



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE PROTOTIPO DE REJILLAS DE SUMIDEROS VIALES FABRICADOS
CON HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Jerry Javier Rivera Paredes
Christian Gustavo Sandoval Caza

TUTOR: Francisco Roberto Ortiz Navas

Quito – Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jerry Javier Rivera Paredes con documento de identificación N° 2200232045 y Christian Gustavo Sandoval Caza con documento de identificación N° 1721344735; manifestamos que:

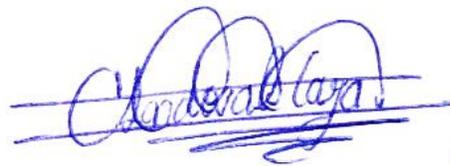
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 24 de abril del 2024

Atentamente,



Jerry Javier Rivera Paredes
2200232045



Christian Gustavo Sandoval Caza
1721344735

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Jerry Javier Rivera Paredes con documento de identificación N° 2200232045 y Christian Gustavo Sandoval Caza con documento de identificación N° 1721344735; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Propuesta de prototipo de rejillas de sumideros viales fabricados con hormigón de alta resistencia”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega de trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de abril del 2024

Atentamente,



Jerry Javier Rivera Paredes
2200232045



Christian Gustavo Sandoval Caza
1721344735

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Francisco Roberto Ortiz Navas con documento de identificación N° 1717631244, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **PROPUESTA DE PROTOTIPO DE REJILLAS DE SUMIDEROS VIALES FABRICADOS CON HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA**, realizado por Jerry Javier Rivera Paredes con documento de identificación N° 2200232045 y por Christian Gustavo Sandoval Caza con documento de identificación N° 1721344735, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de abril del 2024

Atentamente,



Ing. Francisco Roberto Ortiz Navas, PhD.

1717631244

PROPUESTA DE PROTOTIPO DE REJILLAS DE SUMIDEROS VIALES FABRICADOS CON HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA

PROPOSAL FOR A PROTOTYPE OF ROAD DRAIN GRIDS MADE OF HIGH-STRENGTH CONCRETE

Jerry Rivera-Paredes¹, Christian Sandoval-Caza²

Resumen

La presente investigación presenta una campaña experimental en la que se elabora un prototipo de sumidero vial tipo rejilla de hormigón que cumpla la Normas Ecuatorianas de la Construcción 2496. Para esto se diseña una mezcla de hormigón de alta resistencia a la compresión y se formula una geometría que permita que mayoritariamente la rejilla trabaje a compresión. Adicionalmente se ha verificado la capacidad hidráulica de la misma con respecto a las rejillas comerciales de hierro fundido. Los resultados experimentales muestran un gran desempeño mecánico de la rejilla, sin embargo, no se llega a cumplir los requerimientos de resistencia especificadas en la normativa para rejillas comerciales de hierro fundido. Mediante modelación numérica mediante elementos finitos, se evidencia la necesidad de mejorar la rejilla a fin de generar concentraciones de esfuerzos en los puntos de apoyo.

Palabras Clave: Prototipo de sumidero vial, Hormigón de alta resistencia, Capacidad hidráulica, Modelación numérica, Concentración de esfuerzos.

Abstract

The present research presents an experimental campaign in which a prototype of a concrete grid-type road grate is developed to comply with Ecuadorian Construction Standards 2496. For this purpose, a high-strength concrete mix is designed, and a geometry is formulated to allow the grate to primarily work under compression. Additionally, its hydraulic capacity has been verified compared to commercial cast iron grates. Experimental results show excellent mechanical performance of the grate; however, it fails to meet the specified strength requirements for commercial cast iron grates. Finite element numerical modeling demonstrates the need to enhance the grate to generate stress concentrations at support points.

Keywords: Road drain prototype, High strength concrete, Hydraulic Capacity, Numerical modeling, Concentration of efforts.

