

$$\sigma = \Sigma = \frac{My}{I}$$

$$\tau = \frac{Tc}{J} \frac{\sigma}{n}$$

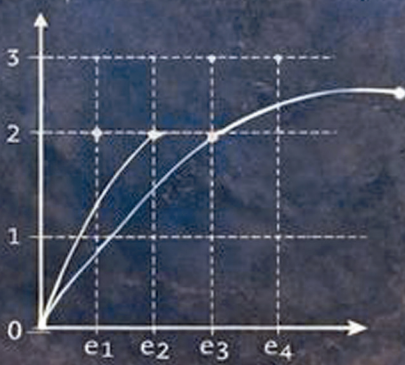
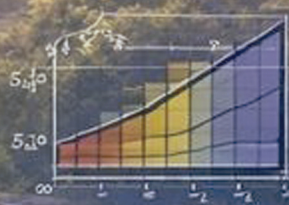
$$\sigma = \frac{P_A}{Jl}$$

$$\sigma = \frac{PA}{n}$$

# MECÁNICA DE MATERIALES

con enfoque a la Ingeniería Civil

Ing. Carlos Pinto A., Mg.  
Lic. Nancy Jordán B., Mg.  
Ing. Marisol Naranjo, Mg.







# **Mecánica de materiales con enfoque a la Ingeniería Civil**



# **Mecánica de materiales con enfoque a la Ingeniería Civil**

Ing. Carlos Pinto A., Mg.  
Lic. Nancy Jordán B., Mg.  
Ing. Marisol Naranjo, Mg.

Fecha de publicación: 22 de diciembre de 2025

Autoridades

Ing. Saúl Lara Paredes, PhD – Canciller

Ing. Janio Jadán Guerrero, PhD – Rector

Ing. Ignacio Ayala, PhD – Vicerrector Académico y de Vinculación

Ing. Aidé Naranjo, Mg. – Vicerrectora Administrativa y de Aseguramiento de la Calidad

© Autores: Carlos Pinto<sup>1</sup>, Nancy Jordán<sup>2</sup>, Marisol Naranjo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingenierías, Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato, Ecuador. carlospinto@uti.edu.ec, marisolnaranjo@uti.edu.ec

<sup>2</sup> Facultad de Arquitectura Diseño y Artes, Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato, Ecuador. nancyjordan@uti.edu.ec

ISBN 978-9942-693-16-7

Registro SENADI: N° QUI-070299

Revisado y aprobado para su publicación por el Comité Editorial de la Universidad Tecnológica Indoamérica (Quito, Ecuador) y por los revisores Mgs. Iván Collantes (Universidad de las Fuerzas Armadas) y Mgs. Christian Pérez (Profesional independiente).

Editor: Ing. Hugo Arias Flores, MBA.

Editorial de la Universidad Tecnológica Indoamérica. Quito, Ecuador.



Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la fotocopia y el tratamiento informático, sin autorización escrita del titular del copyright, bajo las sanciones previstas por las leyes.

Para citar este libro:

Pinto, C., Jordán, N. & Naranjo, M. (2025). *Mecánica de materiales con enfoque a la Ingeniería Civil*. Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica.

## ***El libro *Mecánica de materiales con enfoque a la Ingeniería Civil****

Este libro, *Mecánica de materiales con enfoque en la Ingeniería Civil*, surge del esfuerzo constante en el aula como en el campo, y, sobre todo, del compromiso que tenemos con nuestros estudiantes de Ingeniería Civil. A lo largo de los años, hemos visto la necesidad de contar con un material que no solo explique conceptos, sino que también acompañe al estudiante en el proceso de aprendizaje, de una manera clara, útil y adaptada a la realidad de nuestro país. En Ecuador, debido a la compleja geografía y su condición sísmica, el único hecho de levantar estructuras no es construir; implica pensar en seguridad, responsabilidad y futuro. Es por eso que es necesario que los que se forman esta carrera comprendan a fondo cómo se comportan los materiales como hormigón, acero, madera, agregados y plásticos, entre otros. No se trata solo de memorizar fórmulas, sino entender por qué es relevante entender de las propiedades, de cada reacción ante una carga y de cada ensayo de laboratorio.

Así, la importancia y objetivo de este libro radican en que integran teoría, práctica, y contexto. De la misma forma, guarda una sección fundamental sobre Química de materiales; en ella se encontrarán explicaciones acompañadas de ejemplos cercanos a la realidad del contexto, gráficos, ejercicios paso a paso y, sobre todo, aquellos problemas reales que invitarán a razonar como ingenieros desde el inicio de su formación. El enfoque se basa en normas técnicas, referencias de mercados nacionales y muestra experiencias útiles para su proceso de formación académica.

Esta obra pretende relacionar la teoría y la práctica; es decir, que el estudiante aprenda a calcular esfuerzos o identificar fallas estructurales; además, que desarrolle habilidades para la toma de decisiones técnicas acertadas con ética, análisis crítico y sensibilidad hacia las necesidades de su entorno. Por último, esperamos que este libro acompañe al estudiante en el proceso de formación con claridad, profundidad y compromiso, como lo exige la noble tarea de construir un país seguro y mejor en estructuras.



# ÍNDICE

<u>Introducción</u>	<u>15</u>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b><u>Fundamentos y materiales en la Ingeniería Civil</u></b>	<b><u>17</u></b>
<b><u>Resistencia de materiales en la Ingeniería Civil</u></b>	<b><u>19</u></b>
<u>¿Qué es un esfuerzo?</u>	<u>19</u>
<u>¿Qué son las cargas vivas y cargas muertas?</u>	<u>19</u>
<u>¿Qué es la compresión?</u>	<u>19</u>
<u>¿Qué es la tracción?</u>	<u>20</u>
<u>¿Qué material utilizado en construcción tiene una alta capacidad para resistir esfuerzos de tracción?</u>	<u>20</u>
<u>Materiales de la Ingeniería Civil</u>	<u>20</u>
<u>Resistencia a la compresión del hormigón (<math>f_c</math>) más utilizadas en la construcción ecuatoriana</u>	<u>21</u>
<u>Talento Humano dentro de la Construcción</u>	<u>24</u>
<u>Campos de aplicación de la Ingeniería Civil</u>	<u>24</u>
<b><u>Ensayo de Materiales</u></b>	<b><u>25</u></b>
<u>¿Qué es un ensayo?</u>	<u>25</u>
<u>¿Cuál es la clasificación de los ensayos?</u>	<u>25</u>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b><u>Cimientos químicos de la Ingeniería Civil</u></b>	<b><u>27</u></b>
<u>La química, una aliada silenciosa en la ingeniería civil</u>	<u>29</u>
<u>Breve historia: de la arcilla al concreto moderno</u>	<u>30</u>
<u>¿Por qué este capítulo es importante para ti?</u>	<u>30</u>
<u>Ciclo de Vida Químico de los Materiales en Ingeniería Civil</u>	<u>31</u>
<u>a. Extracción y Procesamiento</u>	<u>32</u>
<u>b. Fabricación y Transporte</u>	<u>32</u>
<u>c. Instalación y Aplicación en Obra</u>	<u>32</u>
<u>d. Uso, Envejecimiento y Mantenimiento</u>	<u>33</u>
<u>e. Fin de Vida Útil: Reciclaje o Disposición</u>	<u>33</u>
<u>El análisis químico multiescala de los materiales de construcción</u>	<u>34</u>
<u>Fundamentos Químicos Aplicados a Materiales de Construcción</u>	<u>35</u>
<u>Concreto</u>	<u>36</u>
<u>Acero</u>	<u>36</u>
<u>Polímeros</u>	<u>36</u>
<u>Madera</u>	<u>36</u>

