D_{MAX}	D_{K-S}
10	103.25	675.92	26.00	0.230	0.410

V.O.A = Valores (de la columna 1) ordenados en forma ascendente.

f_i = Frecuencia absoluta.

P_w = Probabilidad de Weibull.

$F(x)$ = Probabilidad de Weibull acumulada.

D_{MAX} = Valor máximo en valor absoluto de la columna 10.

D_{K-S} = Valor crítico de la prueba Kolmogorov-Smirnov para un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) y un número de datos ($n = 10$).

Cuadro D.25 E_F , malla DT80X100Ø3.0A2R2

	x	$x - \bar{X}$	$3=2*2$	V.O.A	f_i	P_w	$F(x)$	z	$F(z)$	$10=7-9$
	1	2		4	5	6	7	8	9	
1	167.60	24.42	5.96E+02	115.76	1	0.0625	0.0625	-1.17	0.1202	-0.058
2	167.60	24.42	5.96E+02	130.23	2.0	0.1250	0.1875	-0.55	0.2896	-0.102
3	134.74	-8.45	7.13E+01	134.74	3.0	0.1875	0.3750	-0.36	0.3589	0.016
4	115.76	-27.43	7.52E+02	167.60	5	0.3125	0.6875	1.04	0.8520	-0.164
5	130.23	-12.96	1.68E+02	167.60	4.5	0.3125	1.0000	1.04	0.8520	0.148
Σ	715.93	0.00	2.18E+03	715.93	15.00	1.0000				

n	\bar{X}	S^2	S	D_{MAX}	D_{K-S}
5	143.19	546.00	23.37	0.164	0.565

V.O.A = Valores (de la columna 1) ordenados en forma ascendente.

f_i = Frecuencia absoluta.

P_w = Probabilidad de Weibull.

$F(x)$ = Probabilidad de Weibull acumulada.

D_{MAX} = Valor máximo en valor absoluto de la columna 10.

D_{K-S} = valor crítico de la prueba Kolmogorov-Smimov para un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) y un número de datos ($n = 5$).

Cuadro D.26 E_F , malla DT80X100Ø3.8A2R2R4

	x	$x - \bar{X}$	$3=2^*2$	V.O.A	f_i	P_w	$F(x)$	z	$F(z)$	$10=7-9$
	1	2		4	5	6	7	8	9	
1	148.63	46.12	2.13E+03	60.04	1	0.0270	0.0270	-1.17	0.1213	-0.094
2	148.63	46.12	2.13E+03	72.54	2.5	0.0676	0.0946	-0.82	0.2048	-0.110
3	135.08	32.57	1.06E+03	72.54	2.5	0.0676	0.1622	-0.82	0.2048	-0.043
4	97.56	-4.95	2.45E+01	85.05	4	0.1081	0.2703	-0.48	0.3155	-0.045
5	85.05	-17.46	3.05E+02	97.56	5	0.1351	0.4054	-0.14	0.4458	-0.040
6	72.54	-29.97	8.98E+02	135.08	6	0.1622	0.5676	0.90	0.8150	-0.247
7	72.54	-29.97	8.98E+02	148.63	7.5	0.2162	0.7838	1.27	0.8978	-0.114
8	60.04	-42.47	1.80E+03	148.63	7.5	0.2162	1.0000	1.27	0.8978	0.102
Σ	820.09	0.00	9.24E+03	820.09	36.00	1.0000				

n	\bar{X}	S^2	S	D_{MAX}	D_{K-S}
8	102.51	1320.68	36.34	0.247	0.457

V.O.A = Valores (de la columna 1) ordenados en forma ascendente.

f_i = Frecuencia absoluta.

P_w = Probabilidad de Weibull.

$F(x)$ = Probabilidad de Weibull acumulada.

D_{MAX} = Valor máximo en valor absoluto de la columna 10.

D_{K-S} = Valor crítico de la prueba Kolmogorov-Smimov para un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) y un número de datos ($n = 8$).

ANEXO E

CURVAS VELOCIDAD vs. MASA

(Selección de la malla del gavión resistente al aplastamiento por impacto)

Figura E.1 V vs. m, malla DT80X100Ø2.4A2R2

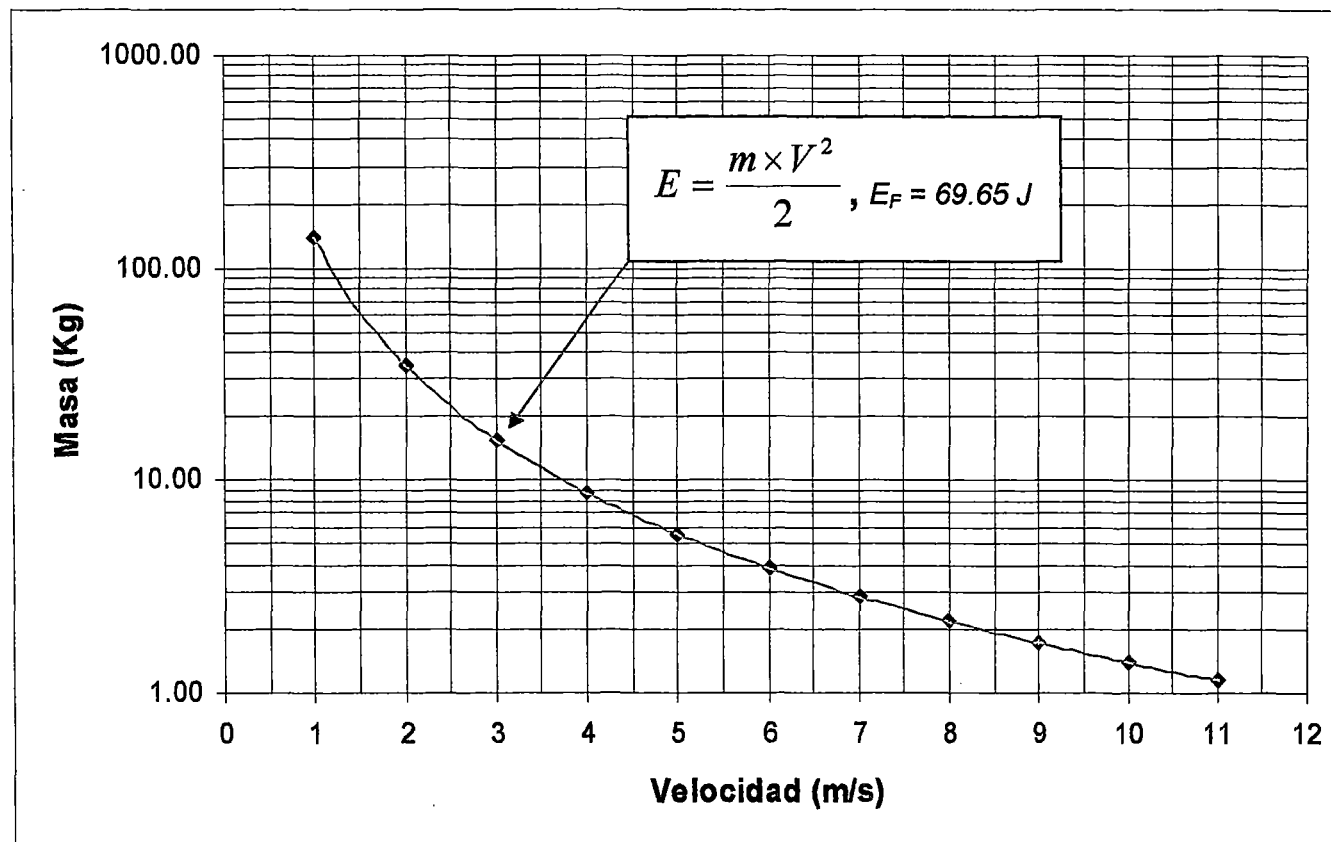


Figura E.2 V vs. m, malla DT80X100Ø2.7A2R2

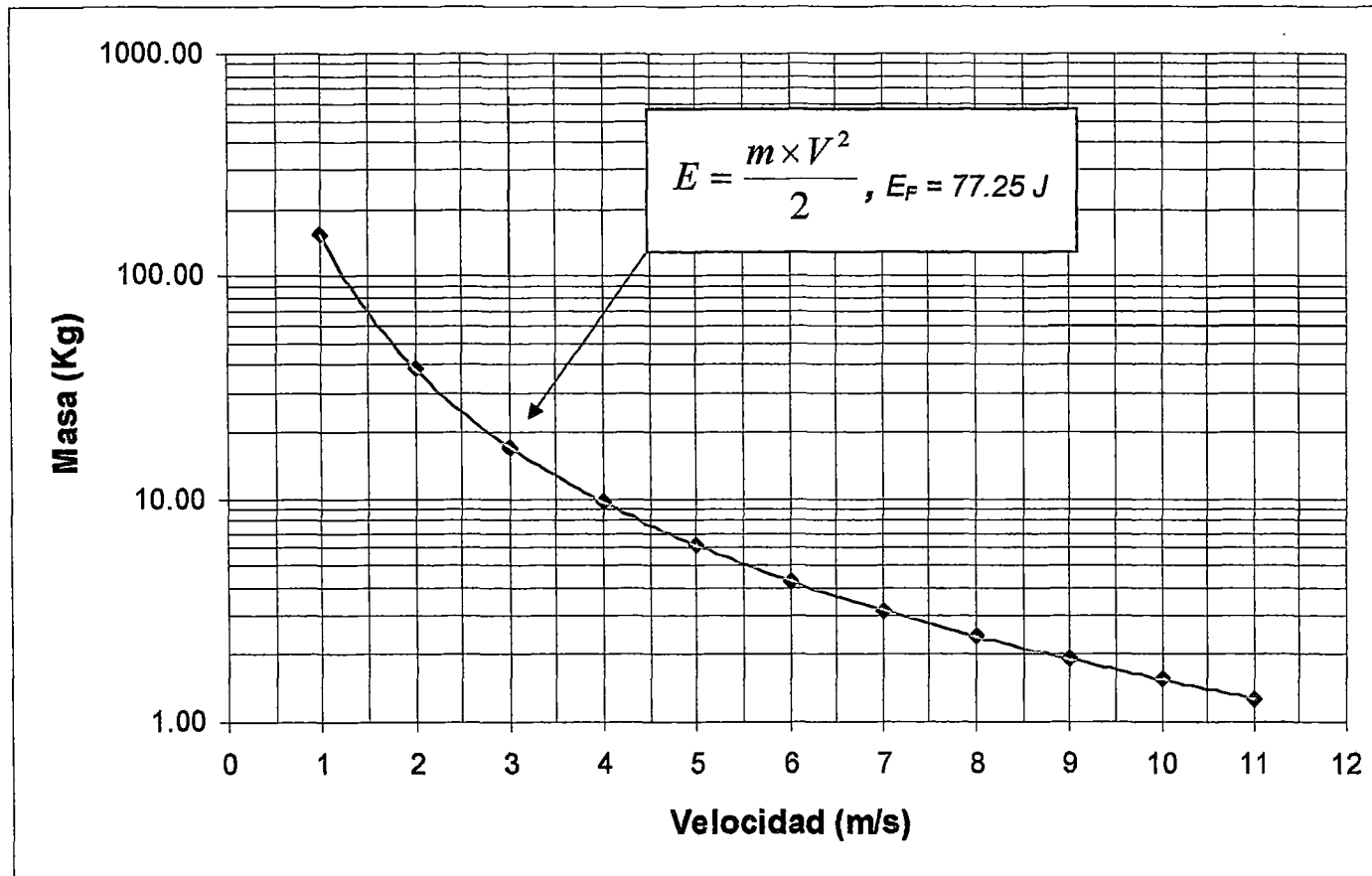
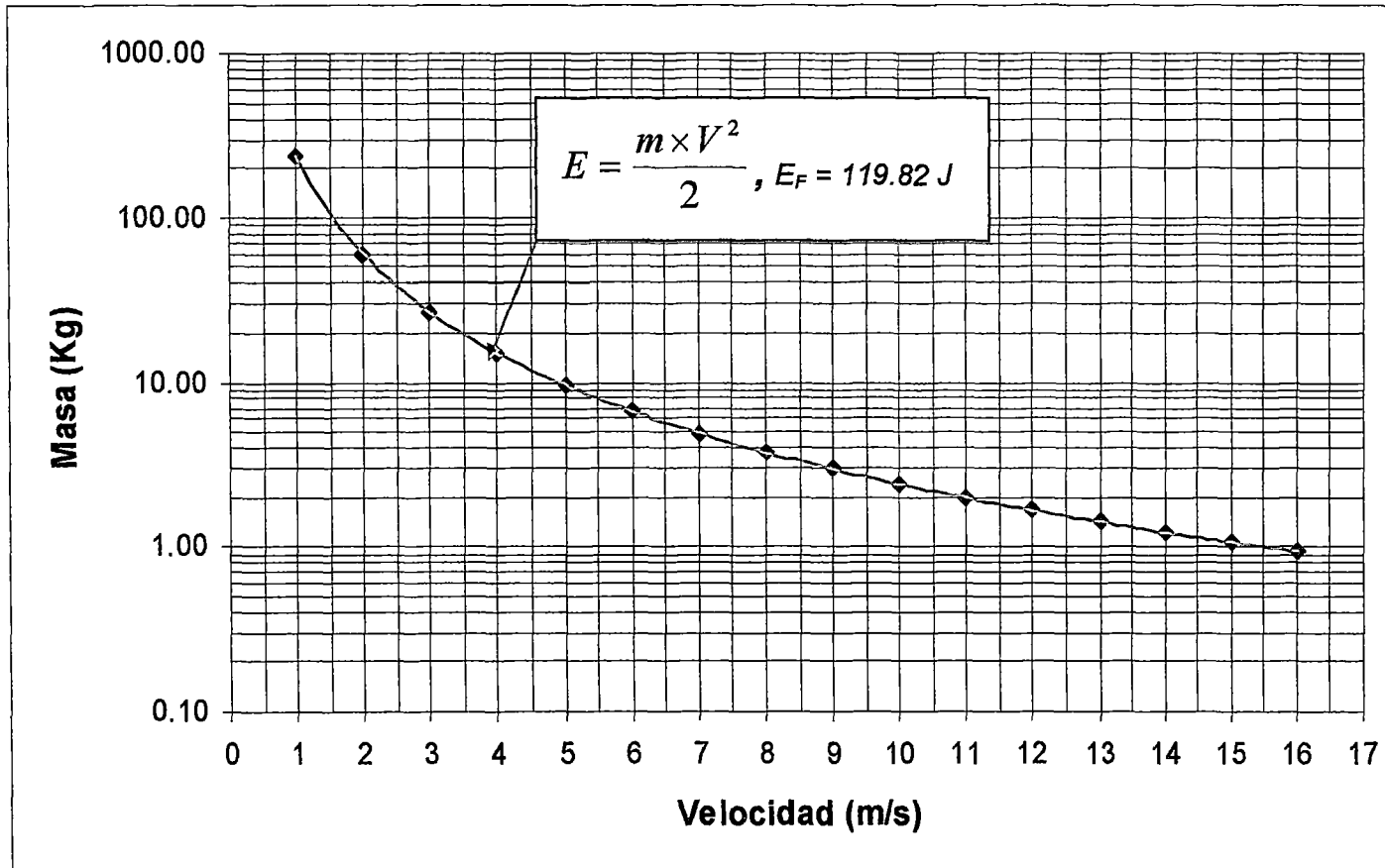