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

Autor por correspondencia: jriverap4@est.ups.edu.ec , csandovalc2@est.ups.edu.ec

Mediante el ensayo de desgaste se obtuvo un porcentaje de 23.32% para el agregado grueso como lo muestra la Figura 2, el mismo se basó en la norma NTE INEN 860 - 2011[7].



Figura 2. Agregado grueso de 3/8" del Rio Toachi.

Se hizo uso de la arena sílice cuarzo como agregado fino, mismo que presenta una dureza de 8 en la escala de Gardner como se muestra en la Figura 3, el cual cumple con la normativa NTE INEN 855 – 2010[8].



Figura 3. Dureza en la escala de Gardner.

Se selecciono el tamaño N°30, N°50 y N°100 como se muestra en la Figura 4. Por otro lado, el módulo de finura es de 3,02 lo cual cumple con el rango de la norma ACI 363R-10[5].

Curva granulometrica agregado fino

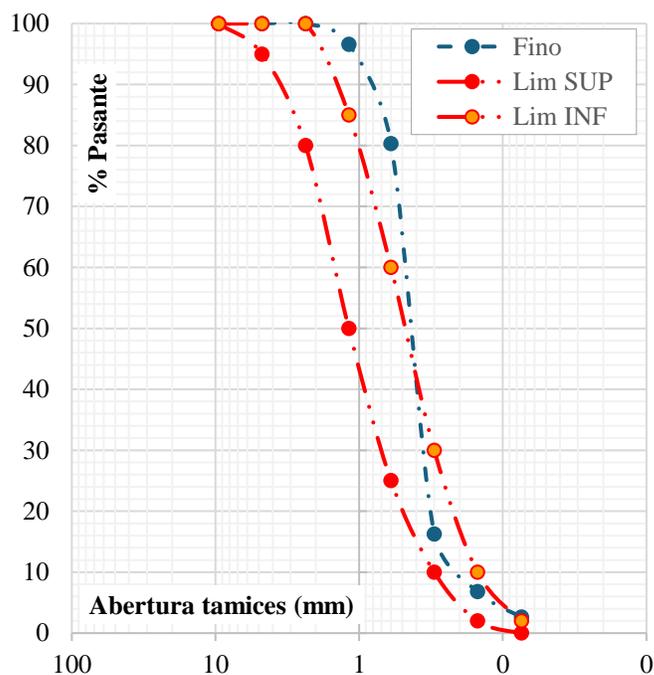


Figura 4. Granulometría Agregado Fino.

Los ensayos a los que fueron sometidos a prueba tanto el agregado grueso como el agregado fino, se los puede apreciar en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1: Resultados de Ensayos para Agregado Grueso

Ensayos	Resultados
Desgaste (%) INEN 860 - 2011	23.32
Peso Específico Masivo (kg/m3) ASTM C128	2597.34
Peso Específico Masivo SSS (kg/m3) ASTM C128	2654.88
Peso Específico Solidos (kg/m3) ASTM C128	2756.36
Absorción (%) ASTM C128	2.22

Tabla 2: Resultados de Ensayos para Agregado Fino

Ensayos	Resultados
Módulo de Finura (%) ACI 363R - 10	3.02
Peso Específico Masivo (kg/m ³) ASTM C127	2573.171
Peso Específico Masivo SSS (kg/m ³) ASTM C127	2598.847
Peso Específico Sólidos (kg/m ³) ASTM C127	2641.157
Absorción (%) ASTM C127	0.99

Tabla 4: Componentes químicos de Humo de sílice[10]

Componentes	Wt%
Silicon Dioxide (SiO ₂)	> 85
Carbon (C)	< 6
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	< 2
Aluminum Oxide (Al ₂ O ₃)	< 2
Sodium Oxide (Na ₂ O)	< 2
Potassium Oxide (K ₂ O)	< 2
Magnesium Oxide (MgO)	< 2
Calcium Oxide (CaO)	< 2

2.2. Humo de sílice

El material denominado micro sílice[9], fue adquirida en la empresa Ferrekret, el mismo fue utilizado para mejorar las propiedades de la mezcla y así poder llegar a la resistencia requerida en el hormigón.