<b><u>Tipos de enlaces químicos presentes en los materiales</u></b>	<b>36</b>
a. Enlace iónico	37
b. Enlace Covalente	37
c. Enlace Metálico	38
<b><u>Propiedades de los materiales en Ingeniería Civil y su relación con el tipo de enlace químico</u></b>	<b>39</b>
Resistencia	39
Flexibilidad	39
Durabilidad	39
Conductividad	39
Reactividad	40
<b><u>Propiedades fisicoquímicas que afectan el desempeño de los materiales</u></b>	<b>41</b>
Reactividad	41
Solubilidad	41
Difusión	41
Estabilidad térmica	42
Relación con la construcción	42
<b><u>¿Qué relación tienen estas propiedades con la construcción?</u></b>	<b>43</b>
<b><u>Reacciones químicas relevantes en la Ingeniería Civil</u></b>	<b>43</b>
Nota destacada para estudiantes: Química en obras civiles	43
<b><u>Hidratación del cemento y formación del gel C-S-H</u></b>	<b>44</b>
<b><u>Etapas del proceso de hidratación</u></b>	<b>44</b>
a. Inicio de la reacción	44
b. Fraguado	44
c. Endurecimiento	44
<b><u>Importancia de controlar la hidratación</u></b>	<b>45</b>
<b><u>Corrosión del acero: tipos, mecanismos y prevención</u></b>	<b>46</b>
<b><u>Tipos de corrosión comunes</u></b>	<b>46</b>
Medidas de prevención	47
<b><u>Reacciones de carbonatación y sulfatación en concreto</u></b>	<b>47</b>
Carbonatación del concreto	47
Reacción química:	47
Sulfatación del concreto	48
Reacción química típica	48
<b><u>Interacciones químicas en suelos estabilizados y aditivos</u></b>	<b>48</b>
Estabilización con cal	48
Precauciones en suelos con presencia de sulfatos	48
Aditivos químicos y sus efectos	49
<b><u>Reacciones térmicas en asfaltos y mezclas bituminosas</u></b>	<b>49</b>
Efectos del calentamiento excesivo	49
Reacciones de envejecimiento térmico	50
<b><u>Modificación del asfalto con polímeros y antioxidantes</u></b>	<b>50</b>
<b><u>Innovación química en nuevos materiales de construcción</u></b>	<b>51</b>
<b><u>Materiales sostenibles: geopolímeros, concreto verde y biocemento</u></b>	<b>51</b>
Geopolímeros	51
Concreto Verde	52
Biocemento	52
<b><u>Aplicación de nanotecnología en materiales de construcción</u></b>	<b>53</b>
<b><u>Nanopartículas de sílice (SiO<sub>2</sub>) y dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)</u></b>	<b>53</b>
<b><u>Nanotubos de carbono (CNT) y fibras nanoestructuradas</u></b>	<b>53</b>

<b>Nanoaditivos funcionales</b>	<b>53</b>
<b>Química verde: reducir impacto ambiental desde el diseño</b>	<b>54</b>
<b>Principios aplicados a la ingeniería civil</b>	<b>54</b>
<b>Etapas de diseño sostenible</b>	<b>55</b>
<b>Materiales inteligentes: autorreparación y sensores embebidos</b>	<b>55</b>
Concretos autorreparables	55
Sensores químicos embebidos	55
Polímeros con memoria de forma (SMPs)	56
<b>Casos de aplicación representativos</b>	<b>57</b>
<b>Prevención de la Corrosión en Estructuras Costeras</b>	<b>57</b>
Caso de estudio: Puente Bahía-San Vicente (Ecuador)	57
<b>Reparación con Materiales Autorreparables</b>	<b>58</b>
<b>Caso de estudio: Edificio de investigación en Países Bajos (Universidad de Delft)</b>	<b>58</b>
<b>Caso de estudio: Pavimento urbano en Medellín, Colombia</b>	<b>59</b>
<b>Uso de Nanotecnología en Edificios Inteligentes</b>	<b>60</b>
<b>Caso de estudio: Torre BBVA Bancomer (México)</b>	<b>60</b>
<b>Rehabilitación de suelos estabilizados con cal</b>	<b>61</b>
<b>Caso de estudio: Red vial rural en el altiplano boliviano</b>	<b>61</b>
<b>Demandas Actuales y Proyecciones Futuras de la Química en la Construcción</b>	<b>63</b>
Compromiso con la sostenibilidad	63
Extensión de la vida útil de las estructuras	63
<b>El nuevo perfil del ingeniero civil: interdisciplinariedad e innovación</b>	<b>63</b>
Regulaciones técnicas con base química	64
<b>Clasificación de los Materiales y sus Propiedades</b>	<b>65</b>
<b>Propiedades mecánicas de los materiales</b>	<b>66</b>
Esfuerzo axial	66
Desarrollo de problema	68
Capacidad energética	71
<b>Tablas De Conversión</b>	<b>72</b>
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>75</b>
<b>Diagrama Esfuerzo- Deformación</b>	<b>76</b>
<b>Ley de Hooke</b>	<b>79</b>
La aplicación de la práctica de la Ley de Hooke:	79
<b>Límite de proporcionalidad</b>	<b>80</b>
Condiciones para la aplicación de Hooke	81
¿Por qué existe una deformación uniforme?	82
Material homogéneo	82
Módulo de elasticidad	83
<b>Isotropía</b>	<b>87</b>
Isotropía en los materiales	87
La isotropía en la Ingeniería Civil	87
Importancia en construcción	88
¿Qué son los materiales anisotrópicos?	88
<b>Método de la desviación para la determinación del límite de fluencia</b>	<b>89</b>
¿Cómo se aplica este método?	89
Ejercicios de aplicación	90
<b>Relación Poisson</b>	<b>100</b>
Nomenclatura	100

### CAPÍTULO III

<b>Aplicación</b>	<b>105</b>
Determinación de Esfuerzos Nominales	107
Referencias bibliográficas	185

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ingredientes del hormigón: C-A-R-A-A	21
Tabla 2. Secciones geométricas de los Perfiles Metálicos más utilizados	22
Tabla 3. Tipos de materiales en la construcción	23
Tabla 4. Materiales Bituminosos en la Construcción	23
Tabla 5. Tipos de Ensayos de materiales en la construcción	26
Tabla 6. Comparativa de Escalas de Medición en Ciencia de Materiales	35
Tabla 7. Comparativa de Propiedades de los Materiales	40
Tabla 8. Comparativa de Propiedades Fisicoquímicas	42
Tabla 9. Relación de Propiedades Fisicoquímicas en Materiales de Construcción	43
Tabla 10. Resumen de reacciones químicas relevantes en ingeniería civil	50
Tabla 11. Resumen de innovaciones químicas en materiales de construcción	56
Tabla 12. Clasificación de los materiales y sus propiedades	65
Tabla 13. Propiedades de los materiales	71
Tabla 14. Recopilación de datos	72
Tabla 15. Conversiones medidas de longitud	72
Tabla 16. Conversiones más usadas en el Sistema Inglés	73
Tabla 17. Conversiones medidas de Masa	73
Tabla 18. Conversiones más usadas en medidas de masa	73
Tabla 19. Conversiones medidas de Fuerza	73
Tabla 20. Conversiones medidas de Esfuerzo	74
Tabla 21. Módulos de elasticidad de los materiales más utilizados de la construcción	83

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama básico de una empresa constructora	24
Figura 2. Etapas del Ciclo de vida Químico de los Materiales en Ingeniería Civil	31
Figura 3. Enlace Iónico	37
Figura 4. Enlace Covalente	38
Figura 5. Enlace Metálico	38
Figura 6. Proceso de hidratación del cemento	46
Figura 7. Aplicaciones de la Química en casos reales de Ingeniería civil	62
Figura 8. Probeta sometida a compresión	66
Figura 9. Probeta sometida a esfuerzos axiales	67
Figura 10. Cilindro de Hormigón sometido a una carga axial	67
Figura 11. Representación de un cuerpo con y sin cargas	71
Figura 12. Gráficos obtenidos del ensayo	74
Figura 13. Diagrama Esfuerzo - Deformación	75
Figura 14. Representación del alargamiento de una probeta	75
Figura 15. Diagrama esfuerzo - deformación de un material no rígido	76
Figura 16. Comportamiento de una viga sometida a flexión	78
Figura 17. Límite elástico o límite de proporcionalidad	78
Figura 18. Zona Elástica y Límite Elástico	79
Figura 19. Probeta de hormigón sometida a una carga axial céntrica	81

<a href="#">Figura 20. Proyecta de hormigón de sección constante</a>	<a href="#">81</a>
<a href="#">Figura 21. Probeta de hormigón</a>	<a href="#">82</a>
<a href="#">Figura 22. Esquema de fraccionamiento de deformaciones</a>	<a href="#">82</a>
<a href="#">Figura 23. Esquema de esfuerzos aplicados uniformemente</a>	<a href="#">82</a>
<a href="#">Figura 24. Isotropía de los materiales</a>	<a href="#">87</a>
<a href="#">Figura 25. Materiales Isótropo y Anisótropo</a>	<a href="#">88</a>
<a href="#">Figura 26. Comparación referencial del diagrama esfuerzo de formación de dos tipos de acero</a>	<a href="#">89</a>
<a href="#">Figura 27. Desviación para la determinación del límite de fluencia</a>	<a href="#">90</a>
<a href="#">Figura 28. Material de sección cubica sometida a compresión</a>	<a href="#">100</a>
<a href="#">Figura 29. Representación de la deformación unitaria del hormigón</a>	<a href="#">102</a>



## Introducción

Construir va más allá de simplemente levantar muros; se trata de entender la esencia de los materiales y su relación con el tiempo. Este libro no surge en una biblioteca silenciosa, sino en medio del eco de los martillos, del trazo del lápiz en el plano y de la fascinación de un estudiante que se da cuenta de que cada grieta cuenta una historia y de que cada material tiene su propia voz. En un país como Ecuador, donde la tierra tiembla con fuerza sísmica y la arquitectura se entrelaza con montañas, selvas y costas, enseñar Ingeniería Civil no puede limitarse a fórmulas.