Figura E.3 V vs. m, malla DT80X100Ø3.0A2R2



ANEXO F

PANEL FOTOGRÁFICO



Foto F.1 Gavión caja (ensayos preliminares)

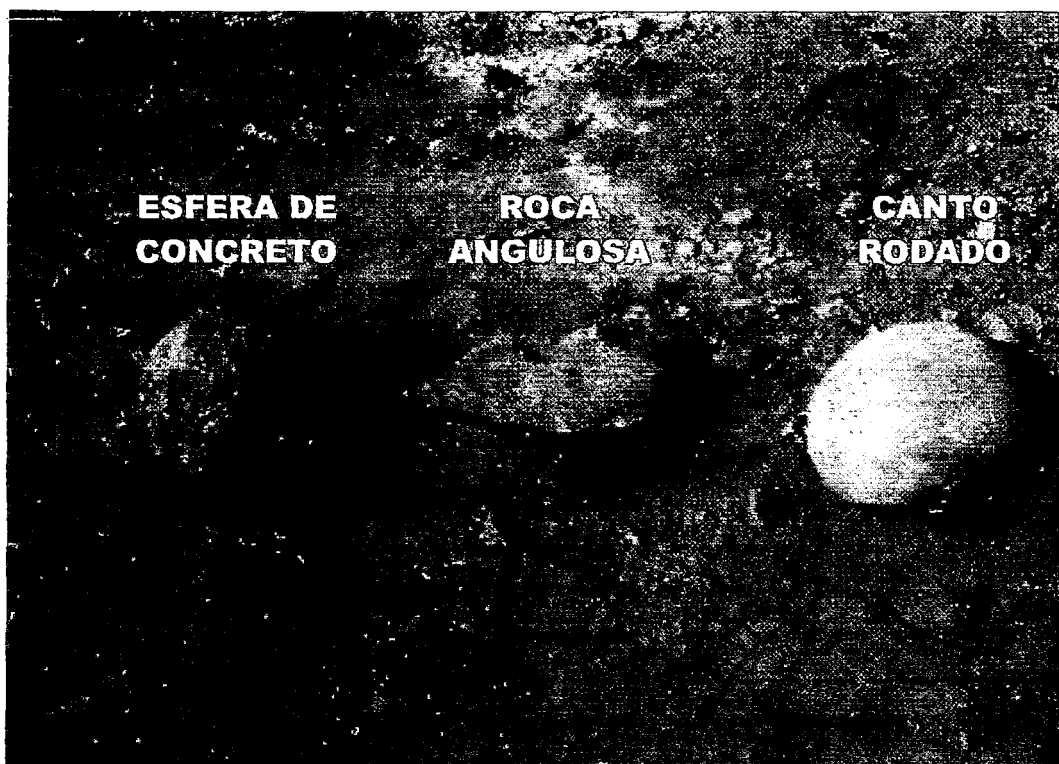


Foto F.2 Impactadores (ensayos preliminares)



F.3 Pruebas de impacto (ensayos preliminares)



Foto F.4 Aplastamiento por impacto (ensayos preliminares)



Foto F.5 Corte por impacto (ensayos preliminares)

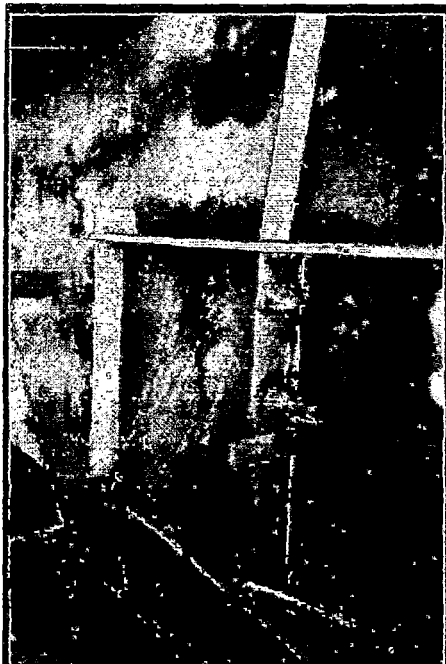


Foto F.6 Base del piso empedrado

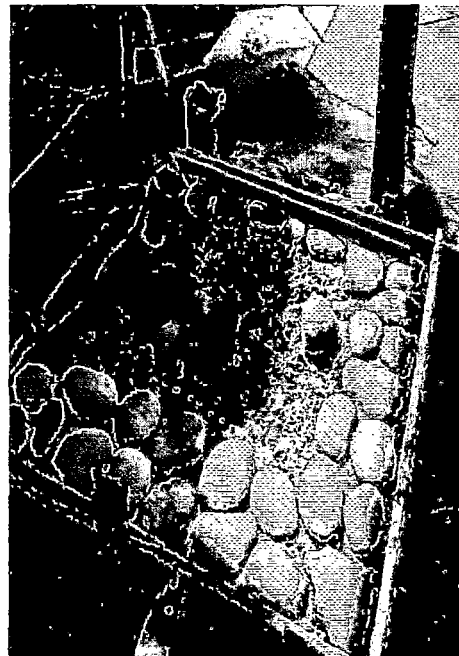


Foto F.7 Colocación de los cantos rodados

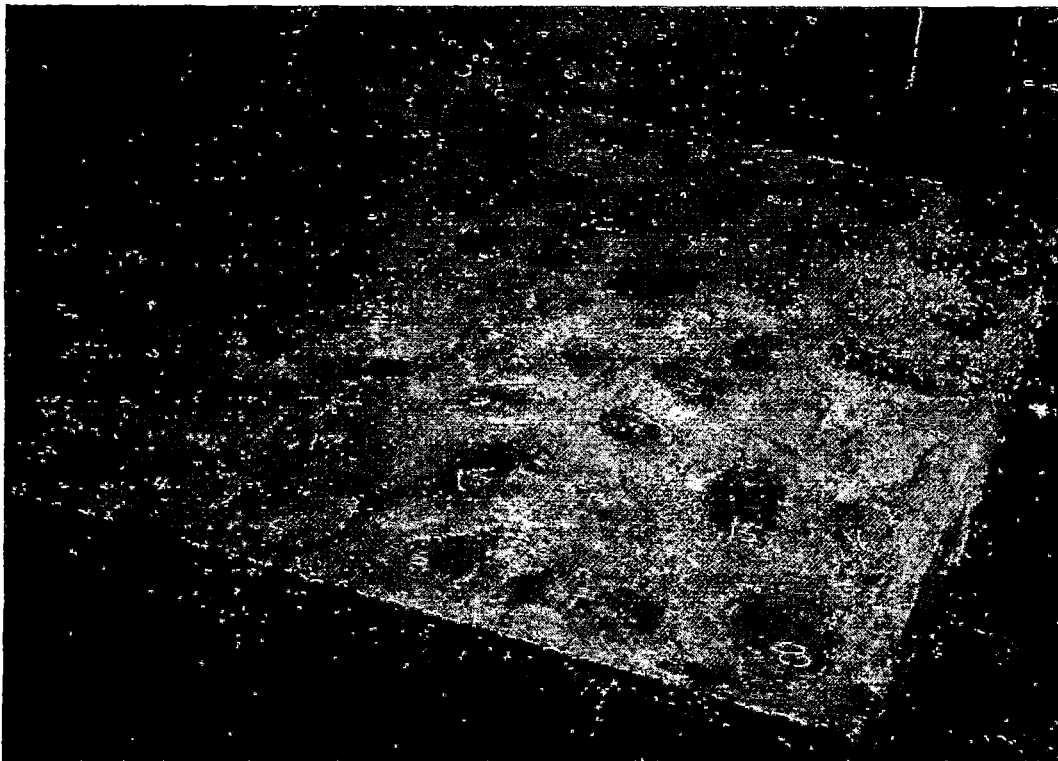


Foto F.8 Piso empedrado terminado e identificado



Foto F.9 Soporte metálico

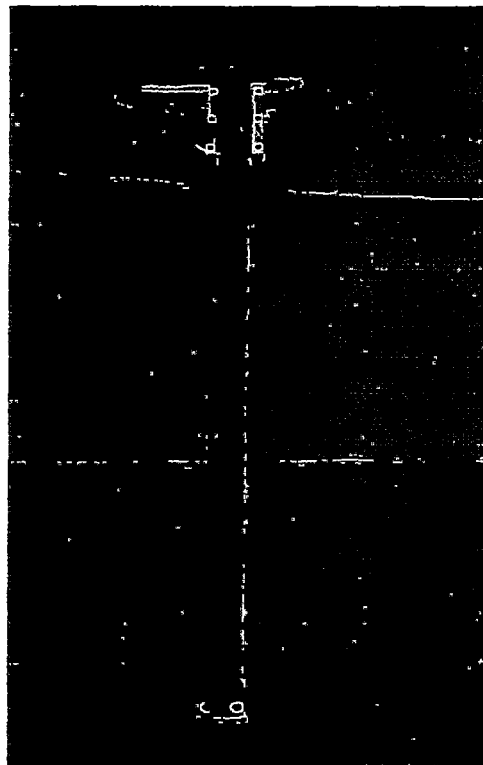


Foto F.10 Cartabón de corredera
(pie de rey)