Las propiedades físicas y componentes químicos que posee dicho material se las podrá apreciar en la Tabla 3 y Tabla 4, mismas que fueron provistas por el fabricante.

Tabla 3: Propiedades físicas del Humo de sílice[10]

Propiedades Físicas	Descripción
Physical State	Amorphous sub-micron powder dust has tendency to agglomerate.
Color	Light gray to medium gray.
Melting Point	1200°C-1300°C
pH	6.0 to 9.0
Bulk Density	approx. 128-720 kg/m ³
Specific Gravity	2.50
Particle Size	approx. 0.4 um
Solubility in Water	Insoluble

2.3. Cemento

La selección del tipo de cemento es esencial para el desempeño del hormigón, se optó por el Cemento Portland Tipo GU, mismo que cumple con la norma NTE INEN 2380[11].

2.4. Agua

Se hizo uso de la red de distribución de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito puesto que posee buena calidad para la elaboración de la mezcla el cual cumple con las especificaciones de la norma NTE INEN 2617 - 2012[12].

2.5. Aditivo Superplastificante

Se usó el aditivo superplastificante tipo Sikament® N-100, el cual garantiza tener una mejor trabajabilidad sin afectar la resistencia del hormigón [13] y [14], el cual cumple con las especificaciones de la normativa ASTM C494[15].

2.6. Diseño de mezcla

Basados en las recomendaciones del ACI 363 2R-11 2011[16], se realizó una mezcla que tiene las siguientes proporciones indicadas en la Tabla 3, calculado por 1m³ de hormigón.

Para el Humo de Sílice se utilizó el 12% de la masa del cemento y el 2% de la masa del cemento para el Aditivo.

Tabla 3. Dosificaciones de mezclas de hormigón

DOSIFICACIÓN	
Materiales	1m ³
Relación w/mc	0.25
Humo de sílice 12% (Kg)	76,5
Cemento Total (Kg)	637.5
Agregado grueso 3/8" (Kg)	1168
Agregado fino (Kg)	721
Aditivo 2% (Kg)	12,75
Agua (Kg)	160.7

2.7. Elaboración de Muestras

Para obtener una eficiente mezcla de hormigón de alta resistencia se utilizó una mezcladora mecánica. Esta máquina se usó para mezclar el cemento, arena de sílice cuarzo, humo de sílice, agua y aditivo con la finalidad de obtener una pasta como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Pasta elaborada en la mezcladora mecánica.

Una vez obtenida la pasta, la misma fue vertida en un recipiente con la finalidad de mezclarla con el agregado grueso haciendo uso de un mezclador de mano adaptado a un taladro como se indica en la Figura 6.



Figura 6. Mezclado con taladro.

Encofrado de muestra: Una vez terminada la mezcla, se procede a verter en un molde de 10x10x10cm previamente engrasado. Se llena el molde, se varilla y golpea suavemente para evitar vacíos dentro de la mezcla y obtener como resultado lo que se aprecia en la Figura 7.



Figura 7. Encofrado de madera.

Curado de muestras: Con la finalidad de que el hormigón desarrolle las propiedades adecuadas se sumergió en una piscina a una temperatura 25 ± 2

°C durante un periodo de 7, 28, 36 días y así también obtener las resistencias requeridas.

2.8. Elaboración de molde para prototipo de rejilla

Molde: El molde a utilizarse fue elaborado completamente de madera como se puede apreciar en la Figura 8 con dimensiones establecidas por la norma NTE INEN 2496[17]. El acero que se colocó fue de 8mm de diámetro el cual cuenta con un límite de fluencia de 420MPa.



Figura 8. Molde de rejilla de sumidero vial.