Por eso, este libro no es solo una recopilación técnica. Es una herramienta educativa y un manifiesto: aquí se unen la ciencia y la sensibilidad, el cálculo y la conciencia, el laboratorio y el territorio. Está pensado para ser el compañero ideal de quienes están comenzando a transformar el mundo desde sus cimientos. Cada capítulo entrelaza la teoría con la experiencia, conecta normas nacionales con prácticas reales y ofrece una mirada crítica a los desafíos locales: desde los suelos andinos hasta la humedad de la Amazonía.

Aquí se explican de manera clara las propiedades mecánicas, químicas y estructurales de los materiales, sin perder de vista lo fundamental: la ética profesional, la sostenibilidad y la toma de decisiones informadas. Aprenderás a calcular, pero también a cuestionarte por qué un material puede fallar, cómo prevenirlo y, sobre todo, cómo diseñar con un enfoque humano y científico. Esta publicación promueve un aprendizaje progresivo, contextualizado y visual, integrando ilustraciones, casos reales, ensayos de campo y de laboratorio, así como herramientas normativas que preparan a los futuros ingenieros para enfrentar las obras del presente y los retos del futuro. No se limita a responder el “cómo”, sino que se atreve a plantear el “para qué” y el “qué pasaría si...”.

Querido lector, si en este momento sostienes este libro, es porque te han convocado a construir mucho más que edificios: te han convocado a construir confianza, comunidad, resiliencia. Que cada página sirva para guiarte sin falta; que cada ejemplo te invite a ir más allá; que cada material, por simple que aparente, te hable con la profundidad de la que únicamente son capaces de escuchar los grandes constructores.



The background of the entire page is a detailed technical drawing, likely a site plan or a foundation layout, rendered in a light gray color. It features a grid of lines, various circular and rectangular shapes, and numerous numerical annotations such as +2.05, +1.20, +0.35, +2.85, +0.15, +0.40, +0.69, +0.89, +1.05, +1.20, +1.35, +1.50, +1.65, +1.80, +1.95, +2.10, +2.25, +2.40, +2.55, +2.70, +2.85, +3.00, +3.15, +3.30, +3.45, +3.60, +3.75, +3.90, +4.05, +4.20, +4.35, +4.50, +4.65, +4.80, +4.95, +5.10, +5.25, +5.40, +5.55, +5.70, +5.85, +6.00, +6.15, +6.30, +6.45, +6.60, +6.75, +6.90, +7.05, +7.20, +7.35, +7.50, +7.65, +7.80, +7.95, +8.10, +8.25, +8.40, +8.55, +8.70, +8.85, +9.00, +9.15, +9.30, +9.45, +9.60, +9.75, +9.90, +10.05, +10.20, +10.35, +10.50, +10.65, +10.80, +10.95, +11.10, +11.25, +11.40, +11.55, +11.70, +11.85, +12.00, +12.15, +12.30, +12.45, +12.60, +12.75, +12.90, +13.05, +13.20, +13.35, +13.50, +13.65, +13.80, +13.95, +14.10, +14.25, +14.40, +14.55, +14.70, +14.85, +15.00, +15.15, +15.30, +15.45, +15.60, +15.75, +15.90, +16.05, +16.20, +16.35, +16.50, +16.65, +16.80, +16.95, +17.10, +17.25, +17.40, +17.55, +17.70, +17.85, +18.00, +18.15, +18.30, +18.45, +18.60, +18.75, +18.90, +19.05, +19.20, +19.35, +19.50, +19.65, +19.80, +19.95, +20.10, +20.25, +20.40, +20.55, +20.70, +20.85, +21.00, +21.15, +21.30, +21.45, +21.60, +21.75, +21.90, +22.05, +22.20, +22.35, +22.50, +22.65, +22.80, +22.95, +23.10, +23.25, +23.40, +23.55, +23.70, +23.85, +24.00, +24.15, +24.30, +24.45, +24.60, +24.75, +24.90, +25.05, +25.20, +25.35, +25.50, +25.65, +25.80, +25.95, +26.10, +26.25, +26.40, +26.55, +26.70, +26.85, +27.00, +27.15, +27.30, +27.45, +27.60, +27.75, +27.90, +28.05, +28.20, +28.35, +28.50, +28.65, +28.80, +28.95, +29.10, +29.25, +29.40, +29.55, +29.70, +29.85, +30.00, +30.15, +30.30, +30.45, +30.60, +30.75, +30.90, +31.05, +31.20, +31.35, +31.50, +31.65, +31.80, +31.95, +32.10, +32.25, +32.40, +32.55, +32.70, +32.85, +33.00, +33.15, +33.30, +33.45, +33.60, +33.75, +33.90, +34.05, +34.20, +34.35, +34.50, +34.65, +34.80, +34.95, +35.10, +35.25, +35.40, +35.55, +35.70, +35.85, +36.00, +36.15, +36.30, +36.45, +36.60, +36.75, +36.90, +37.05, +37.20, +37.35, +37.50, +37.65, +37.80, +37.95, +38.10, +38.25, +38.40, +38.55, +38.70, +38.85, +39.00, +39.15, +39.30, +39.45, +39.60, +39.75, +39.90, +40.05, +40.20, +40.35, +40.50, +40.65, +40.80, +40.95, +41.10, +41.25, +41.40, +41.55, +41.70, +41.85, +42.00, +42.15, +42.30, +42.45, +42.60, +42.75, +42.90, +43.05, +43.20, +43.35, +43.50, +43.65, +43.80, +43.95, +44.10, +44.25, +44.40, +44.55, +44.70, +44.85, +45.00, +45.15, +45.30, +45.45, +45.60, +45.75, +45.90, +46.05, +46.20, +46.35, +46.50, +46.65, +46.80, +46.95, +47.10, +47.25, +47.40, +47.55, +47.70, +47.85, +48.00, +48.15, +48.30, +48.45, +48.60, +48.75, +48.90, +49.05, +49.20, +49.35, +49.50, +49.65, +49.80, +49.95, +50.10, +50.25, +50.40, +50.55, +50.70, +50.85, +51.00, +51.15, +51.30, +51.45, +51.60, +51.75, +51.90, +52.05, +52.20, +52.35, +52.50, +52.65, +52.80, +52.95, +53.10, +53.25, +53.40, +53.55, +53.70, +53.85, +54.00, +54.15, +54.30, +54.45, +54.60, +54.75, +54.90, +55.05, +55.20, +55.35, +55.50, +55.65, +55.80, +55.95, +56.10, +56.25, +56.40, +56.55, +56.70, +56.85, +57.00, +57.15, +57.30, +57.45, +57.60, +57.75, +57.90, +58.05, +58.20, +58.35, +58.50, +58.65, +58.80, +58.95, +59.10, +59.25, +59.40, +59.55, +59.70, +59.85, +60.00, +60.15, +60.30, +60.45, +60.60, +60.75, +60.90, +61.05, +61.20, +61.35, +61.50, +61.65, +61.80, +61.95, +62.10, +62.25, +62.40, +62.55, +62.70, +62.85, +63.00, +63.15, +63.30, +63.45, +63.60, +63.75, +63.90, +64.05, +64.20, +64.35, +64.50, +64.65, +64.80, +64.95, +65.10, +65.25, +65.40, +65.55, +65.70, +65.85, +66.00, +66.15, +66.30, +66.45, +66.60, +66.75, +66.90, +67.05, +67.20, +67.35, +67.50, +67.65, +67.80, +67.95, +68.10, +68.25, +68.40, +68.55, +68.70, +68.85, +69.00, +69.15, +69.30, +69.45, +69.60, +69.75, +69.90, +70.05, +70.20, +70.35, +70.50, +70.65, +70.80, +70.95, +71.10, +71.25, +71.40, +71.55, +71.70, +71.85, +72.00, +72.15, +72.30, +72.45, +72.60, +72.75, +72.90, +73.05, +73.20, +73.35, +73.50, +73.65, +73.80, +73.95, +74.10, +74.25, +74.40, +74.55, +74.70, +74.85, +75.00, +75.15, +75.30, +75.45, +75.60, +75.75, +75.90, +76.05, +76.20, +76.35, +76.50, +76.65, +76.80, +76.95, +77.10, +77.25, +77.40, +77.55, +77.70, +77.85, +78.00, +78.15, +78.30, +78.45, +78.60, +78.75, +78.90, +79.05, +79.20, +79.35, +79.50, +79.65, +79.80, +79.95, +80.10, +80.25, +80.40, +80.55, +80.70, +80.85, +81.00, +81.15, +81.30, +81.45, +81.60, +81.75, +81.90, +82.05, +82.20, +82.35, +82.50, +82.65, +82.80, +82.95, +83.10, +83.25, +83.40, +83.55, +83.70, +83.85, +84.00, +84.15, +84.30, +84.45, +84.60, +84.75, +84.90, +85.05, +85.20, +85.35, +85.50, +85.65, +85.80, +85.95, +86.10, +86.25, +86.40, +86.55, +86.70, +86.85, +87.00, +87.15, +87.30, +87.45, +87.60, +87.75, +87.90, +88.05, +88.20, +88.35, +88.50, +88.65, +88.80, +88.95, +89.10, +89.25, +89.40, +89.55, +89.70, +89.85, +90.00, +90.15, +90.30, +90.45, +90.60, +90.75, +90.90, +91.05, +91.20, +91.35, +91.50, +91.65, +91.80, +91.95, +92.10, +92.25, +92.40, +92.55, +92.70, +92.85, +93.00, +93.15, +93.30, +93.45, +93.60, +93.75, +93.90, +94.05, +94.20, +94.35, +94.50, +94.65, +94.80, +94.95, +95.10, +95.25, +95.40, +95.55, +95.70, +95.85, +96.00, +96.15, +96.30, +96.45, +96.60, +96.75, +96.90, +97.05, +97.20, +97.35, +97.50, +97.65, +97.80, +97.95, +98.10, +98.25, +98.40, +98.55, +98.70, +98.85, +99.00, +99.15, +99.30, +99.45, +99.60, +99.75, +99.90, +100.05. The drawing includes various geometric shapes, lines, and annotations, suggesting a complex engineering or architectural plan. The text 'CAPÍTULO I' is overlaid on the drawing in the upper right quadrant, and the main title 'Fundamentos y materiales en la Ingeniería Civil' is centered in the lower half of the page.