Foto F.11 Termómetro electrónico



Foto F.12 Balanza electrónica

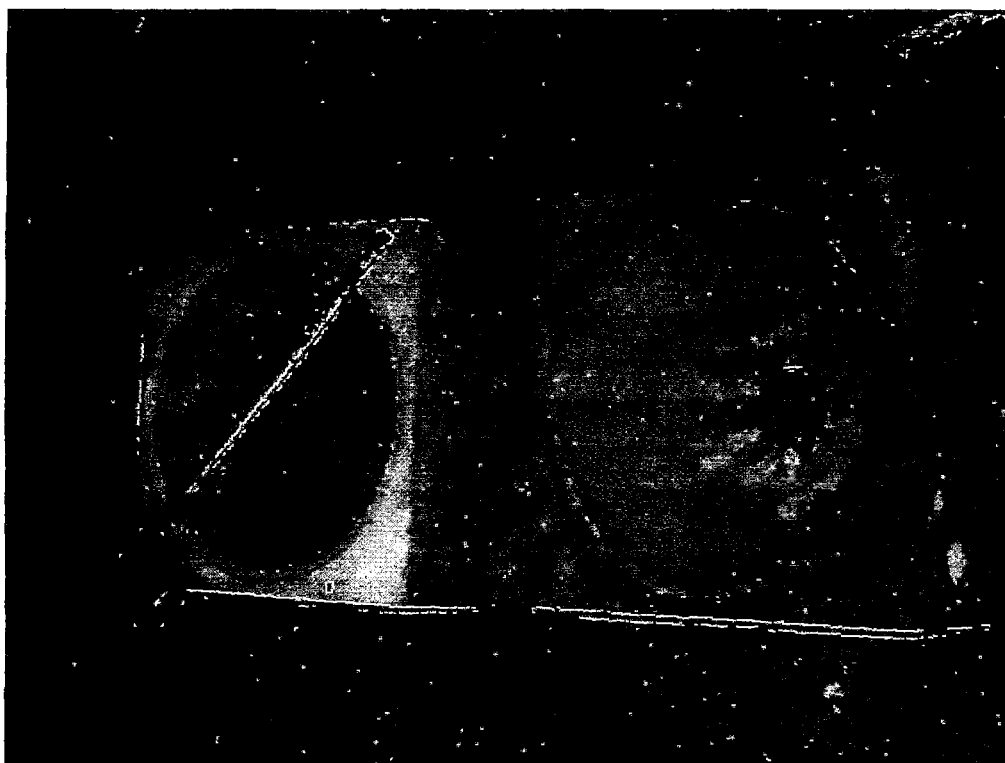


Foto F.13 Molde de los impactadores de concreto

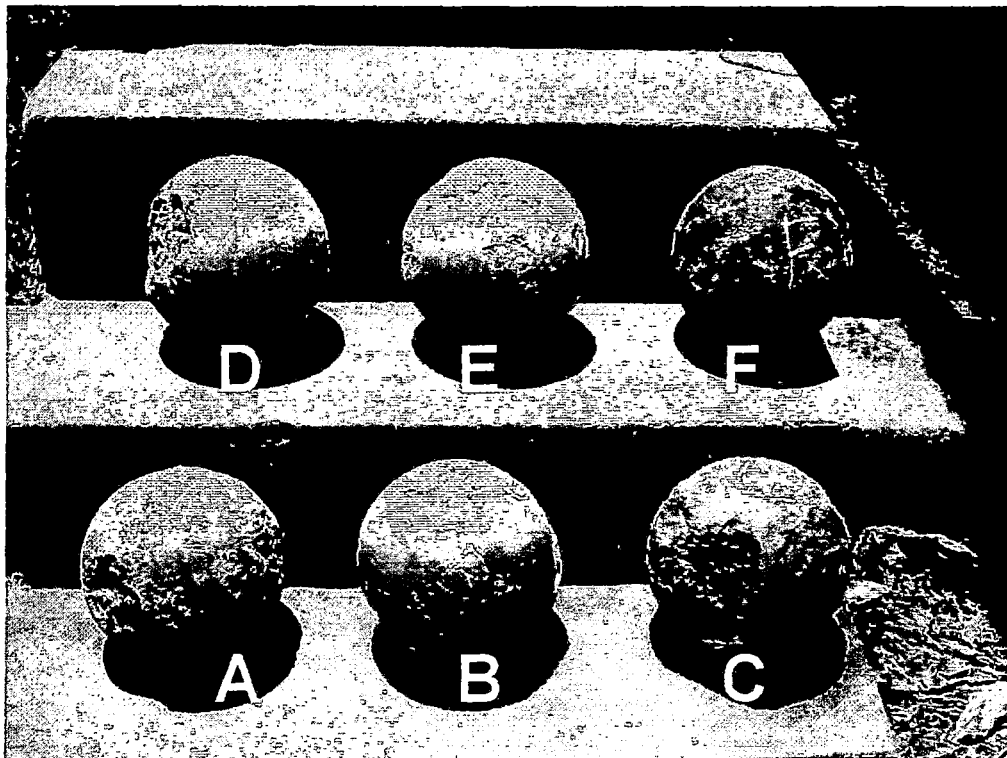


Foto F.14 Impactadores de concreto (A,B,C,D,E y F)

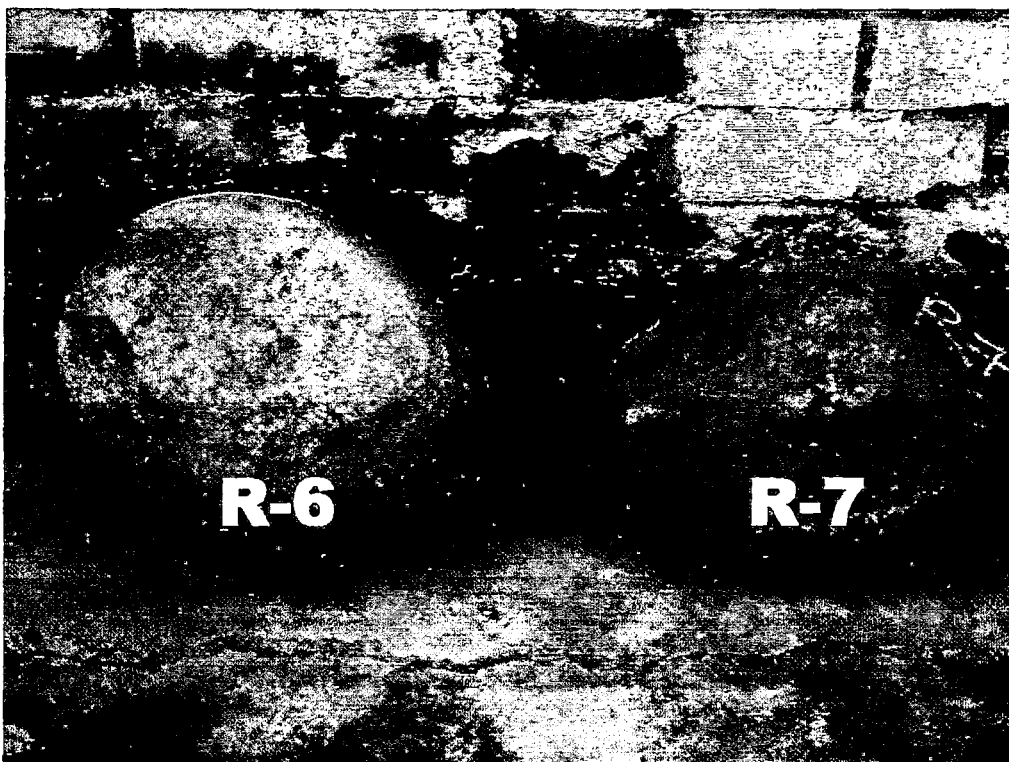


Foto F.15 Impactadores de roca (R-6 y R-7)

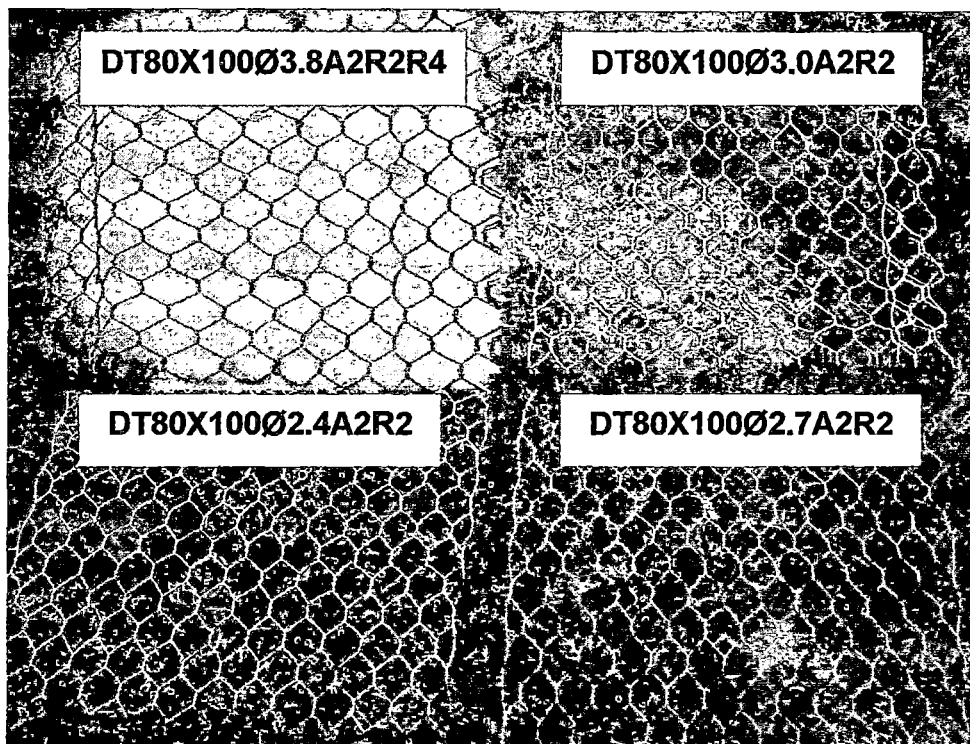


Foto F.16 Paños de la malla de gavión (1x1m)