2.9. Prototipo de rejilla de sumidero vial

El prototipo de la rejilla de sumidero vial fue elaborado con dos materiales, estos son el hormigón y el acero, este último con la finalidad de confinar y así obtener resistencias elevadas. Se puede apreciar de mejor manera en la Figura 9.



Figura 9. Prototipo de rejilla de sumidero vial.

3. Campaña experimental

Se procedió a realizar un prototipo de rejilla de sumidero vial diferenciándose de las rejillas tradicionales de hierro fundido. El mismo cuenta con un arco convexo que permite que el hormigón trabaje mayoritariamente a compresión y así poder aprovechar al máximo las mejores ventajas del hormigón.

Por otra parte, se provee un confinamiento introduciendo hierro alrededor del prototipo como lo indica la Figura 10. Esto debido a la geometría del prototipo, al tener una especie de arco, el hormigón tratará de expandirse y el acero tratará de impedirlo.

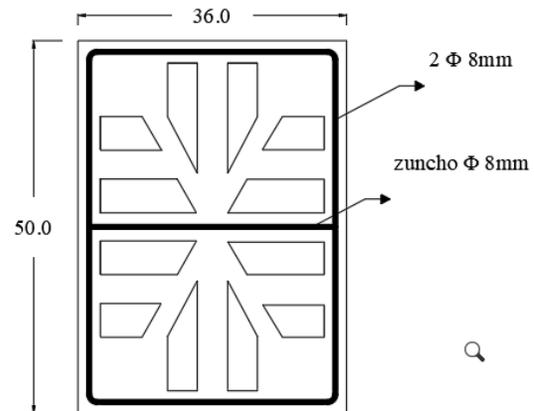


Figura 10. Esquema de colocación de acero elaborado por los autores.

3.1. Análisis hidráulico de la rejilla

Se evalúa el análisis hidráulico de la rejilla, es decir la capacidad de evacuar el agua comparada con una rejilla comercial, para esto se utilizó la ecuación de Manning.

$$Q = C * K * \left(1 - \frac{P}{100}\right) * L * B * (2 * g * E)^{1/2}$$

Donde, Q es el caudal interceptado por sumidero en (m³/seg), C es el coeficiente para sumideros sin depresión, por lo general toma el

valor de 0,5; K es relación entre área de orificios de reja y área total de la misma, P es el porcentaje de obstrucción de la reja, L es la longitud sumidero, Bes el ancho del sumidero y por último E es la energía específica.

Para hacer uso de la formula se asumió el valor del calado de 1cm lo cual ayudo para el proceso de cálculo de la capacidad hidráulica del prototipo como lo indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Capacidad Hidráulica de sumidero.

ANÁLISIS HIDRÁULICO - MANNING		
Parámetros	Valores	Rejilla NTE INEN 2496
Calado Yo (m)	0,01	0,01
Área Mojada (m2)	0,005	0,005
Perímetro Mojado (m)	0,52	0,52
Radio Hidráulico (m)	0,096	0,096
Caudal de acercamiento (lt/seg)	2,66	2,66
Velocidad acercamiento (m)	0,53	0,53
Energía Especifica (m)	0,02	0,02
	93,55	98,23
Capacidad Hidráulica (lt/seg)		

Se observa que la rejilla propuesta tiene una capacidad hidráulica parecida a las comerciales, teniendo como resultado 93.55 lt/seg y las comerciales 98,23 lt/seg.

4. Resultados y Discusión

4.1. Resultado de probetas

Una vez realizado los ensayos, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Resistencia vs Edad

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A DIFERENTES EDADES	
Edad (Días)	Resistencia (MPa)
7 días	52.78
28 días	71.80
36 días	75.98

Según la norma ACI 363R 10[5], la máxima resistencia del hormigón se alcanzará a los 91 días de haber fraguado, por lo cual se decidió realizar una prueba a los 36 días, lo cual dio como resultado una resistencia de 75.98MPa.