## CAPÍTULO I

# Fundamentos y materiales en la Ingeniería Civil



## **Resistencia de materiales en la Ingeniería Civil**

En esta unidad estudiaremos el comportamiento básico de los principales materiales utilizados en la construcción ecuatoriana, sabiendo que, el país, en su gran mayoría, ha adoptado un sistema constructivo aporricado de hormigón armado, en donde predominan los siguientes materiales: acero estructural en perfilaría y varilla corrugada, hormigón simple, hormigón armado, hormigón con distintas dosificaciones y materiales sustitutivos a los convencionales.

Para entender el comportamiento de los materiales utilizados en la construcción debemos tener claras unas definiciones, para lo cual nos haremos las siguientes preguntas.

### **¿Qué es un esfuerzo?**

En el campo de la Ingeniería Civil, es un término demasiado extenso. Si lo queremos simplificar podemos hablar de que los esfuerzo se refieren a las fuerzas internas por unidad de área que se generan e interactúan con el material, debido a la aplicación de cargas o energías externas

### **¿Qué son las cargas vivas y cargas muertas?**

Se considera una carga viva a todo peso que puede cambiar su posición dentro de la estructura; es decir, que no se queda fija (personas, muebles y accesorios varios). Por lo contrario, la carga muerta es todo peso que no puede cambiar su posición dentro de una estructura. Un claro ejemplo se refiere a todos sus elementos estructurales (diafragmas horizontales y verticales, columnas y vigas). La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) establece directrices claras sobre estas cargas en el diseño estructural.

### **¿Qué es la compresión?**

Es un tipo de esfuerzo que actúa sobre un elemento estructural, aplicando cargas axiales en dirección al eje del elemento, lo que puede causar aplastamiento o pandeo, dependiendo de la composición del material. Por ejemplo, al empujar un resorte, se genera un esfuerzo de compresión que lo comprime.

## ¿Qué es la tracción?

Es un esfuerzo que actúa en dirección opuesta al eje de un elemento estructural, causando estiramiento. Un ejemplo común es cuando una cuerda se alarga al ser jalada en un juego de “tirar la cuerda”, donde las partículas del material se separan entre sí. Es decir que:

La comprensión de esfuerzos y cargas requiere no solo de la física, sino también de la geometría como base conceptual. Estudios recientes en educación superior destacan que la geometría aplicada constituye un pilar en la formación de competencias espaciales para arquitectos e ingenieros civiles. (Jordán-Buenaño *et al.*, 2023)

## ¿Qué material utilizado en construcción tiene una alta capacidad para resistir esfuerzos de compresión?

El sistema constructivo que predomina en Ecuador utiliza fundamentalmente dos tipos de materiales: hormigón y acero. El hormigón, también llamado concreto, en su definición más sencilla, es una piedra artificial. Dicho aquello, la principal propiedad mecánica en una piedra es soportar la compresión. Según el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI, 2017), el sistema constructivo predominante en el país se basa en el hormigón armado y el acero estructural, siendo el primero el encargado de resistir esfuerzos de compresión y el acero, esfuerzos de tracción (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

## ¿Qué material utilizado en construcción tiene una alta capacidad para resistir esfuerzos de tracción?

El acero es el material preferido para resistir esfuerzos de tracción en la construcción. En estructuras de hormigón armado, el acero, en forma de varillas corrugadas o perfilera, se utiliza para absorber las fuerzas de tracción, complementando la resistencia del hormigón.

## Materiales de la Ingeniería Civil

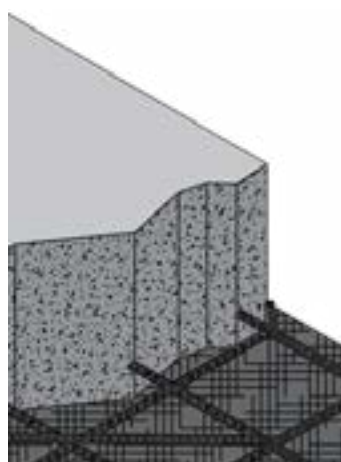
Antes de empezar a construir, es importante detenernos un momento y pensar: ¿con qué materiales vamos a levantar la obra? En Ingeniería Civil, no se trata solo de saber los nombres o las fórmulas, sino de entender cómo se comporta cada material, qué lo hace resistente, para qué sirve y por qué lo elegimos. Los materiales no son solo elementos físicos: son la base de la seguridad, la estabilidad y la vida útil de cualquier estructura. Por eso, en este apartado queremos acercarte de manera sencilla y clara a los principales materiales que se utilizan en la construcción en nuestro país, explicando sus propiedades, cómo se usan y qué papel cumplen dentro de una obra real.

El hormigón como material constructivo es una mezcla de agregados finos, agregados gruesos, cemento y agua. Su principal función es absorber los esfuerzos a compresión. Cuando hablamos de un sistema constructivo húmedo basado en pórticos, el hormigón se utiliza para fabricar los elementos estructurales de la edificación, como cimientos, cadenas, columnas, muros y escaleras, proporcionando resistencia y estabilidad a la construcción.

El hormigón, conocido como una piedra artificial, tiene como principal propiedad mecánica su capacidad para soportar esfuerzos de compresión. Para determinar cuánta compresión puede resistir, es fundamental diseñarlo con una dosificación precisa de sus componentes, como se observa en la **Tabla 1**. Esta dosificación nos permite calcular su resistencia a la compresión característica, representada por  $f'_c$ , la cual es clave para garantizar la seguridad y el desempeño adecuado de las estructuras de hormigón. El  $f'_c$  del

hormigón se lo mide en kilogramo sobre centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ); es decir, la unidad de kilogramos que va a soportar por centímetro cuadrado de su superficie.

**Tabla 1.** Ingredientes del hormigón: C-A-R-A-A



C = cemento  
A = arena, agregado fino  
R = ripio, agregado grueso  
A = agua  
A = aditivo

## Resistencia a la compresión del hormigón ( $f'c$ ) más utilizada en la construcción ecuatoriana

- ☑ En proyectos multifamiliares y estructuras de tres pisos en adelante (casas medianas, grandes y edificaciones),  $f'c$  debe ser mayor o igual que  $240 \text{ kg}/\text{cm}^2$  (MIDUVI, 2023).
- ☑ En edificaciones especiales y compuestas (hospitales, puentes, pisos industriales y vías),  $f'c$  debe ser mayor o igual que  $300 \text{ kg}/\text{cm}^2$ .

Estudios recientes en Ecuador han evaluado variantes experimentales de hormigón con adición de aserrín y bebida carbonatada, comparadas con mezclas de dosificación convencional; se han obtenido resultados interesantes en la resistencia a compresión (Vila y Pereyra, 2025).

El acero es uno de los materiales constructivos más costoso en Ecuador, ya que gran parte es importado. Sobre importación y costo del acero y su función en tracción para protección sísmica, está el estudio de Machado Salazar *et al.* (2023), que detalla ventajas del acero grado 80 ante esfuerzos de tracción. Su principal función en las estructuras es absorber los esfuerzos de tracción, lo cual es esencial para garantizar la resistencia sísmica. Debido a que Ecuador se encuentra en una zona sísmica activa, las estructuras deben ser diseñadas para resistir cargas horizontales generadas por los sismos. Esto requiere el uso de estructuras de hormigón armado, que combinan la capacidad de compresión del hormigón con la resistencia a tracción del acero, proporcionando una mayor estabilidad frente a cargas tanto verticales como horizontales.