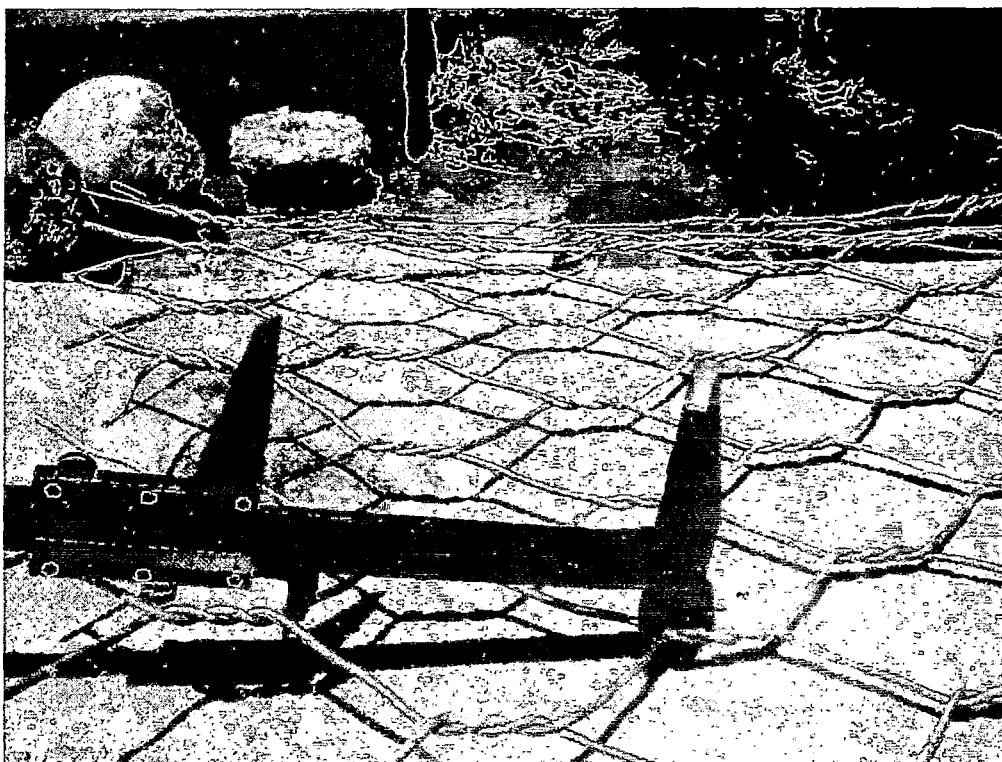


Foto F.17 Medición de la abertura de la malla

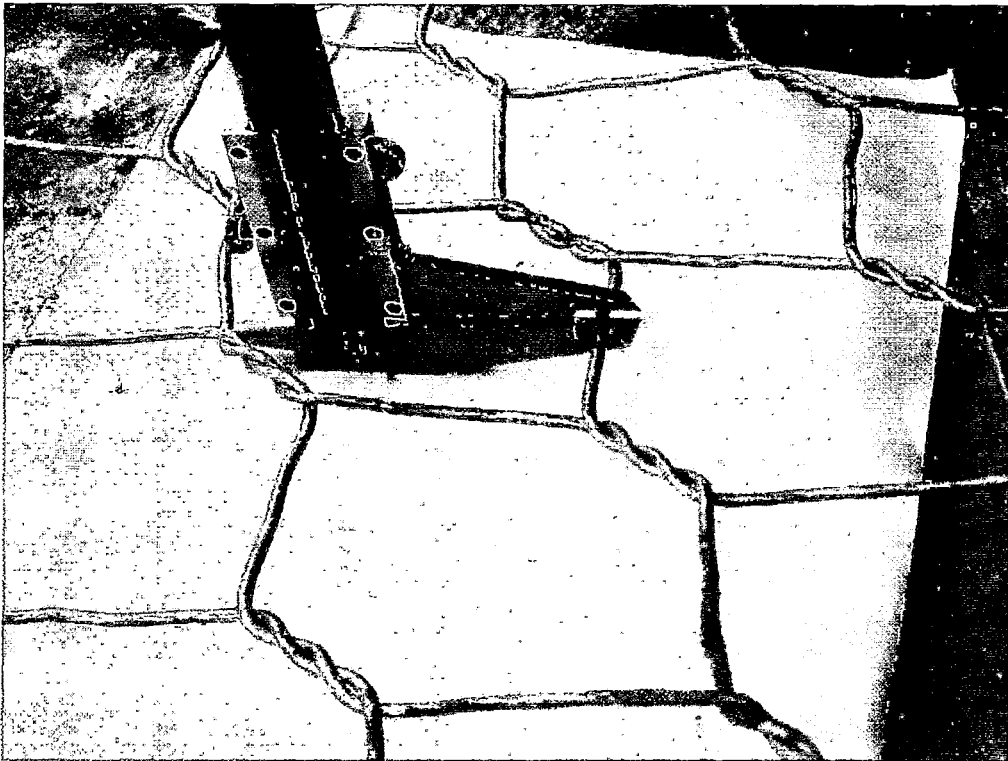


Foto F.18 Medición del diámetro del alambre de la malla



Foto F.19 Medición del alambre de la malla recubierta con PVC

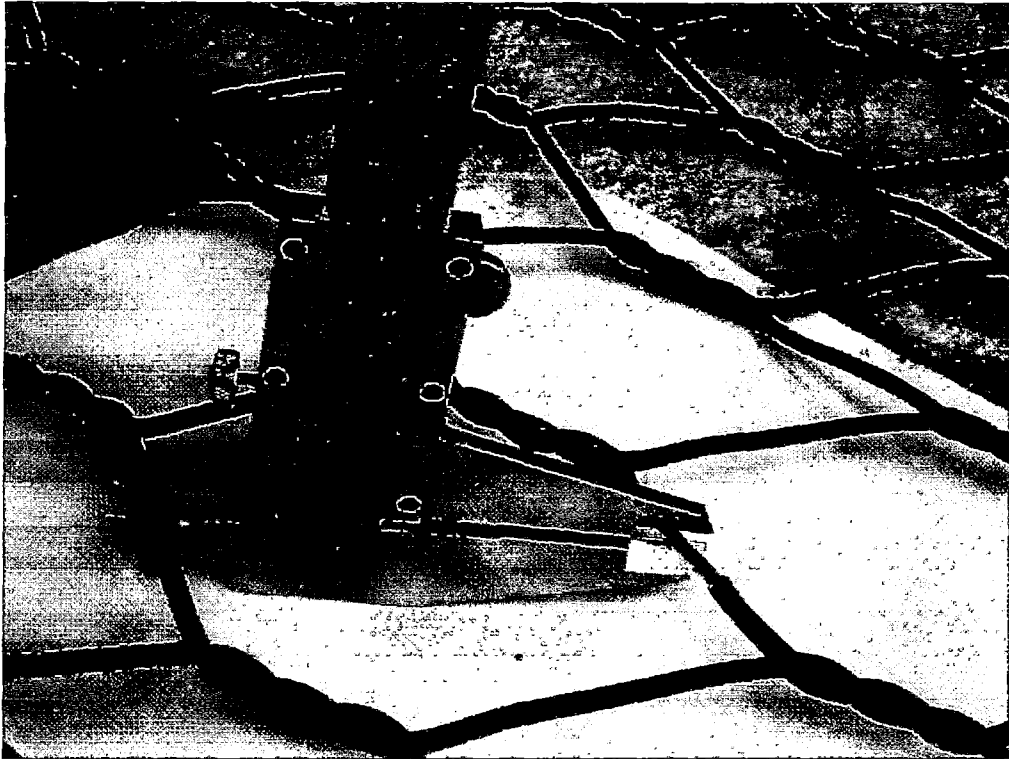


Foto F.20 Medición del alambre de la malla sin PVC



Foto F.21 Ensayo con impactador
de concreto



Foto F.22 Ensayo con impactador
de roca

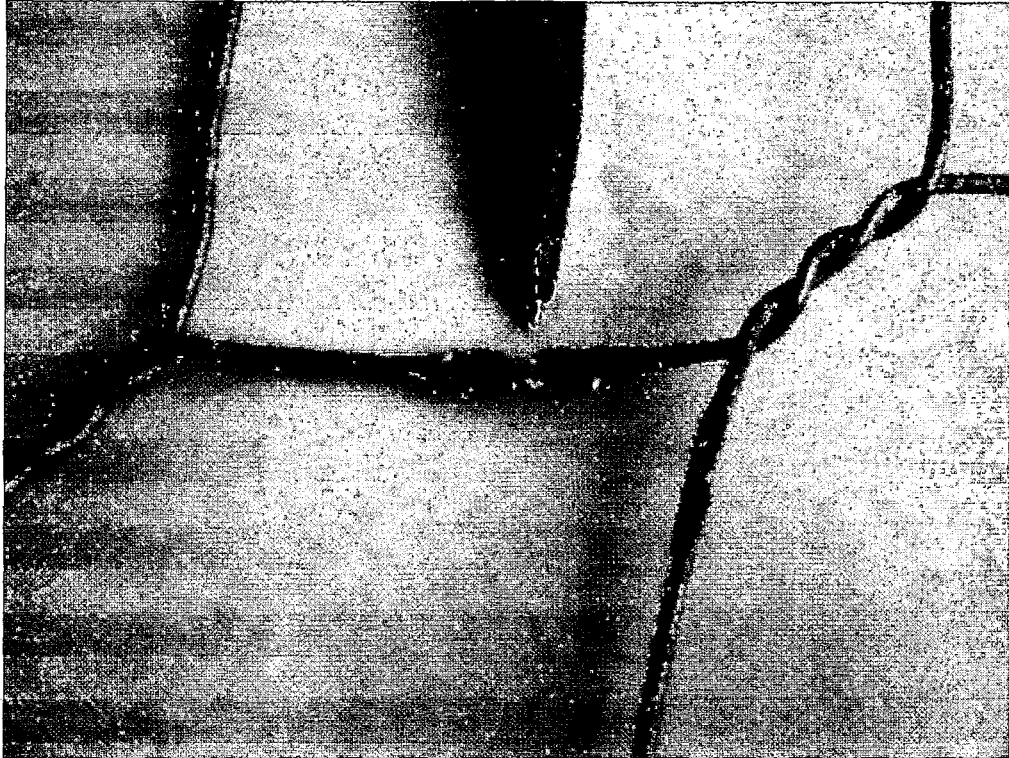


Foto F.23 Deformación en zona 1, malla DT80X100Ø2.4A2R2



Foto F.24 Deformación en zona 1, malla DT80X100Ø2.7A2R2

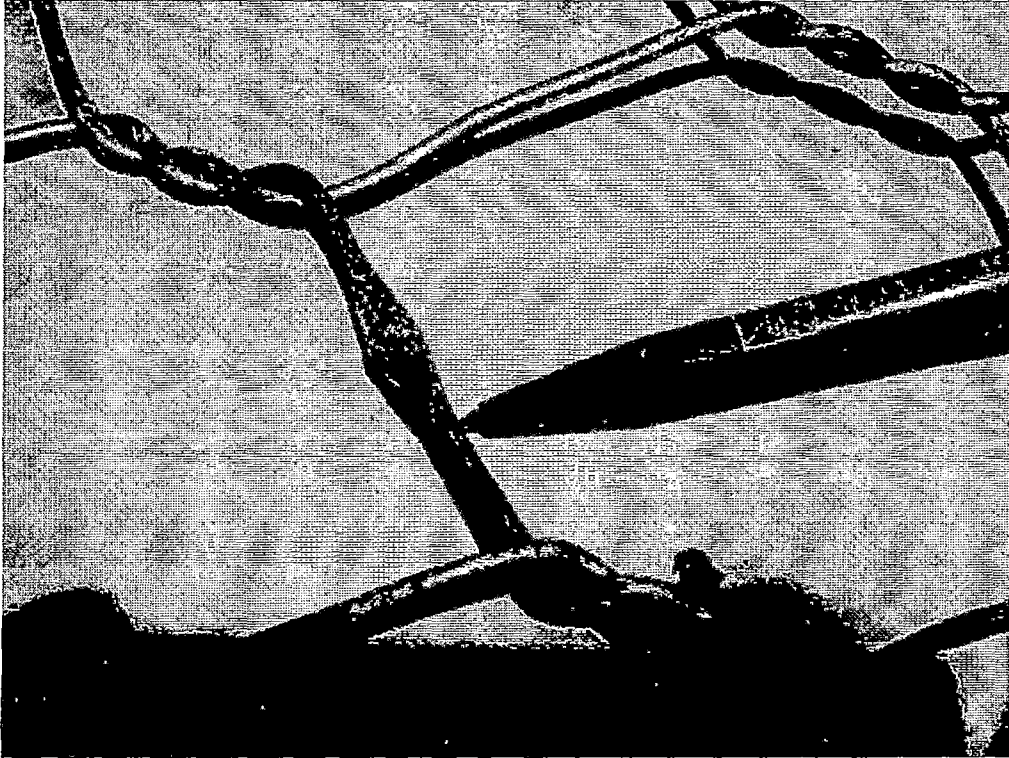


Foto F.25 Deformación en zona 1, malla DT80X100Ø3.0A2R2



Foto F.26 Deformación en zona 1, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4