El ensayo se lo realizó a los 36 días de haber fraguado el hormigón, esto debido a la falta de tiempo, sin embargo, basándonos en la norma ACI 234R-06[10], la resistencia final alcanzaría un aumento entre el 4% y 6% con relación a la resistencia obtenida a los 36 días, se provee de una evolución de resistencia a los 91 días dando como resultado un aproximado de 81,30MPa, como se muestra en la Figura 11.

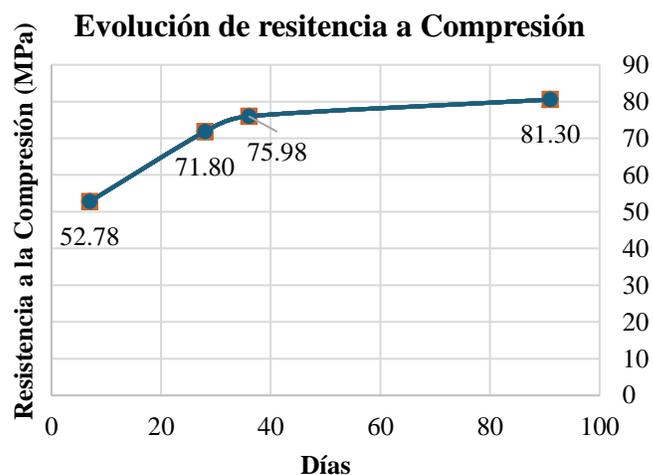


Figura 11. Evolución de resistencia a compresión.

4.2. Ensayo de la rejilla de sumidero vial

Se ensayó el prototipo de rejilla de sumidero vial de 50 x 36cm en el Laboratorio Nacional de Metrología INEN siguiendo los requerimientos y procedimientos que indica la norma NTE INEN 2496[17]. De hecho, la rejilla fue colocada en una base metálica como se indica en la Figura 13, a fin de simular que se encuentra introducida en la vía.

La carga fue aplicada en el centro del prototipo con una placa circular de 250mm de diámetro a una velocidad de 1kN/seg. El resultado del ensayo indica que la resistencia del prototipo de rejilla de

sumidero vial no cumple con lo establecido por la norma NTE INEN 2496[17], la misma menciona que una rejilla de sumidero vial debe soportar 250kN.



a)



b)

Figura 12. a) Base metálica de rejilla de sumidero vial, b) Prototipo dentro de la base.

Se usó una prensa hidráulica universal de ensayo, en la misma se encuentra ubicada la rejilla dentro de la base para ponerse a prueba como se muestra en la siguiente Figura 13.



Figura 13. Prensa universal de ensayos.

Durante el ensayo del prototipo de rejilla de sumidero vial se observó que la primera fisura fue cuando la carga alcanzó 35kN, sin embargo, se empezó a fisurar más a los 68kN y el prototipo al no estar confinado en su totalidad fue capaz de seguir resistiendo hasta llegar a una carga final de 101kN como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Rotura final de rejilla de sumidero vial.

Tabla 6. Resultados provistos por el INEN

RESULTADOS OBTENIDOS	
Carga de primera fisura (kN)	Carga de rotura total (kN)
35	101

4.3. Análisis Numérico

A fin de verificar el comportamiento de la rejilla experimental se ha realizado un prototipo de DIANA FEA® de elementos finitos con los siguientes parámetros, propiedades del material, mesh o mallado, geometría del prototipo, cargas, soportes, y un elemento finito como el acero. Los parámetros del acero y hormigón fueron configurados en el software como se muestra en la Figura 15 y Figura 16 de tal manera que se pueda obtener un modelado y resultados deseados.