En el mercado ecuatoriano se encuentran dos tipos de acero, periferia estructural y materiales pétreos.

**Perfilería estructural:** Este tipo de elementos estructurales no solo son buenos para soportar esfuerzos a tracción, sino que también cuenta con cualidades que le permite soportar esfuerzos combinados. Estos son la torsión, la flexión y la flexo compresión. Esto quiere decir que la perfilería se implementa en todos los elementos estructurales que no están en contacto directo con el suelo, como son las columna, vigas, losas, etc.

Las secciones geométricas más comunes se presentan en la **Tabla 2**; incluyen: perfil tipo C, perfil tipo I y perfil tipo Cuadrado. Además, existen otros perfiles comerciales menos utilizados, como los tipo G, U, L, T y H.

**Tabla 2.** Secciones geométricas de los perfiles metálicos más utilizados



La varilla corrugada en el mercado ecuatoriano se encuentra en dos presentaciones. La más común es la de seis metros de longitud en sus diferentes diámetros; otra es la de doce metros, la cual es muy difícil de transportar; por ello, la primera es la más adecuada para construcciones convencionales. Está formada principalmente por acero al carbono, que es una aleación de hierro con un porcentaje variable de carbono. El contenido exacto de carbono puede variar, pero típicamente se encuentra en un rango de 0.2% a 0.5% en peso. Además de carbono, pueden incluirse otros elementos en pequeñas cantidades para mejorar ciertas propiedades del material. Así lo indica Acería del Ecuador (Adelca, 2025); son varillas corrugadas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, termotratadas, para hormigón armado. Su certificación es la N.º DVC-SC-2021-506.

En la construcción, además del hormigón y del acero, existen diversos materiales que cumplen funciones específicas. Un ejemplo son los aglomerantes (mortero), compuestos por cemento, arena fina y agua; se utilizan para unir los elementos de mampostería. Esta mampostería, a su vez, se emplea en la división de los espacios arquitectónicos dentro de una estructura. Cada ambiente arquitectónico debe ser diseñado y adaptado según el propósito específico de la edificación, lo que hace fundamental la selección adecuada de los materiales de construcción, garantizando que cumplan con los requisitos técnicos, funcionales y estéticos de la obra. A continuación, veremos una breve explicación de los materiales que se utiliza en la construcción.

**Materiales pétreos:** “Los agregados se clasifican por tamaño y han sido ampliamente estudiados, mostrando que los reciclados pueden mantener propiedades mecánicas adecuadas” (Muñoz Pérez *et al.*, 2021 y Silva *et al.*, 2023). De la misma forma,

La resistencia de los materiales no puede entenderse sin un sustento geométrico que permita modelar sus formas y comportamientos. Tal como señala la investigación en estudiantes de diseño arquitectónico, la geometría facilita la transición entre el cálculo abstracto y la aplicación constructiva. (Jordán-Buenaño *et al.*, 2023)

En conclusión, son materiales granulares inertes que se clasifican según su tamaño. Las propiedades que destacan de este tipo de materiales son las mecánicas (capacidad de soporte a la compresión) y su granulometría (clasificación fino y grueso del material). Los principales materiales pétreos utilizados en la construcción son:

**Árido grueso (agregado grueso):** Tienen un tamaño mayor a 4.75 mm, como la grava y el ripio. La grava que se obtiene de las canteras y que ha sido triturada es ideal para la construcción, ya que sus bordes afilados, resultantes de este proceso, ayudan a que el hormigón se adhiera mejor.

**Árido fino (agregado fino):** Se refiere a materiales que tienen un tamaño menor a 4.75 mm, como la arena. Para la construcción, es más común usar arena fina o tamizada en los morteros.

**Materiales conglomerantes:** El ejemplo más utilizado de estos materiales es la cal y el cemento. De este último hay que destacar que su fabricación tiene un alto impacto negativo en el medio ambiente debido a

sus emisiones de CO<sub>2</sub>. En estudios sobre columnas encamisadas en PVC-FRP, los materiales conglomerantes se presentan en forma de polvo muy fino, que al mezclarse con agua forman una pasta, la cual muestra un comportamiento plástico que permite su moldeo (Muñoz Portero María José, s. f.). En el mercado ecuatoriano se pueden encontrar las siguientes marcas de cemento: Holcim, Chimborazo, Selva Alegre, Campeón, los cuales venden su producto en quintales; cada quintal representa cincuenta kilogramos.

**Materiales plásticos:** Destaca el PVC (policloruro de vinilo), ya que es conocido por su durabilidad, resistencia, bajo costo y poca contaminación. Se emplea para canaletas, tuberías y diferentes accesorios constructivos. El PVC es duradero, económico y ampliamente usado en tuberías y canaletas. Los plásticos destacan por su alta relación resistencia-densidad, aislamiento térmico y eléctrico, y resistencia química. Se aplica en tuberías, ventanas, suelos, espumas aislantes, cimientos y pinturas, ofreciendo durabilidad y eficiencia en la construcción y el confort doméstico (Alibeigibeni *et al.*, 2025).

**Tipos de materiales en la construcción:** Existen innumerables materiales aparte de los ya mencionados, como se observan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Tipos de materiales en la construcción

- Aluminio
- Vidrio
- Cerámica
- Cobre
- Mármol
- Acero decorativo
- Pintura
- Materiales sintéticos
- Madera
- Mampostería

**Materiales bituminosos:** Sirven para la elaboración de carreteras; además, para impermeabilizar y aglomerar otros materiales, como se observa en la **Tabla 4**. Los materiales bituminosos, como el asfalto y sus derivados, son ampliamente utilizados en la construcción vial por su capacidad de adherencia, impermeabilidad y resistencia al envejecimiento (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador [MTOPE], 2022).

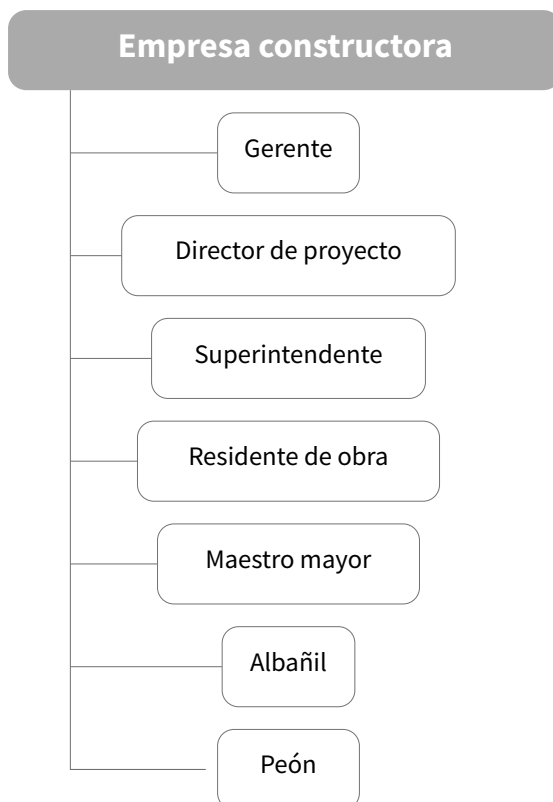
**Tabla 4.** Materiales bituminosos en la construcción

Tipo de material bituminoso	Uso principal	Características principales	Ejemplos comunes
Asfalto natural	Pavimentación de vías	Alta adherencia, resistencia al agua y durabilidad	Asfalto lacustre, asfalto de roca
Asfalto modificado	Capas de rodadura y estructuras viales	Mayor elasticidad y resistencia a temperaturas extremas	Asfalto con polímeros
Emulsiones asfálticas	Sellado de juntas, tratamientos superficiales	Fácil aplicación en frío, buena adherencia sobre superficies húmedas	Emulsión catiónica, aniónica
Cementos asfálticos (CA)	Mezclas asfálticas en caliente	Alta viscosidad; se utiliza en mezcla con agregados	CA-24, CA-32, CA-36
Cutbacks o asfaltos diluidos	Tratamientos superficiales, reciclado en frío	Fluidez mejorada mediante solventes volátiles	RC-250, MC-70, SC-250
Mastics asfálticos	Impermeabilización y sellado	Mezcla de asfalto con cargas minerales, alta capacidad de relleno	Mastic bituminoso para juntas

## Talento humano dentro de la construcción

En las empresas que se dedican a la construcción se puede establecer un esquema básico dirigido por jerarquías, como se muestra en la **Figura 1**. Este debe ser establecido según su función e importancia del trabajo que ejecuten.