Foto F.27 Falla en la zona 2, malla DT80X100Ø2.4A2R2



Foto F.28 Falla en la zona 2, malla DT80X100Ø2.7A2R2

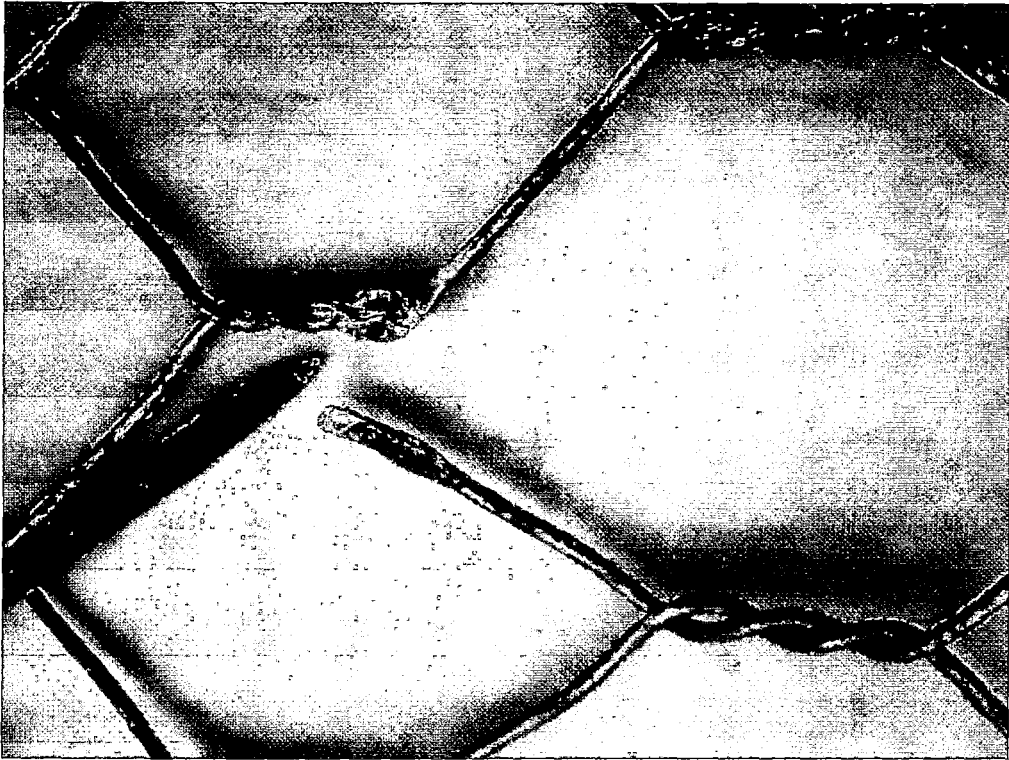


Foto F.29 Falla en la zona 2, malla DT80X100Ø3.0A2R2

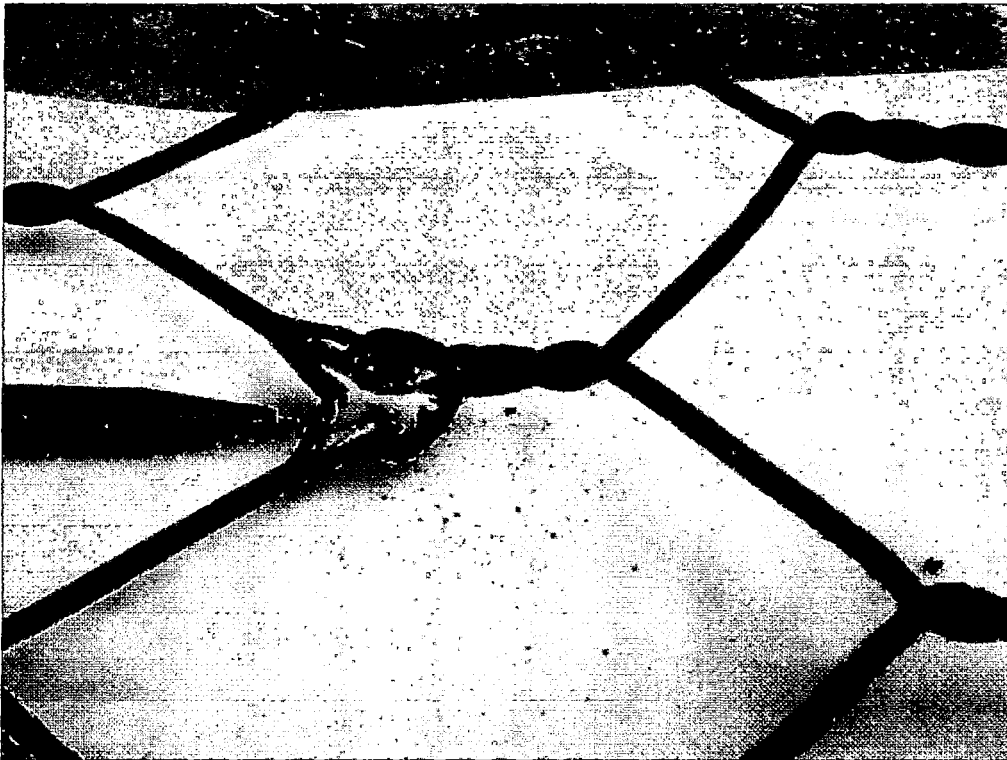


Foto F.30 Falla en la zona 2, malla DT80X100Ø3.8A2R2R4

ANEXO G

HOJAS DE DATOS DE LOS ENSAYOS

Tests: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Cam Valencia Fecha: 12/12/06 Lugar: LNH-UNJ
 Muestra: A Tejido: DT Abertura: 30x30mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.4mm Zona: ZI Hoja: 1/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	33.95	0.22	63	0.30	NR	26.2	29.5	2.40	2.30	Esfera de CEMENTO "A"
2	33.95	0.22	63	0.40	NR	26.2	29.6	2.40	1.90	
3	33.95	0.22	63	0.50	NR	26.2	32.9	2.40	1.60	
4	33.95	0.22	63	0.60	NR	26.2	34.7	2.40	1.50	
5	33.95	0.22	63	0.70	NR	26.3	34.7	2.40	1.35	
6	33.95	0.22	42	0.80	NR	26.3	35.1	2.40	1.25	
7	33.95	0.22	42	0.90	NR	26.3	35.9	2.40	1.30	
8	33.95	0.22	42	1.00	NR	26.3	36.5	2.40	1.15	
9	33.95	0.22	43	1.10	NR	26.3	38.0	2.40	1.10	
10	33.95	0.22	42	1.20	NR	26.3	38.3	2.40	1.05	
11	33.95	0.22	43	1.30	NR	26.3	38.3	2.40	1.05	
12	33.95	0.22	29	1.40	NR	26.3	38.7	2.40	1.05	
13	33.95	0.22	29	1.50	NR	26.3	39.3	2.40	1.05	
14	14.75	0.30	29	0.50	NR	26.3	32.3	2.40	1.60	
15	14.75	0.30	29	0.60	NR	26.3	34.3	2.40	1.30	F 1479
16	14.75	0.30	29	0.70	NR	26.3	34.7	2.40	1.75	F 1499
17	14.75	0.30	63	0.30	NR	26.3	32.9	2.40	1.15	F 1500
18	14.75	0.30	62	0.90	NR	26.3	35.6	2.40	1.15	
DT	Doble Torsión		ES		Electrosoldado					
AI, All	Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3		Ø		Diámetro nominal del alambre					
R1-RIV	Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3		Z1, ZII		Zonas de impacto en la malla de gavión					
NR	No hay ruptura del alambre		R		Si hay ruptura del alambre					

Tests: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Cam Valencia Fecha: 12/12/06 Lugar: LNH-UNJ
 Muestra: A Tejido: DT Abertura: 30x30mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.4mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
19	14.75	0.30	63	1.00	NR	26.3	32.9	2.40	1.15	
20	14.75	0.30	63	1.30	NR	26.3	38.0	2.40	1.15	
21	14.75	0.30	15	1.70	NR	26.3	38.3	2.40	1.15	
22	14.75	0.30	15	1.30	NR	26.3	38.3	2.40	1.10	
23	14.75	0.30	15	1.40	NR	26.3	38.3	2.40	1.05	F 1503
24	14.75	0.30	15	2.50	NR	26.3	38.3	2.40	1.07	
DT	Doble Torsión		ES		Electrosoldado					
AI, All	Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3		Ø		Diámetro nominal del alambre					
R1-RIV	Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3		Z1, ZII		Zonas de impacto en la malla de gavión					
NR	No hay ruptura del alambre		R		Si hay ruptura del alambre					

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Cano Valencia Fecha: 14/12/06 Lugar: RH-014
 Muestra: B Tejido: DT Abertura: 62x100 mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.4mm Zona: ZI Hoja: 1/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	11.85	0.22	29	0.30	NR					Fotografía de la muestra "A"
2	11.85	0.22	29	0.50	NR					
3	11.85	0.22	29	0.50	NR					
4	11.85	0.22	29	0.60	NR					
5	11.85	0.22	29	0.70	NR					
6	11.85	0.22	12	0.30	NR					
7	11.85	0.22	12	0.90	NR					
8	11.85	0.22	12	2.00	NR					
9	11.85	0.22	12	2.50	NR					
10	11.85	0.22	12	3.00	NR					
11	11.85	0.22	12	1.30	NR					
12	11.85	0.22	41	1.30	NR					
13	11.85	0.22	42	1.30	NR					
14	14.75	0.30	43	0.50	NR				Roca RZ	
15	14.75	0.30	43	0.60	NR					
16	14.75	0.30	41	0.70	NR					
17	14.75	0.30	50	0.80	NR					
18	14.75	0.30	50	0.90	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Cano Valencia Fecha: 14/12/06 Lugar: RH-014
 Muestra: C Tejido: DT Abertura: 62x100 mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.4mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
19	14.75	0.30	50	2.00	NR					
20	14.75	0.30	50	1.30	NR					
21	14.75	0.30	12	1.70	NR					
22	14.75	0.30	12	1.30	NR					
23	14.75	0.30	12	1.60	NR					
24	14.75	0.30	12	1.30	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tests: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Carr Valencia Fecha: 19/12/06 Lugar: UNH-UNF
 Muestra: E Tejido: DT Abertura: 60x60mm Acero: AZ
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.4mm Zona: 7I Hoja: 1/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	11.33	0.72	17	0.35	NR					ESFERA DE CONCRETO "A"
2	11.33	0.72	17	0.40	NR					
3	11.33	0.72	17	0.35	NR					
4	11.33	0.72	17	0.60	NR					
5	11.33	0.72	17	0.30	NR					
6	11.33	0.72	63	0.80	NR					
7	11.33	0.72	63	0.90	NR					
8	11.33	0.72	63	1.00	NR					
9	11.33	0.72	63	1.10	NR					
10	11.33	0.72	63	1.20	NR					
11	11.33	0.72	15	1.20	NR					
12	11.33	0.72	15	1.40	NR					
13	11.33	0.72	15	1.50	NR					
14	14.35	0.90	15	0.50	NR					
15	14.35	0.30	30	0.60	NR					
16	14.35	0.30	30	0.30	NR					
17	14.35	0.30	30	0.40	NR					
18	14.35	0.30	30	0.40	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tests: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Carr Valencia Fecha: 19/12/06 Lugar: UNH-UNF
 Muestra: E Tejido: DT Abertura: 60x60mm Acero: AZ
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.4mm Zona: 7I Hoja: 2/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones	
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)		
19	14.35	0.30	15	1.00	NR					ESFERA DE CONCRETO "A"	
20	14.35	0.30	15	1.10	NR						
21	14.35	0.30	15	1.20	NR						
22	14.35	0.30	15	1.30	NR						
23	14.35	0.30	15	1.40	NR						
24	14.35	0.30	15	1.50	NR						

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CARO VALENCIA Fecha: 17/12/06 Lugar: UN-UN
 Muestra: D Tejido: DT Abertura: 80x120mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 7.4mm Zona: ZII Hoja: 1/1

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones	
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)		
1	11.52	0.72	13	0.30	NR	25.7	27.2			Está por la columna 'B'	
2	11.52	0.72	27	0.40	NR	25.7	27.9				
3	11.52	0.72	67	0.50	NR	25.7	28.3				
4	11.52	0.72	65	0.60	NR	25.7	29.5				
5	11.52	0.72	50	0.20	NR	25.7	28.6				
6	11.52	0.72	50	0.30	NR	25.7	29.5				
7	11.52	0.72	50	0.50	NR	25.7	29.7				
8	11.52	0.72	30	1.00	R	25.7	30.3				Se rompió al probar con marcas F0877
9	11.52	0.72	30	0.70	NR	25.7	30.3				
10	11.52	0.72	30	1.00	R	25.5	30.5				F0879
11	11.57	0.72	79	1.20	NR	25.5	29.8				
12	11.52	0.72	79	1.00	NR	25.5	30.3				
13	11.52	0.72	79	1.10	R	25.5	30.8				
14	11.52	0.72	79	1.00	NR	25.5	30.4				
15	11.52	0.72	79	1.10	R	25.5	31.0				
16	11.32	0.72	79	1.00	NR	25.5	31.3				
17	11.52	0.72	41	1.10	NR	25.5	32.7				
18	11.52	0.72	41	1.20	NR	25.5	32.4				
19	11.52	0.72	41	1.20	R	25.5	34.5				

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CARO VALENCIA Fecha: 14/12/06 Lugar: UN-UN
 Muestra: D Tejido: DT Abertura: 80x60mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 7.4mm Zona: ZII Hoja: 1/1

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones	
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)		
1	11.32	0.72	41	0.30	NR					Está por la columna 'B'	
2	11.32	0.72	41	0.40	NR						
3	11.32	0.72	41	0.50	NR						
4	11.32	0.72	41	0.60	NR						
5	11.32	0.72	41	0.70	R						
6	11.32	0.72	41	0.60	NR						
7	11.32	0.72	12	0.70	NR						
8	11.32	0.72	12	0.80	NR						
9	11.32	0.72	12	0.90	NR						
10	11.32	0.72	12	1.00	NR						
11	11.32	0.72	12	1.10	NR						
12	11.32	0.72	12	1.20	NR						
13	11.32	0.72	12	1.30	R						F.085-086 F0877-088
14	11.32	0.72	12	1.20	R						
15	11.32	0.72	12	1.10	NR						
16	11.32	0.72	12	1.20	NR						
17	11.32	0.72	15	1.30	NR						
18	11.32	0.72	15	1.40	NR						
19	11.32	0.72	15	1.50	R						