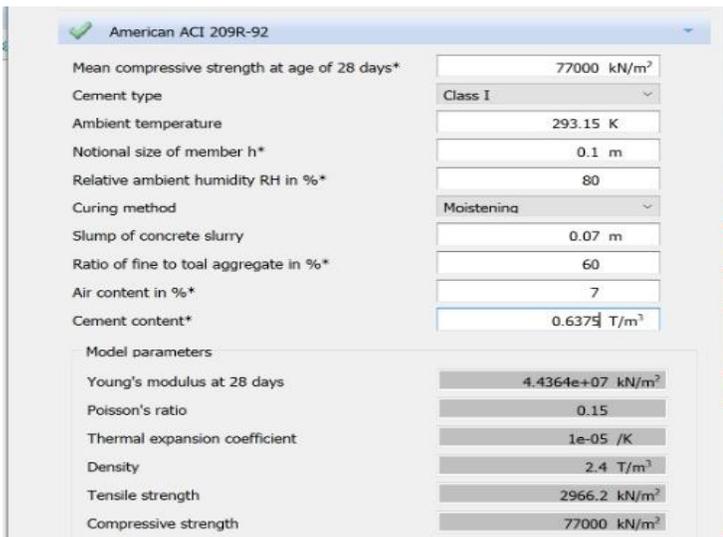


Figura 15. Parámetros constituyentes del hormigón

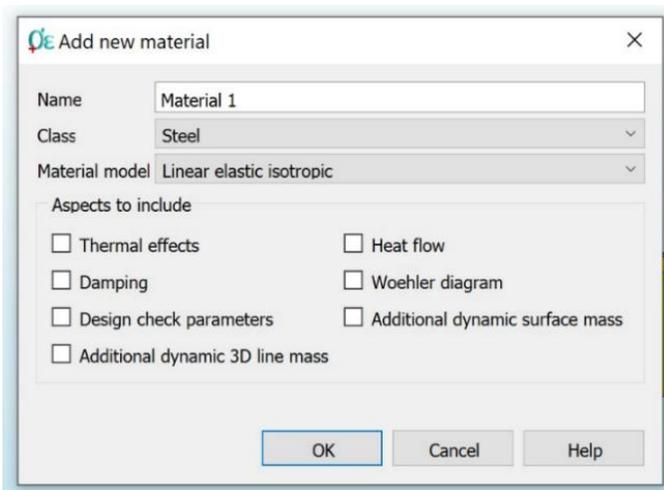


Figura 16. Parámetros constituyentes del acero

Como se puede observar en la Figura 17 el modelo verifica que toda la concentración de esfuerzos se desarrolla en los apoyos.

Estos resultados evidencian la necesidad de mejorar los apoyos en la rejilla a fin de que no se genere una concentración de esfuerzos y la rejilla resista más.

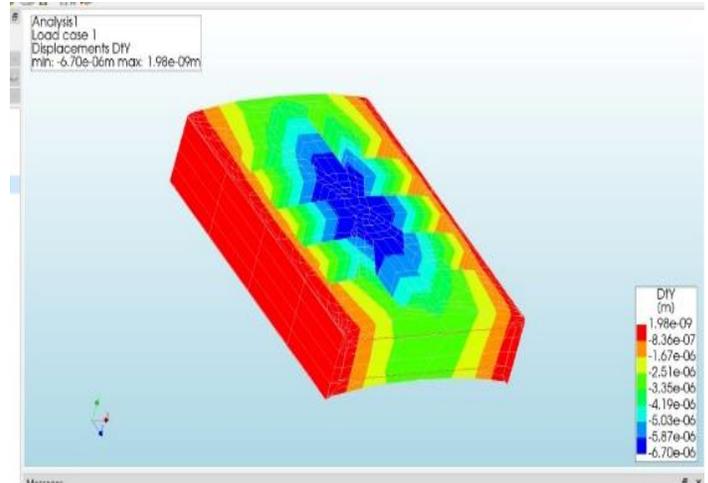


Figura 17. Modelado de prototipo de rejilla de sumidero vial en DIANA FEA®.