**Figura 1.** Organigrama básico de una empresa constructora



Sin embargo, sí es posible mantener un esquema horizontal dentro de las empresas que se dedican a las consultorías constructivas. En ellas, diferentes profesionales lideran áreas específicas, dedicándose a resolver aspectos particulares del diseño.

## Campos de aplicación de la Ingeniería Civil

En Ecuador, la Ingeniería Civil abre puertas en diferentes campos de conocimientos y estos, a su vez, son aplicables tanto en el sector público como en el privado.

### Sector público

**Trabajos en instituciones gubernamentales:** En el sector público, los ingenieros civiles intervienen en ministerios, municipios y gobiernos autónomos descentralizados (GAD) planificando, desarrollando y manteniendo infraestructuras esenciales (Ministerio del Trabajo, 2024). Las estadísticas laborales recientes confirman que la construcción pública absorbe un segmento significativo del talento profesional (INEC, 2024).

## Sector privado

En el **sector privado**, su rol abarca desde la contratación y ejecución de obras hasta la consultoría especializada en diseño estructural y estudios de suelos (Ochoa Jaramillo, 2023).

**Consultoría:** También tienen la opción de ofrecer servicios de consultoría; brindan asesoramiento en diseño estructural, análisis de suelos, gestión de proyectos y estudios de viabilidad para clientes privados.

Estas responsabilidades permiten a los ingenieros civiles hacer una gran contribución al desarrollo y mantenimiento de las infraestructuras, que son clave para el país; se adaptan a lo que cada sector necesita y a las regulaciones que existen.

## Ensayo de materiales

Es crucial para validar que hormigones, aceros y polímeros cumplan con los criterios de seguridad y servicio. Ensayos destructivos (por ejemplo, compresión o tracción) y no destructivos (ultrasonido, esclerómetro) se seleccionan según la etapa del proyecto (Bayu Tefera y Gebre Tarekegn, 2025). Estudios recientes demuestran que los modelos de predicción basados en redes neuronales mejoran la estimación de las resistencias a compresión y tracción (Ling *et al.*, 2024), mientras que la incorporación de plásticos reciclados mantiene la durabilidad estructural (Oti *et al.*, 2024).

### ¿Qué es un ensayo?

“Proceso técnico en el que se evalúa un material... medir su resistencia, durabilidad...” (Bayu Tefera y Gebre Tarekegn, 2025). Se evalúa un material (como hormigón, acero, madera o asfalto) bajo condiciones específicas para medir su resistencia, durabilidad, elasticidad, dureza y comportamiento bajo tracción y compresión. Estos ensayos nos ayudan a ver si el material es adecuado según las normas técnicas necesarias para usarlo en un proyecto de construcción (Trujillo *et al.*, 2019).

### ¿Cuál es la clasificación de los ensayos?

Los ensayos se clasifican en dos grandes grupos: destructivo, que consiste en destruir la muestra para obtener los resultados deseados y conocer el comportamiento real del material; y no destructivo, que se trata de la realización del ensayo sin afectar la integridad del material. Ejemplo:

**Ensayo destructivo:** Ensayo de compresión, ensayo de tracción, ensayo de flexión, ensayo de cizalla, ensayo de dureza, etc.

La resistencia a compresión no solo se aplica en mezclas convencionales. Investigaciones locales han demostrado que la inclusión de materiales alternativos como aserrín o incluso bebidas carbonatadas puede modificar la curva de esfuerzo-deformación y abrir nuevas líneas de experimentación (Pinto-Almeida *et al.*, 2025)

**Ensayo no destructivo:** Ensayo mediante esclerómetro, inspección con ultrasonido, escaneo de acero, ensayo de radiología, prueba de corrientes de Foucault. “... determinando la resistencia a fuerzas de compresión en hormigón” (Oti *et al.*, 2024).

Existen otros tipos de ensayos de materiales de construcción conjuntamente con su propósito y el material al que se aplica, como detalla la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Tipos de ensayos de materiales en la construcción

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Propósito</b>	<b>Material aplicado</b>
<b>Ensayo de compresión</b>	Determinar la resistencia a fuerzas de compresión	Hormigón, bloques, ladrillos
<b>Ensayo de tracción</b>	Medir la resistencia a la tracción (estiramiento)	Acero, barras corrugadas
<b>Ensayo de flexión</b>	Evaluar la resistencia ante cargas que provocan curvatura	Madera, hormigón
<b>Ensayo de absorción de agua</b>	Medir la porosidad y durabilidad frente al agua	Ladrillos, bloques, piedra
<b>Ensayo de dureza</b>	Evaluar la resistencia a la penetración o rayado	Acero, cerámica
<b>Ensayo de abrasión</b>	Determinar la resistencia al desgaste superficial	Pisos, concreto
<b>Ensayo de fluidez o revenimiento (<i>slump</i>)</b>	Verificar la consistencia del concreto fresco	Hormigón fresco
<b>Ensayo de adherencia</b>	Medir la capacidad de un material de unirse a otro	Acero-hormigón, morteros



CAPÍTULO II

**Cimientos químicos de  
la Ingeniería Civil**



## **Introducción**

### **La química, una aliada silenciosa en la Ingeniería Civil**

La Ingeniería Civil es la disciplina encargada de proyectar, construir y mantener las infraestructuras que conforman la base del desarrollo humano: puentes, edificios, caminos, presas, sistemas de agua potable, entre muchos otros. Tradicionalmente, esta rama se asocia a la ingeniería con cálculos estructurales, diseños arquitectónicos y resistencia de materiales; sin embargo, en el corazón de cada obra hay una ciencia que actúa de manera constante, precisa y, muchas veces, invisible: la química.

Lejos de ser un componente secundario, la química es una protagonista silenciosa que interviene en cada etapa del ciclo de vida de una obra. Desde la elección de los materiales hasta su puesta en obra y eventual mantenimiento, la comprensión de las transformaciones químicas resulta indispensable. ¿Qué sucede cuando el cemento se hidrata? ¿Por qué el acero se corroe en ambientes salinos? ¿Qué compuestos generan mayor resistencia a la compresión? ¿Cómo influye el pH del suelo en una cimentación? Estas preguntas tienen respuestas profundamente químicas.

La química permite anticipar el comportamiento de los materiales frente a factores ambientales, cargas estructurales o contaminantes. Nos ayuda a identificar reacciones que pueden comprometer la durabilidad de una estructura, como la carbonatación del concreto o la formación de sulfatos expansivos y, al mismo tiempo, a desarrollar soluciones innovadoras, como aditivos mejoradores, recubrimientos anticorrosivos o tecnologías de bajo impacto ambiental.

En tiempos donde la sostenibilidad y la eficiencia energética se han convertido en ejes clave del diseño civil, la química ofrece herramientas para optimizar el uso de recursos, reciclar residuos, reducir la huella de carbono y extender la vida útil de las infraestructuras. Ya no se trata solo de construir, sino de hacerlo con conciencia, conocimiento y ciencia.

Este capítulo busca revelar cómo los principios químicos están presentes en cada mezcla, en cada interacción y en cada decisión técnica que toma un ingeniero civil. Con ejemplos aplicados, reacciones clave y fundamentos claros, se pretende mostrar que, detrás de cada obra bien construida, hay también una comprensión profunda de la materia a nivel molecular.

## Breve historia: de la arcilla al concreto moderno

Desde tiempos ancestrales, la humanidad ha buscado transformar su entorno a través de la construcción. Las primeras civilizaciones emplearon lo que la naturaleza ofrecía: los egipcios levantaban viviendas con una mezcla de barro y paja, mientras que en Mesopotamia se moldeaban ladrillos de arcilla secados al sol. Estos materiales, simples pero ingeniosos, marcaron los inicios de una relación íntima entre el ser humano y la química de los suelos.

Los romanos llevaron esta relación a otro nivel con el *opus caementicium*, un precursor del concreto moderno que mezclaba cal, cenizas volcánicas (puzolana) y agua. Esta innovación les permitió construir infraestructuras que aún perduran, como el Coliseo o los acueductos. En la Edad Media, la piedra y la cal dominaron la escena, hasta que la Revolución industrial marcó un punto de inflexión.

A partir del siglo XIX, la química dejó de ser solo una herramienta empírica y pasó a ser una ciencia exacta al servicio de la ingeniería. Se comenzaron a desarrollar cementos más resistentes, como el Portland, y aparecieron nuevos materiales con propiedades diseñadas para responder a exigencias específicas. El concreto armado, las estructuras pretensadas y los aditivos químicos dieron origen a una nueva era en la construcción: aquella en la que cada componente era estudiado a nivel molecular para optimizar su desempeño.

En el contexto ecuatoriano, la evolución de los materiales también ha sido notable. En culturas precolombinas, como la Valdivia o la Caranqui, ya se utilizaban técnicas rudimentarias de cocción de arcillas y construcción con tierra apisonada. En la época colonial, se consolidó el uso de la cal y del ladrillo artesanal. Con el paso de los siglos, y especialmente desde la segunda mitad del siglo XX, Ecuador adoptó el uso del concreto estructural como base de su infraestructura urbana y vial.