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Cano Valencia Fecha: 19/12/06 Lugar: LNH-UATE
 Muestra: F Tejido: DT Abertura: 60x60 mm Acero: A7
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.4 mm Zona: ZI Hoja: 3/3

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	11.70	0.72	63	0.30	NR					ESPECIA DE CONCRETO B
2	11.70	0.72	63	0.40	NR					F0943-0942
3	11.70	0.72	63	0.50	NR					F0943
4	11.70	0.72	63	0.60	NR					F0944
5	11.70	0.72	63	0.70	NR					F0931
6	11.70	0.72	63	0.80	R					
7	11.70	0.72	63	0.90	NR					F0933
8	11.70	0.72	63	0.90	R					F0945
9	11.70	0.72	63	0.90	NR					F0956
10	11.70	0.72	41	0.80	NR					
11	11.70	0.72	41	0.80	NR					F0953
12	11.70	0.72	41	1.00	NR					F0954
13	11.70	0.72	41	1.10	R					F0953
14	11.70	0.72	41	1.00	R					F0959
15	11.70	0.72	41	0.90	NR					F0960
16	11.70	0.72	41	1.00	NR					F0961
17	11.70	0.72	41	1.00	R					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Cano Valencia Fecha: 21/12/06 Lugar: LNH-UATE
 Muestra: A Tejido: DT Abertura: 80x100 mm Acero: AZ
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.7 mm Zona: ZI Hoja: 3/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.73	0.72	79	0.30	NR	26.7	30.5	7.70	7.50	ESPECIA DE CONCRETO C
2	12.73	0.72	79	0.40	NR	26.7	30.9	7.70	7.00	
3	12.73	0.72	79	0.50	NR	26.7	31.5	7.70	1.70	
4	12.73	0.72	79	0.60	NR	26.7	32.7	7.70	1.60	
5	12.73	0.72	79	0.70	NR	26.7	32.6	7.70	1.60	
6	12.73	0.72	79	0.80	NR	26.7	33.1	7.70	1.55	
7	12.73	0.72	79	0.90	NR	26.7	33.3	7.70	1.5	
8	12.73	0.72	79	1.00	NR	26.7	34.0	7.70	1.4	
9	12.73	0.72	79	1.10	NR	26.7	34.5	7.70	1.4	
10	12.73	0.72	79	1.20	NR	26.7	35.5	7.70	1.3	
11	12.73	0.72	79	1.30	NR	26.7	36.3	7.70	1.3	
12	12.73	0.72	79	1.40	NR	26.7	37.1	7.70	1.25	
13	12.73	0.72	79	1.50	NR	26.7	38.5	7.70	1.2	
14	14.75	0.70	15	0.30	NR	26.7	31.5	7.70	1.75	ROCA RZ PÉFIDO GRANITO
15	14.75	0.70	15	0.60	NR	26.7	31.9	7.70	1.65	
16	14.75	0.70	15	0.90	NR	26.7	32.6	7.70	1.60	F1518
17	14.75	0.70	15	0.90	NR	26.7	33.7	7.70	1.55	
18	14.75	0.70	15	0.90	NR	26.7	33.8	7.70	1.50	F1519

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEXANDRO CARO VALENCIA Fecha: 23/12/06 Lugar: LATH-UNIV
 Muestra: A Tejido: DT Abertura: 30x100mm Acero: A27
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 7.2mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
19	14.75	0.30	50	1.00	NR	76.7	34.4	7.90	1.40	
20	14.75	0.30	50	1.30	NR	76.2	35.5	7.90	1.40	F1570
21	14.75	0.30	50	1.70	NR	76.7	36.9	7.90	1.40	
22	14.75	0.30	50	1.90	NR	76.2	37.6	7.90	1.25	F1572
23	14.75	0.30	50	1.90	NR	76.2	38.3	7.90	1.20	
24	14.75	0.30	50	2.50	NR	76.2	40.2	7.90	1.10	

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, All Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEXANDRO CARO VALENCIA Fecha: 03/01/07 Lugar: LATH-UNIV
 Muestra: C Tejido: DT Abertura: 50x100mm Acero: A27
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 7.2mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.17	0.72	79	0.30	NR					Esfera de concreto
2	12.17	0.72	79	0.40	NR					
3	12.17	0.72	79	0.50	NR					
4	12.17	0.72	79	0.60	NR					
5	12.17	0.72	79	0.70	NR					
6	12.17	0.72	79	0.80	NR					
7	12.17	0.72	79	0.90	NR					
8	12.17	0.72	79	1.00	NR					
9	12.17	0.72	79	1.10	NR					
10	12.17	0.72	79	1.20	NR					
11	12.17	0.72	79	1.30	NR					
12	12.17	0.72	79	1.40	NR					
13	12.77	0.72	79	1.50	NR					
14	14.75	0.30	79	0.50	NR					Roca "R3" P. Esp. 1000.00
15	14.75	0.30	79	0.60	NR					
16	14.75	0.30	79	0.70	NR					
17	14.75	0.30	79	0.80	NR					
18	14.75	0.30	79	0.90	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, All Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEXANDRO CAMO VALENCIA Fecha: 06/02/07 Lugar: LNA-UNTE
 Muestra: F Tejido: DT Abertura: 80x100mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.7mm Zona: ZI Hoja: 1/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.03	0.72	30	0.30	NR					Escala de resistencia "C"
2	12.03	0.72	30	0.40	NR					
3	12.03	0.72	30	0.50	NR					
4	12.03	0.72	30	0.60	NR					
5	12.03	0.72	30	0.70	NR					
6	12.03	0.72	30	0.80	NR					
7	12.03	0.72	30	0.90	NR					
8	12.03	0.72	17	1.00	NR					
9	12.03	0.72	17	1.10	NR					
10	12.03	0.72	17	1.20	NR					
11	12.03	0.72	17	1.30	NR					
12	12.03	0.72	17	1.40	NR					
13	12.03	0.72	17	1.50	NR					
14	14.75	0.30	12	0.50	NR					
15	14.75	0.30	12	0.60	NR					
16	14.75	0.30	12	0.70	NR					
17	14.75	0.30	63	0.30	NR					
18	14.75	0.30	63	0.40	NR					

Roca "R3" resistencia 7000 kg/cm²

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap 1-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. 1-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEXANDRO CAMO VALENCIA Fecha: 03/02/07 Lugar: LNA-UNTE
 Muestra: C Tejido: DT Abertura: 80x100mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 2.7mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
19	14.75	0.30	63	1.00	NR					
20	14.75	0.30	63	1.10	NR					
21	14.75	0.30	63	1.20	NR					
22	14.75	0.30	12	1.30	NR					
23	14.75	0.30	17	1.40	NR					
24	14.75	0.30	17	1.50	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap 1-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. 1-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tests: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALANCIA Fecha: 06/05/07 Lugar: LNH-VALE
 Muestra: E Tejido: DT Abertura: 80x80mm Acero: AII
 Recubrimiento: RII Diámetro: 2.2mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
70	14.75	0.30	67	1.00	NR					
71	14.75	0.30	67	1.10	NR					
72	14.95	0.30	67	1.20	NR					
73	14.75	0.30	67	1.30	NR					
74	14.95	0.30	67	1.40	NR					
75	14.75	0.30	67	1.50	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tests: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALANCIA Fecha: 27/12/06 Lugar: LNH-VALE
 Muestra: B Tejido: DT Abertura: 80x80mm Acero: AII
 Recubrimiento: RII Diámetro: 2.2mm Zona: ZII Hoja: 2/1

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.19	0.22	29	0.20	NR	76.5	77.9			
2	12.19	0.22	29	0.40	NR	76.5	78.7			
3	12.19	0.22	29	0.50	NR	76.5	78.9			
4	12.19	0.22	29	0.60	NR	76.5	79.5			
5	12.19	0.22	29	0.70	NR	76.5	80.7			
6	12.19	0.22	29	0.80	NR	76.5	82.5			
7	12.19	0.22	29	0.90	NR	76.5	84.7			
8	12.19	0.22	29	1.00	R	76.5	89.8			
9	12.19	0.22	29	0.80	NR	76.5	84.8			
10	12.19	0.22	29	1.00	NR	76.5	84.8			
11	12.19	0.22	12	1.10	NR	76.5	84.7			
12	12.19	0.22	12	1.20	NR	76.5	85.1			
13	12.19	0.22	12	1.30	R	76.5	89.5			
14	12.19	0.22	12	1.40	NR	76.5	84.5			
15	12.19	0.22	12	1.50	NR	76.5	84.5			
16	12.19	0.22	12	1.60	NR	76.5	84.7			
17	12.19	0.22	12	1.70	R	76.5	89.3			
18	12.19	0.22	12	1.80	NR	76.5	84.5			
19	12.19	0.22	12	1.90	NR	76.5	84.5			
20	12.19	0.22	12	2.00	NR	76.5	84.5			

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CARO VALENCIA Fecha: 03/01/07 Lugar: LAM-JAT
 Muestra: D Tejido: DT Abertura: 80x80mm Acero: A21
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 7.7mm Zona: ZZ Hoja: 2/1

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.17	0.77	50	0.50	NR					Estado de concreto "C"
2	12.17	0.77	50	0.50	NR					
3	12.17	0.77	50	0.50	NR					
4	12.17	0.77	50	0.60	NR					
5	12.17	0.77	41	0.70	NR					
6	12.17	0.77	41	0.80	NR					
7	12.17	0.77	41	0.90	R					
8	12.17	0.77	41	0.85	NR					
9	12.17	0.77	41	0.90	R					
10	12.17	0.77	41	0.5	NR					
11	12.17	0.77	41	0.90	NR					
12	12.17	0.77	17	1.00	NR					
13	12.17	0.77	17	1.10	NR					
14	12.17	0.77	17	1.20	NR					
15	12.17	0.77	17	1.30	NR					
16	12.17	0.77	17	1.40	NR					
17	12.17	0.77	17	1.50	NR					

DT Doble Torsión
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3
 NR No hay ruptura del alambre

ES Electrosoldado
 Ø Diámetro nominal del alambre
 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CARO VALENCIA Fecha: 06/01/07 Lugar: LAM-JAT
 Muestra: F Tejido: DT Abertura: 80x80mm Acero: A21
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 7.7mm Zona: ZZ Hoja: 2/1

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.01	0.77	41	0.50	NR					Estado de concreto "C"
2	12.01	0.77	41	0.40	NR					
3	12.01	0.77	41	0.50	NR					
4	12.01	0.77	41	0.60	NR					
5	12.01	0.77	41	0.70	R				F 1324	
6	12.01	0.77	41	0.60	NR					
7	12.01	0.77	41	0.70	NR					
8	12.01	0.77	41	0.70	NR					
9	12.01	0.77	63	0.90	NR					
10	12.01	0.77	63	1.00	NR					
11	12.01	0.77	63	1.10	R				F 1331	
12	12.01	0.77	63	1.20	NR					
13	12.01	0.77	63	1.10	NR					
14	12.01	0.77	63	1.20	R				F 1332	
15	12.01	0.77	63	1.10	R				E 1331-F 1330	
16	12.01	0.77	63	1.00	RIV					
17	12.01	0.77	63	1.10	NR					
18	12.01	0.77	63	1.20	NR					
19	12.01	0.77	63	1.30	R					

DT Doble Torsión
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3
 NR No hay ruptura del alambre

ES Electrosoldado
 Ø Diámetro nominal del alambre
 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALENZUELA Fecha: 22/05/07 Lugar: LA ALBERTA
 Muestra: A Tejido: DT Abertura: 50x120 mm Acero: A72
 Recubrimiento: RTI Diámetro: 3.0 mm Zona: ZI Hoja: 1/1

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
71	14.75	0.30	79	1.00	NR	26.0	35.7	3.00	1.90	/
70	14.75	0.30	79	1.10	NR	26.0	33.7	3.00	2.50	
73	14.75	0.30	79	1.20	NR	26.0	31.7	3.00	2.05	
72	14.75	0.30	79	1.30	NR	26.0	39.5	3.00	1.70	
75	14.75	0.30	79	1.40	NR	26.0	37.1	3.00	1.70	
74	14.75	0.30	79	1.50	NR	26.0	40.2	3.00	1.30	
DT	Doble Torsión					ES		Electrosoldado		
AI, AII	Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3					Ø		Diámetro nominal del alambre		
R1-RIV	Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3					ZI, ZII		Zonas de Impacto en la malla de gavión		
NR	No hay ruptura del alambre					R		Si hay ruptura del alambre		