5. Conclusiones

Después de realizar la evaluación experimental de capacidad, evaluación hidráulica y de modelamiento en elementos finitos de un prototipo de rejilla de hormigón armado de alta resistencia, se puede concluir lo siguiente:

- Con respecto al material, se ha evidenciado la gran efectividad que tiene el humo de sílice para incrementar las resistencias a compresión de los hormigones. Esto, junto a la geometría de la rejilla evaluada tipo bóveda, ha permitido proponer una rejilla funcional que sirva para reemplazar las rejillas de hierro fundido comerciales que han sido sustraídas en las vías.
- La capacidad hidráulica del prototipo de rejilla ha resultado ser similar en un 95% al de una rejilla comercial de hierro fundido, permitiendo una capacidad hidráulica de 93.55 lt/segundo.
- Con respecto a la capacidad de carga de la rejilla, el prototipo ha alcanzado un 40% de una rejilla comercial de hierro fundido, esto principalmente debido a la concentración de esfuerzos que se producen en los apoyos

de la rejilla prototipo. Este fenómeno también se ha observado en la modelación mediante elementos finitos, y permitirá tomar decisiones a fin de perfeccionar la geometría del prototipo de rejilla.

Referencia

- [1] C. Tenemea - S. Pardo, "Pardo Encalada-Tenemea Galarza. ii."
- [2] A. Mena - S. Oband, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE REJILLAS DE SUMIDEROS VIALES".
- [3] A. Felipe, A. Arango, J. Alonso, Z. Zambrano, D. Felipe, and C. Zamora, "ANÁLISIS DEL DISEÑO ÓPTIMO PARA REJILLAS CON CONCRETO PERMEABLE UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL INGENIERÍA CIVIL BOGOTÁ 2016."
- [4] DIANA FEA®, "Restart a Nonlinear Analysis in DIANA." Accessed: Apr. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Sgt37wUO0LU&t=625s>
- [5] ACI 363R-10, "Report on High-Strength Concrete," *ACI Journal Proceedings*, 2010.
- [6] INEN, "NTE INEN 696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.," *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, vol. 01, 2011.
- [7] INEN, "NTE-INEN 860-2011. ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.5mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.," *Norma Técnica Ecuatoriana*, vol. 2602, no. 1. 2011.
- [8] 2010 NTE INEN 855, "Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. NTE INEN 855," *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 2010.
- [9] Allauca; Amen; Lung, "Uso de Sílice en hormigones de Alto Desempeño .," *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de La Tierra*, no. 1, 2020.
- [10] ACI 234R-06, "234R-06 Guide for the Use of Silica Fume in Concrete," *ACI 234R-06*, vol. 96, no. Reapproved, 2006.
- [11] Holcim Ecuador S.A., "Ficha técnica - Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general," *Holcim*, vol. 1, 2015.
- [12] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "NTE INEN 2617:2012. Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.," *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 2012.
- [13] B. Tello Tantaleán, J. B. Asesor, D. Sotomayor, N. Gioconda, and D. Socorro, "FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y URBANISMO ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DEL ADITIVO SIKA® CEM PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL," 2019.
- [14] J. Reina - M. Solano, "INFLUENCIA DE LA TASA DE ADITIVO JUAN CARLOS REINACARDOZAMARVINJOSESANCHEZBLANCOELMERROLANDOSOLANOQUINTANILLA," 2010.
- [15] ASTM, "ASTM C494: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete," *Annual Book of ASTM Standards*, 2013.
- [16] ACI 363.2R-11, "ACI 363.2R-11: Guide to Quality Control and Assurance of High-Strength Concrete," *American Concrete Institute*. 2011.

- [17] Q. -Ecuador, “NTE INEN 2 496:2009. TAPAS PARA USO EN POZOS Y REDES SUBTERRÁNEAS. REJILLAS DE ALCANTARILLADO. REQUISITOS E INSPECCIÓN.”