Hoy en día, en obras emblemáticas ecuatorianas, como los puentes del río Guayas, el puente Los Caras en la provincia de Manabí, las hidroeléctricas, el Tranvía de Cuenca o el Metro de Quito, se emplean materiales desarrollados gracias a la química avanzada. Se utilizan aditivos reductores de agua, inhibidores de corrosión, concretos de alta resistencia y soluciones con nanotecnología para lograr estructuras más duraderas, seguras y adaptadas a las condiciones geológicas y climáticas del país.

Además, con la creciente preocupación por la sostenibilidad, Ecuador ha empezado a investigar alternativas locales —como cementos con adición de puzolana natural andina o la incorporación de residuos industriales en mezclas de concreto—; de esta forma, se disminuye la huella de carbono de la industria de la construcción.

Esta evolución de la arcilla al concreto moderno es un testimonio del vínculo entre la Ingeniería Civil y la química, una alianza que ha hecho posible que las ideas se transformen en estructuras sólidas. Además, en el caso ecuatoriano, esas estructuras pueden responder tanto a las necesidades sociales como a los retos del entorno natural.

### ¿Por qué este capítulo es importante para ti?

Este capítulo te mostrará cómo la química da vida y sentido a los materiales con los que trabaja la Ingeniería Civil. Aquí aprenderás:

- Cómo las reacciones químicas determinan la resistencia, la durabilidad y el comportamiento de materiales como el concreto, el acero y los polímeros.
- Cuáles son los principales procesos químicos que debes conocer como futuro ingeniero civil.
- Qué criterios químicos exigen las normativas técnicas para garantizar la seguridad y la calidad de una obra.

Comprender estos aspectos te permitirá tomar decisiones técnicas más informadas y acertadas a lo largo de tu formación y futura práctica profesional. No se trata únicamente de saber qué material usar, sino de entender cómo y por qué ese material se comportará de cierta manera frente a su entorno físico y químico. Al integrar este conocimiento, desarrollarás la capacidad de anticipar fallas, seleccionar alternativas sostenibles, diseñar estructuras más duraderas y cumplir con las normativas técnicas vigentes. En definitiva, la química aplicada te brindará una visión más integral y estratégica de la Ingeniería Civil, donde cada elección de material se convierte en una decisión crítica para la seguridad, la funcionalidad y el impacto ambiental de la obra.

## Ciclo de vida químico de los materiales en Ingeniería Civil

En una construcción civil, los materiales no son solo “bloques” que se colocan uno sobre otro. Cada uno tiene una composición química que determina cómo se comporta desde el primer día hasta muchos años después. Por eso, la química es fundamental para entender por qué un concreto se agrieta, por qué el acero se oxida o cómo hacer que un material dure más.

La química está presente en todo el ciclo de vida de una obra; es decir, desde que se fabrican los materiales, durante su uso en la construcción, en la etapa de mantenimiento, y hasta cuando la estructura ya no sirve y los materiales deben ser reciclados o desechados. En cada una de estas fases ocurren reacciones químicas importantes que afectan la resistencia, la durabilidad y hasta el impacto ambiental de la obra.

El ciclo de vida químico de un material de construcción describe todas las etapas por las que pasa un material: desde su obtención hasta su desecho o reutilización. Considera las transformaciones químicas que ocurren en cada fase. Este enfoque es fundamental para entender cómo los materiales interactúan con el ambiente, se transforman con el tiempo y afectan la durabilidad y sostenibilidad de las obras civiles, como se muestra en la **Figura 2**.

**Figura 2.** Etapas del ciclo de vida químico de los materiales en Ingeniería Civil



A continuación, se presentan las principales etapas del ciclo de vida químico:

## a. Extracción y procesamiento

**Materia prima:** Todo comienza con la extracción de recursos naturales del entorno, como:

- Caliza, arcilla y yeso (para fabricar cemento).
- Minerales metálicos como hierro (para acero) o bauxita (para aluminio).
- Petróleo y derivados (para obtener polímeros y aditivos plásticos).
- Sílice (para vidrio, cerámicos y arenas especiales).

**Transformación química:** Estos materiales se someten a procesos químicos intensivos; entre ellos:

- Calcinación: caliza → óxido de calcio (CaO) liberando CO<sub>2</sub>.
- Fusión: extracción de metales desde minerales en hornos.
- Polimerización: transformación de monómeros en plásticos.
- Hidrólisis o sinterización: reacciones para mejorar propiedades de cerámicos o aglomerantes.

**Impacto ambiental:** Esta etapa es una de las más contaminantes, ya que:

- Se emiten gases como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>.
- Se consume gran cantidad de energía térmica y eléctrica.
- Se generan residuos sólidos y líquidos industriales, que requieren tratamiento.

## b. Fabricación y transporte

**Reacciones preparatorias:** Una vez obtenida la materia transformada, se formulan productos más complejos:

- Se agregan aditivos químicos (plastificantes, retardantes, pigmentos).
- Se diseñan mezclas de concreto, mortero, resinas, pinturas o asfalto con funciones específicas.

**Control de reactividad:** Durante esta fase es esencial evitar que el material reaccione prematuramente:

- Evitar contacto con humedad (cementos y productos higroscópicos).
- Proteger de oxidación (aceros o pigmentos metálicos).
- Mantener a temperatura controlada (resinas sensibles al calor).

**Determinación de vida útil inicial:** El producto fabricado tiene un tiempo limitado de almacenamiento útil, el cual depende de su estabilidad química y de las condiciones del transporte.

## c. Instalación y aplicación en obra

**Inicio de reacciones principales:** Cuando el material llega a la obra y se activa, ocurren las reacciones fundamentales:

- Hidratación del cemento → formación de compuestos C-S-H que dan resistencia.

- Curado de resinas epóxicas → reacción de endurecimiento químico.
- Adherencia química de adhesivos y compuestos autocompactantes.

**Control en obra:** Es fundamental monitorear el tiempo de fraguado, temperatura, humedad, etc., ya que de esto depende la resistencia mecánica final y la durabilidad frente a agentes externos.

**Interacción con el entorno:** Los materiales comienzan a interactuar químicamente con su medio:

- Suelo ácido o salino puede degradar cimientos.
- Altas temperaturas aceleran reacciones indeseadas.
- Alta humedad favorece hongos, corrosión o eflorescencias.

#### **d. Uso, envejecimiento y mantenimiento**

**Degradación química:** Durante los años de vida útil de la estructura, los materiales están expuestos a agentes químicos como:

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) → carbonatación del concreto.
- Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) → penetran y aceleran corrosión del acero.
- Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) → provocan expansión destructiva en el concreto.
- Oxígeno y humedad → oxidación de metales.
- Rayos UV y lluvia ácida → degradación de pinturas, plásticos o recubrimientos.

**Reacciones acumulativas:** Estas transformaciones no ocurren de inmediato, sino que se acumulan con el tiempo, debilitando la estructura.

**Mantenimiento preventivo:** Para reducir el deterioro, se aplican tratamientos químicos:

- Selladores superficiales para evitar entrada de agua.
- Revestimientos impermeabilizantes.
- Inhibidores de corrosión inyectados o superficiales.
- Reparaciones con morteros poliméricos o cementosos especializados.

#### **e. Fin de vida útil: reciclaje o disposición**

**Reciclaje químico o físico:** En esta etapa, los materiales pueden ser:

- Triturados y reciclados (por ejemplo, concreto reciclado como árido).
- Fundidos nuevamente (acero, aluminio).
- Convertidos en energía (valorización energética de plásticos).
- Neutralizados químicamente (para estabilizar residuos peligrosos).

**Transformaciones residuales:** Si no se gestionan correctamente, los materiales siguen reaccionando:

- El concreto puede lixiviar calcio al agua.

- Metales pueden contaminar suelos por oxidación.
- Aditivos tóxicos pueden liberarse al ambiente, si no se inertizan.

## **El análisis químico multiescala de los materiales de construcción**

El comportamiento y la durabilidad de los materiales en Ingeniería Civil no solo dependen de sus propiedades mecánicas, sino también de procesos químicos complejos que ocurren en niveles de escala, como se observa en la **Tabla 6**. Entender estos fenómenos desde lo más pequeño hasta lo más visible permite anticipar fallas, mejorar mezclas y tomar decisiones más responsables en obra. A continuación, se describen las principales escalas de análisis.

### **Escala nanoscópica: la química invisible que da forma a la resistencia**

A este nivel, los ingenieros y químicos se enfocan en las interacciones atómicas y moleculares que ocurren dentro de los materiales. Un ejemplo fundamental es lo que sucede en la hidratación del cemento:

- Cuando el cemento Portland se mezcla con agua, no solo se endurece por secado; en realidad, se produce una serie de reacciones químicas que generan un gel de silicato cálcico hidratado (C-S-H).
- Este gel actúa como el verdadero pegamento del concreto, ocupando los espacios entre las partículas y dándole cohesión y resistencia.