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALENZUELA Fecha: 22/05/07 Lugar: LA ALBERTA
 Muestra: A Tejido: DT Abertura: 50x120 mm Acero: A72
 Recubrimiento: RTI Diámetro: 3.0 mm Zona: ZI Hoja: 1/1

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.92	0.22	69	0.30	NR	26.0	24.2	3.00	2.70	Efecto de torsión EF
2	12.92	0.22	67	0.40	NR	26.0	30.3	3.00	2.40	
3	12.92	0.32	62	0.50	NR	26.0	30.9	3.00	2.30	F1459
4	12.92	0.22	63	0.60	NR	26.00	31.9	3.00	2.15	E1458
5	12.92	0.22	63	0.70	NR	26.00	32.2	3.00	2.20	
6	12.92	0.22	63	0.80	NR	26.0	32.6	3.00	2.20	F1459
7	12.92	0.22	67	0.90	NR	26.0	32.5	3.00	2.30	
8	12.92	0.22	63	1.00	NR	26.0	37.1	3.00	1.90	F1460
9	12.92	0.22	41	1.10	NR	26.0	37.3	3.00	1.80	
10	12.92	0.22	41	1.20	NR	26.0	37.3	3.00	1.75	F1463
11	12.92	0.22	41	1.30	NR	26.0	37.9	3.00	1.70	
12	12.92	0.22	41	1.40	NR	26.0	35.5	3.00	1.70	F1469
13	12.92	0.22	41	1.50	NR	26.0	39.1	3.00	1.30	
14	14.75	0.30	41	0.50	NR	26.0	30.5	3.00	2.30	Efecto de torsión EF
15	14.75	0.30	41	0.60	NR	26.0	31.2	3.00	2.25	
16	14.75	0.30	41	0.70	NR	26.0	32.2	3.00	2.25	Efecto de torsión EF
17	14.75	0.30	79	0.80	NR	26.0	26.6	3.00	2.35	
18	14.75	0.30	79	0.90	NR	26.0	35.7	3.00	1.9	
DT	Doble Torsión					ES		Electrosoldado		
AI, AII	Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3					Ø		Diámetro nominal del alambre		
R1-RIV	Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3					ZI, ZII		Zonas de Impacto en la malla de gavión		
NR	No hay ruptura del alambre					R		Si hay ruptura del alambre		

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Cano Valencia Fecha: 22/01/07 Lugar: LAH-CNE
 Muestra: C Tejido: DT Abertura: 50x100mm Acero: A2
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 3.0mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.97	0.72	75	0.30	NR					Línea de contacto "F"
2	12.97	0.72	75	0.40	NR					
3	12.97	0.72	75	0.50	NR					
4	12.97	0.72	75	0.60	NR					
5	12.97	0.72	75	0.70	NR					
6	12.97	0.72	75	0.80	NR					
7	12.97	0.72	75	0.90	NR					
8	12.97	0.72	41	1.00	NR					
9	12.97	0.72	41	1.10	NR					
10	12.97	0.72	41	1.20	NR					
11	12.97	0.72	41	1.30	NR					
12	12.97	0.72	41	1.40	NR					
13	12.97	0.72	41	1.50	NR					
14	14.35	0.72	41	0.30	NR					
15	14.35	0.72	41	0.60	NR					
16	14.35	0.72	61	0.70	NR					
17	14.35	0.72	63	0.80	NR					
18	14.35	0.72	65	0.90	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 A1, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 Z1, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexandro Cano Valencia Fecha: 22/01/07 Lugar: LAH-CNE
 Muestra: C Tejido: DT Abertura: 50x100mm Acero: A2
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 3.0mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones	
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)		
19	14.35	0.72	67	0.30	NR					Línea de contacto "F"	
20	14.35	0.72	67	1.10	NR						
21	14.35	0.72	50	1.20	NR						
22	14.35	0.72	50	1.30	NR						
23	14.35	0.72	70	1.40	NR						
24	14.35	0.72	50	1.50	NR						

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 A1, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 Z1, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEXANDRO CAMO VALENZUELA Fecha: 23/01/07 Lugar: LAM
 Muestra: E Tejido: DT Abertura: 6x10mm Acero: A7
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 3.0mm Zona: 7Z Hoja: 3/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.84	0.72	17	0.30	NR					
2	12.84	0.72	17	0.30	NR					
3	12.84	0.72	17	0.30	NR					
4	12.84	0.72	17	0.30	NR					
5	12.84	0.72	17	0.30	NR					
6	12.84	0.72	17	0.30	NR					
7	12.84	0.72	17	0.30	NR					
8	12.84	0.72	17	0.30	NR					
9	12.84	0.72	17	0.30	NR					
10	12.84	0.72	17	0.30	NR					
11	12.84	0.72	17	0.30	NR					
12	12.84	0.72	17	0.30	NR					
13	12.84	0.72	17	0.30	NR					
14	14.35	0.30	41	0.50	NR					
15	14.35	0.30	41	0.60	NR					
16	14.35	0.30	74	0.30	NR					
17	14.35	0.30	74	0.30	NR					
18	14.35	0.30	74	0.30	NR					

DT Doble Torsión ES Electro-soldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEXANDRO CAMO VALENZUELA Fecha: 23/01/07 Lugar: LAM-CAT
 Muestra: E Tejido: DT Abertura: 6x10mm Acero: A7
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 3.0mm Zona: 7Z Hoja: 1/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
19	14.35	0.30	74	1.00	NR					
20	14.35	0.30	74	1.10	NR					
21	14.35	0.30	74	1.20	NR					
22	14.35	0.30	74	1.30	NR					
23	14.35	0.30	74	1.40	NR					
24	14.35	0.30	74	1.50	NR					

DT Doble Torsión ES Electro-soldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexander Camo Valencia Fecha: 22/01/07 Lugar: LAP-UNF
 Muestra: B Tejido: DT Abertura: 60x60mm Acero: AZ
 Recubrimiento: AZ Diámetro: 3.0mm Zona: ZII Hoja: 2/3

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.99	0.72	41	0.90	NR	75.5	77.2			ESFERA DE COMERCIO 'E'
2	12.99	0.72	41	0.90	NR	75.3	77.9			
3	12.99	0.72	41	0.90	NR	75.3	78.3			
4	12.99	0.72	41	0.60	NR	75.3	78.3			
5	12.99	0.72	41	0.90	NR	75.3	79.5			
6	12.99	0.72	41	0.60	NR	75.3	79.7			
7	12.99	0.72	41	0.90	NR	75.3	79.7			
8	12.99	0.72	41	1.00	NR	75.3	79.7			
9	12.99	0.72	41	1.10	NR	75.8	79.7			
10	12.99	0.72	41	1.20	NR	75.3	79.7			
11	12.99	0.72	41	1.30	NR	75.3	79.7			
12	12.99	0.72	41	1.40	NR	75.3	79.7			
13	12.99	0.72	74	1.50	NR	75.3	79.7			
14	14.75	0.30	73	0.50	NR	75.6	79.7			
15	14.75	0.30	73	0.60	NR	75.6	79.7			
16	14.75	0.30	73	0.70	NR	75.6	79.7			
17	14.75	0.30	73	0.80	NR	75.6	79.7			
18	14.75	0.30	73	0.90	NR	75.6	79.7			

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexander Camo Valencia Fecha: 22/01/07 Lugar: LAP-UNF
 Muestra: B Tejido: DT Abertura: 60x60mm Acero: AZ
 Recubrimiento: AZ Diámetro: 3.00mm Zona: ZII Hoja: 2/3

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
19	14.75	0.30	73	1.00	NR	75.6	79.7			ESFERA DE COMERCIO 'E'
20	14.75	0.30	73	1.10	NR	75.6	79.7			
21	14.75	0.30	73	1.20	NR	75.6	79.7			
22	14.75	0.30	73	1.30	NR	75.6	79.7			
23	14.75	0.30	73	1.40	NR	75.6	79.7			
24	14.75	0.30	15	1.50	NR	75.6	79.7			
25	16.75	0.20	15	0.50	NR	75.6	79.7			
26	16.75	0.20	15	0.60	NR	75.6	79.7			
27	16.75	0.20	15	0.70	NR	75.6	79.7			
28	16.75	0.20	15	0.80	NR	75.6	79.7			
29	16.75	0.20	15	0.90	NR	75.6	79.7			
30	16.75	0.20	15	1.00	NR	75.6	79.7			
31	16.75	0.20	67	1.10	NR	75.6	79.7			
32	16.75	0.20	67	1.20	NR	75.6	79.7			
33	16.75	0.20	67	1.30	R	75.6	79.7		F1467	
34	16.75	0.20	63	1.40	NR	75.6	79.7			
35	16.75	0.20	63	1.50	R	75.6	79.7		F1465	
36	16.75	0.20	63	1.60	NR	75.6	79.7			

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Prueba: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVION AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALANCIA Fecha: 22/03/07 Lugar: LAH-017
 Muestra: D Tejido: DT Abertura: 80x100 mm Acero: AII
 Recubrimiento: RII Diámetro: 3.0 mm Zona: ZII Hoja: 3/3

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
27	16.25	0.28	62	1.30	RII	25.6	40.2			
28	16.25	0.28	62	1.40	RII	25.6	40.8			
29	16.25	0.28	63	1.50	RII	25.6	41.5			

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap 1-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. 1-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Prueba: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVION AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALANCIA Fecha: 22/03/07 Lugar: LAH-017
 Muestra: D Tejido: DT Abertura: 80x100 mm Acero: AII
 Recubrimiento: RII Diámetro: 3.0 mm Zona: ZII Hoja: 3/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.99	0.22	50	0.20	NR					
2	12.99	0.22	50	0.40	NR					
3	12.99	0.22	50	0.50	NR					
4	12.99	0.22	50	0.6	NR					
5	12.99	0.22	50	0.70	NR					
6	12.99	0.22	50	0.8	NR					
7	12.99	0.22	50	0.90	NR					
8	12.99	0.22	50	1.00	NR					
9	12.99	0.22	50	1.10	NR					
10	12.99	0.22	79	1.20	NR					
11	12.99	0.22	79	1.30	NR					
12	12.99	0.22	79	1.40	NR					
13	12.99	0.22	79	1.50	NR					
14	14.25	0.20	79	0.50	NR					
15	14.25	0.20	79	0.60	NR					
16	14.25	0.20	79	0.70	NR					
17	14.25	0.20	79	0.80	NR					
18	14.25	0.20	79	0.90	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap 1-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. 1-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CARO VALANCIA Fecha: 22/10/07 Lugar: LAVH-UNIV
 Muestra: D Tejido: DT Abertura: 50x50mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 3.00mm Zona: ZII Hoja: 2/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
19	14.75	0.32	14	0.00	NR					
20	14.75	0.32	14	1.10	NR					
21	14.75	0.32	15	1.20	NR					
22	14.75	0.32	15	1.30	NR					
23	14.75	0.32	15	1.40	NR					
24	14.75	0.32	15	1.50	NR					
25	16.75	0.73	15	0.50	NR					
26	16.75	0.73	15	0.60	NR					Nota "R6" Granito
27	16.75	0.73	15	0.70	NR					
28	16.75	0.73	15	0.80	NR					
29	16.75	0.73	63	0.90	NR					
30	16.75	0.73	63	1.00	NR					
31	16.75	0.73	63	1.10	R					F1466
32	16.75	0.73	63	1.20	R/R					
33	16.75	0.73	63	1.10	NR					
34	16.75	0.73	63	1.20	NR					
35	16.75	0.73	63	1.30	NR					
36	16.75	0.73	63	1.40	NR					
37	16.75	0.73	63	1.50	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CARO VALANCIA Fecha: 22/10/07 Lugar: LAVH-UNIV
 Muestra: F Tejido: DT Abertura: 50x50mm Acero: AII
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 3.00mm Zona: ZII Hoja: 1/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.75	0.72	17	0.30	NR					
2	12.75	0.72	17	0.40	NR					
3	12.75	0.72	17	0.50	NR					
4	12.75	0.72	17	0.60	NR					
5	12.75	0.72	17	0.70	NR					
6	12.75	0.72	17	0.80	NR					
7	12.75	0.72	17	0.90	NR					
8	12.75	0.72	17	1.00	NR					
9	12.75	0.72	50	1.10	NR					
10	12.75	0.72	50	1.20	NR					
11	12.75	0.72	30	1.30	NR					
12	12.75	0.72	50	1.40	NR					
13	12.75	0.72	30	1.50	NR					
14	14.75	0.32	56	0.60	NR					
15	14.75	0.32	50	0.60	NR					
16	14.75	0.32	50	0.70	NR					
17	14.75	0.32	50	0.80	NR					
18	14.75	0.32	79	0.90	NR					
19	14.75	0.32	79	1.00	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEXANDRO CAMO VALENCIA Fecha: 23/03/27 Lugar: LIMA
 Muestra: F Tejido: DT Abertura: 60x60 mm Acero: A1
 Recubrimiento: RZ Diámetro: 3.02 mm Zona: ZI Hoja: 3/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
20	14.75	0.20	79	1.10	R					F 1400
21	14.75	0.20	79	1.00	NR					
22	14.75	0.20	79	1.10	NR					
23	14.75	0.20	79	1.70	R					F 1400
24	14.75	0.20	79	1.10	NR					
25	14.75	0.20	79	1.70	NR					
26	14.75	0.20	79	1.90	NR					
27	14.75	0.20	79	1.40	NR					
28	14.75	0.20	79	1.50	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 A1, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEXANDRO CAMO VALENCIA Fecha: 23/03/27 Lugar: LIMA
 Muestra: A Tejido: DT Abertura: 50x50 mm Acero: A1
 Recubrimiento: RZ y RIV Diámetro: 3.8 mm Zona: ZI Hoja: 3/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.34	0.77	15	0.30	NR	27.1	30.3	3.20	1.30	F 1500
2	12.34	0.77	15	0.40	NR	27.1	34.7	3.20	1.30	F 1500
3	12.34	0.77	15	0.50	NR	27.1	34.9	3.20	1.30	F 1500
4	12.34	0.77	15	0.60	NR	27.1	35.1	3.20	1.30	F 1500
5	12.34	0.77	15	0.70	NR	27.1	35.8	3.20	1.30	F 1500
6	12.34	0.77	15	0.80	NR	27.1	36.0	3.20	1.30	F 1500
7	12.34	0.77	15	0.90	NR	27.1	36.3	3.20	1.30	F 1500
8	12.34	0.77	15	1.00	NR	27.1	36.5	3.20	1.30	F 1500
9	12.34	0.77	15	1.10	NR	27.1	36.4	3.20	1.30	F 1500
10	12.34	0.77	15	1.20	NR	27.1	37.6	3.20	1.30	F 1500
11	12.34	0.77	15	1.30	NR	27.1	40.3	3.20	1.30	F 1500
12	12.34	0.77	15	1.40	NR	27.1	40.3	3.20	1.30	F 1500
13	12.34	0.77	30	1.50	NR	27.1	40.6	3.20	1.40	F 1500
14	14.75	0.20	50	0.50	NR	27.1	36.5	3.20	1.30	F 1500
15	14.75	0.20	30	0.60	NR	27.1	38.3	3.20	1.30	F 1500
16	14.75	0.20	50	0.70	NR	27.1	37.3	3.20	1.30	F 1500
17	14.75	0.20	30	0.80	NR	27.1	35.7	3.20	1.30	F 1500
18	14.75	0.20	17	0.90	NR	27.1	36.6	3.20	1.30	F 1500
19	14.75	0.20	17	1.00	NR	27.1	38.3	3.20	1.30	F 1500

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 A1, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

$d_{av} = 3.8 - 3.7 = 0.1 mm$

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALENCIA Fecha: 23/03/07 Lugar: CAH-WAT
 Muestra: A Tejido: DT Abertura: 80x60 mm Acero: AII
 Recubrimiento: RII y RIV Diámetro: 3.8 mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
70	14.75	0.30	17	1.50	NR	27.1	35.7	3.70	1.50	/
71	14.75	0.30	17	1.70	NR	27.1	35.7	3.70	1.70	
72	14.75	0.30	17	1.20	NR	27.1	35.7	3.70	1.25	
73	14.75	0.30	17	1.40	NR	27.1	35.7	3.70	1.30	
74	14.75	0.30	17	1.50	NR	27.1	35.7	3.70	1.70	

DT Doble Torsión
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3
 NR No hay ruptura del alambre

ES Electrosoldado
 Ø Diámetro nominal del alambre
 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALENCIA Fecha: 24/03/07 Lugar: CAH-WAT
 Muestra: C Tejido: DT Abertura: 80x60 mm Acero: AII
 Recubrimiento: RII y RIV Diámetro: 3.8 mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.75	0.22	50	0.30	NR	/			EQUIPO DE CONTROL DE CALIDAD	
2	12.75	0.22	50	0.40	NR					
3	12.75	0.22	50	0.50	NR					
4	12.75	0.22	50	0.60	NR					
5	11.75	0.22	50	0.30	NR					
6	11.75	0.22	50	0.30	NR					
7	12.75	0.22	50	0.30	NR					
8	12.75	0.22	50	1.00	NR					
9	11.75	0.22	50	1.10	NR					
10	12.75	0.22	79	1.20	NR					
11	12.75	0.22	79	1.30	NR					
12	12.75	0.22	79	1.40	NR					
13	12.75	0.22	79	1.50	NR					
14	14.75	0.30	79	0.50	NR					ROCA 179 PIEDRA GRANITICA
15	14.75	0.30	79	0.60	NR					
16	14.75	0.30	79	0.70	NR					
17	14.75	0.30	79	0.80	NR					
18	14.75	0.30	79	0.90	NR					

DT Doble Torsión
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3
 NR No hay ruptura del alambre

ES Electrosoldado
 Ø Diámetro nominal del alambre
 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexander Camo Valencia Fecha: 24/1/07 Lugar: W-127
 Muestra: C Tejido: DT Abertura: 30x30 mm Acero: A71
 Recubrimiento: R1 y RIV Diámetro: 3.8 mm Zona: ZI Hoja: 1/1

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	∅ Inicial (mm)	∅ Final (mm)	
20	14.75	0.35	41	1.10	NR					
21	14.75	0.35	41	1.22	NR					
22	14.75	0.35	41	1.30	NR					
23	14.75	0.35	41	1.42	NR					
24	14.75	0.35	41	1.50	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 Al, All Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: Alexander Camo Valencia Fecha: 24/1/07 Lugar: W-127
 Muestra: E Tejido: DT Abertura: 30x30 mm Acero: A71
 Recubrimiento: R1 y RIV Diámetro: 3.8 mm Zona: ZI Hoja: 3/1

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	∅ Inicial (mm)	∅ Final (mm)	
1	17.75	0.72	12	0.30	NR					
2	17.75	0.72	17	0.40	NR					
3	17.75	0.72	17	0.50	NR					
4	17.75	0.72	17	0.60	NR					
5	17.75	0.72	17	0.70	NR					
6	17.75	0.72	17	0.80	NR					
7	17.75	0.72	17	0.90	NR					
8	17.75	0.72	41	1.00	NR					
9	17.75	0.72	41	1.10	NR					
10	17.75	0.72	41	1.20	NR					
11	17.75	0.72	41	1.30	NR					
12	17.75	0.72	41	1.40	NR					
13	17.75	0.72	41	1.50	NR					
14	14.75	0.50	41	0.50	NR					
15	14.75	0.50	41	0.60	NR					
16	14.75	0.50	19	0.70	NR					
17	14.75	0.50	70	0.80	NR					
18	14.75	0.50	70	0.90	NR					
19	14.75	0.50	74	1.00	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 Al, All Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CARO VALENCIA Fecha: 24/03/07 Lugar: UNH-UNIV
 Muestra: E Tejido: DT Abertura: 80x100mm Acero: A77
 Recubrimiento: R1 y R2 Diámetro: 3.8mm Zona: ZI Hoja: 2/2

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
20	14.35	0.30	15	1.00	NR					
21	14.35	0.30	15	1.20	NR					
22	14.35	0.30	15	1.30	NR					
23	14.35	0.30	15	1.40	NR					
24	14.35	0.30	15	1.50	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 A1, AII Clasificación de acero según el cap 1-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. 1-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVIÓN AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CARO VALENCIA Fecha: 23/03/07 Lugar: UNH-UNIV
 Muestra: B Tejido: DT Abertura: 80x100mm Acero: A77
 Recubrimiento: R1 y R2 Diámetro: 3.8mm Zona: ZII Hoja: 1/1

Prueba N°	Impactador		Roca Base	Alt. de calda ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.84	0.22	12	0.50	NR	26.9	32.4			ESFERA DE 100MM DE Ø
2	12.84	0.22	12	0.60	NR	26.9	32.9			F 1454
3	12.84	0.22	12	0.60	NR	26.9	32.3			F 1455
4	12.84	0.22	12	0.60	NR	26.9	32.3			F 1456
5	12.84	0.22	12	0.60	NR	26.9	34.2			F 1457
6	12.84	0.22	12	0.60	NR	26.9	35.7			F 1458
7	12.84	0.22	12	0.60	NR	26.9	35.9			F 1459
8	12.84	0.22	12	0.60	NR	26.9	36.9			F 1460
9	12.84	0.22	12	0.60	NR	26.9	36.5			F 1461
10	12.84	0.22	30	1.20	NR	26.9	36.2			F 1462
11	12.84	0.22	30	1.30	NR	26.9	37.2			
12	12.84	0.22	30	1.40	R	26.9	32.6			F 1463
13	12.84	0.22	30	1.30	NR	26.9	37.9			
14	12.84	0.22	30	1.40	R	26.9	35.0			F 1464
15	12.84	0.22	30	1.50	NR	26.9	37.7			
16	12.84	0.22	30	1.60	NR	26.9	38.8			
17	22.84	0.22	30	1.50	NR	26.9	39.5			

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 A1, AII Clasificación de acero según el cap 1-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. 1-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVION AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALENZUELA Fecha: 24/1/2017 Lugar: LAH-INT
 Muestra: D Tejido: DT Abertura: 80 x 100 mm Acero: A32
 Recubrimiento: RTI y RTII Diámetro: 3.8 mm Zona: 7 II Hoja: 1/1

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.35	0.77	79	0.50	NR					
2	12.35	0.77	79	0.50	NR					
3	12.35	0.77	79	0.50	NR					
4	12.35	0.77	79	0.60	NR					
5	12.35	0.77	77	0.70	NR					
6	12.35	0.77	79	0.80	NR					
7	12.35	0.77	79	0.90	NR					
8	12.35	0.77	79	1.00	NR					
9	12.35	0.77	79	1.10	NR					
10	12.35	0.77	77	1.20	NR					
11	12.35	0.77	77	1.30	R					F 1505
12	12.35	0.77	77	1.40	NR					
13	12.35	0.77	77	1.50	NR					
14	12.35	0.77	77	1.60	NR					
15	12.35	0.77	77	1.70	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

$\phi_{PVC} = 3.8 - 2.7 = 1.1 \text{ mm}$

Tesis: RESISTENCIA DE LA MALLA DE GAVION AL APLASTAMIENTO POR IMPACTO

Responsable: ALEJANDRO CAMO VALENZUELA Fecha: 24/1/2017 Lugar: LAH-INT
 Muestra: F Tejido: DT Abertura: 80 x 100 mm Acero: A32
 Recubrimiento: RTI y RTII Diámetro: 3.8 mm Zona: 7 II Hoja: 1/1

Prueba Nº	Impactador		Roca Base	Alt. de caída ref. H (m)	Condición	Temperatura		Deformación		Observaciones
	Peso (Kg)	Diámetro (m)				Inicial (°C)	Final (°C)	Ø Inicial (mm)	Ø Final (mm)	
1	12.35	0.77	79	0.50	NR					
2	12.35	0.77	79	0.50	NR					
3	12.35	0.77	79	0.50	NR					
4	12.35	0.77	79	0.60	NR					
5	12.35	0.77	77	0.70	NR					
6	12.35	0.77	79	0.80	NR					
7	12.35	0.77	67	0.90	NR					
8	12.35	0.77	63	1.00	R					F 1523
9	12.35	0.77	63	0.90	R					F 1524
10	12.35	0.77	63	0.80	R					F 1525
11	12.35	0.77	63	0.70	NR					
12	12.35	0.77	67	0.80	R					F 1526
13	12.35	0.77	63	0.70	R					
14	12.35	0.77	63	0.60	NR					
15	12.35	0.77	63	0.50	NR					

DT Doble Torsión ES Electrosoldado
 AI, AII Clasificación de acero según el cap I-1.1.4.3 Ø Diámetro nominal del alambre
 R1-RIV Clasificación de recubrimientos según el cap. I-1.1.4.3 ZI, ZII Zonas de impacto en la malla de gavión
 NR No hay ruptura del alambre R Si hay ruptura del alambre

$\phi_{PVC} = 3.8 - 2.7 = 1.1 \text{ mm}$