Ejemplo práctico: En proyectos de construcción de represas o pisos industriales, donde se requiere alta resistencia y baja permeabilidad, se utilizan microsílíce o nanoarcillas como aditivos. Estos modifican la estructura del gel C-S-H, haciéndolo más compacto y menos poroso, mejorando la durabilidad del concreto.

### **Escala microscópica: detección de defectos antes de que sean visibles**

A esta escala, los materiales se analizan con microscopios electrónicos o técnicas como la microscopía óptica, para observar:

- Porosidades internas, que permiten la entrada de agentes agresivos, como cloruros o  $\text{CO}_2$ .
- Fisuras incipientes, que aún no se ven a simple vista, pero que pueden crecer con cambios térmicos o esfuerzos mecánicos.
- Zonas corroídas, como microcapas de óxido en las armaduras de acero embebidas en concreto.

Ejemplo práctico: En el mantenimiento preventivo de estructuras como el puente Los Caras (Manabí), se corre un análisis microscópico de muestras de concreto; de esta manera, se detecta corrosión incipiente en el acero antes de que cause daños estructurales visibles. Esto permite intervenir a tiempo, aplicando selladores o inhibidores de corrosión.

### **Escala macroscópica: las consecuencias visibles del deterioro químico**

En esta escala se manifiestan los efectos acumulados de los procesos químicos no controlados. Se observan problemas estructurales como:

- Grietas longitudinales o transversales en columnas, losas y muros.

- Corrosión visible del acero de refuerzo, que genera desprendimientos de concreto.
- Desprendimiento de recubrimientos, manchas, eflorescencias salinas o, incluso, colapsos parciales.

Ejemplo práctico: Algunas estructuras costeras de Ecuador, como muelles en Esmeraldas, han reportado daños avanzados por corrosión del acero debido a la entrada de cloruros marinos. Esto ocurre porque, a nivel microscópico, los poros del concreto no fueron correctamente sellados, lo que en la escala macroscópica derivó en falla estructural parcial del recubrimiento de los pilotes.

**Tabla 6.** Comparativa de escalas de medición en ciencia de materiales

Escala	Definición	Aplicación en Ingeniería Civil
<b>Nanoscópica</b>	Nivel de átomos y moléculas (menos de 100 nanómetros)	Estudio de la estructura molecular del C-S-H y aditivos nanoestructurados
<b>Microscópica</b>	Nivel observable con microscopio óptico o electrónico	Análisis de poros, microfisuras y partículas finas en materiales
<b>Macroscópica</b>	Nivel visible a simple vista, sin instrumentos especiales	Evaluación de fisuras, deformaciones y propiedades mecánicas globales

El análisis químico multiescala representa una herramienta fundamental para comprender cómo y por qué se deterioran los materiales de construcción. Al observar desde el nivel atómico hasta el comportamiento visible de una estructura, es posible predecir fallas antes de que ocurran, prevenir daños mediante un diseño más inteligente, y mitigar los efectos de la degradación química a través de técnicas de mantenimiento oportunas.

En este contexto, la formación del ingeniero civil moderno debe integrar este enfoque como parte de su criterio profesional. Esto le permitirá:

- Seleccionar materiales con base científica, considerando no solo sus propiedades mecánicas, sino también su reactividad química frente al ambiente y su compatibilidad con otros componentes.
- Ejercer un control de calidad riguroso, que abarque desde la preparación de mezclas y curado del concreto, hasta el análisis postinstalación para detectar vulnerabilidades químicas tempranas.
- Diseñar estructuras más duraderas y resilientes, que no solo soporten cargas estructurales o eventos sísmicos, sino que también sean capaces de resistir los efectos acumulativos de agentes químicos, como dióxido de carbono, cloruros, sulfatos o humedad.

## Fundamentos químicos aplicados a materiales de construcción

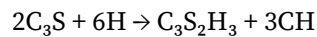
Los materiales empleados en Ingeniería Civil no son solo “elementos físicos”, sino estructuras químicas complejas formadas por átomos y moléculas que interactúan entre sí. Estas ocurren a nivel atómico o molecular y determinan propiedades como resistencia, flexibilidad, durabilidad, conductividad, reactividad o deterioro. Comprender estos principios químicos básicos permite al ingeniero civil anticipar cómo se comportarán los materiales en obra y a lo largo del tiempo, en respuesta a factores como humedad, temperatura, contaminantes, cargas o radiación.

## Ejemplos de materiales comunes y su química

### Concreto

El concreto es una mezcla heterogénea que, al fraguar, forma productos químicos que le dan resistencia:

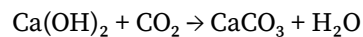
- El cemento Portland, al mezclarse con agua, genera reacciones de hidratación, como esta:



Donde

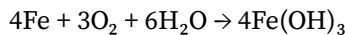
- C = CaO (óxido de calcio)
- S = SiO<sub>2</sub> (dióxido de silicio)
- H = H<sub>2</sub>O (agua)

El producto C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub> es el gel de silicato cálcico hidratado (C-S-H), que otorga resistencia mecánica. El hidróxido de calcio (CH) contribuye a la alcalinidad del concreto, pero también puede reaccionar con CO<sub>2</sub> y causar carbonatación con el tiempo.



### Acero

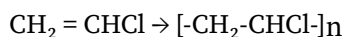
El acero es una aleación de hierro con carbono. Se oxida en presencia de agua y oxígeno:



Posteriormente, forma óxidos de hierro (herrumbre), debilitando estructuras metálicas si no se protegen.

### Polímeros

El PVC, por ejemplo, se forma por polimerización:



Estos enlaces covalentes proporcionan resistencia química, pero pueden degradarse con radiación UV.

### Madera

Está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, unidas por enlaces covalentes. Es higroscópica: puede absorber agua y sufrir hinchamiento o descomposición si no se trata adecuadamente.

## Tipos de enlaces químicos presentes en los materiales

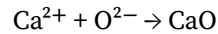
Los enlaces químicos son las fuerzas de unión entre los átomos que conforman los compuestos y materiales. Estas uniones determinan las propiedades físicas, químicas y mecánicas del material, como su dureza, elasticidad, resistencia al calor, a la tracción o a los agentes químicos. En el campo de la Ingeniería Civil, entender los tipos de enlaces permite seleccionar los materiales más adecuados para cada aplicación estructural o funcional.

## a. Enlace iónico

Se forma entre átomos de metales, como se observa en la **Figura 3**, (que pierden electrones) y no metales (que los ganan); generan iones positivos (cationes) y negativos (aniones) que se atraen electrostáticamente.

Fórmula química y ejemplo:

- Óxido de calcio (CaO):

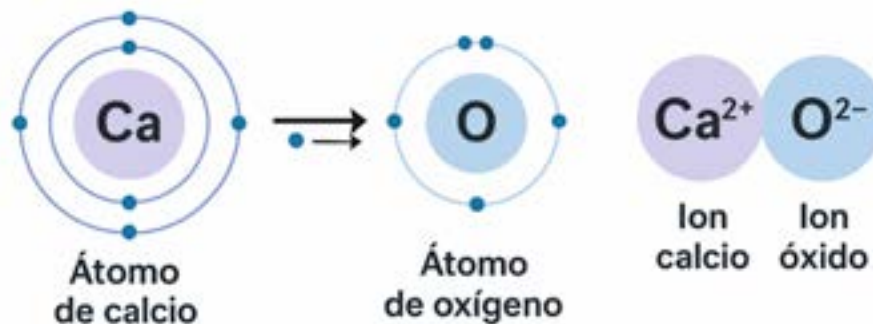


- Presente en el *clínker* del cemento Portland, base del concreto.

En el caso en Ingeniería Civil, el CaO reacciona con agua para formar hidróxido de calcio y contribuir al fraguado del concreto. Este tipo de enlace confiere rigidez y resistencia, pero también fragilidad al material, razón por la cual el concreto es fuerte en compresión, pero débil en tracción.

Además, los sulfatos en suelos pueden reaccionar con componentes iónicos del concreto, lo que genera expansión destructiva (formación de etringita), un fenómeno que los ingenieros deben prever en zonas con suelos agresivos.

**Figura 3.** Enlace iónico

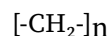


## b. Enlace covalente

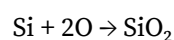
Se da entre átomos no metálicos que comparten electrones, como se muestra en la **Figura 4**. Es el tipo de enlace predominante en moléculas orgánicas y polímeros sintéticos.

Fórmula química y ejemplo:

- Polietileno (PE):



- Utilizado en geosintéticos, tuberías plásticas, y recubrimientos.
- Sílice (SiO<sub>2</sub>) en el cuarzo:

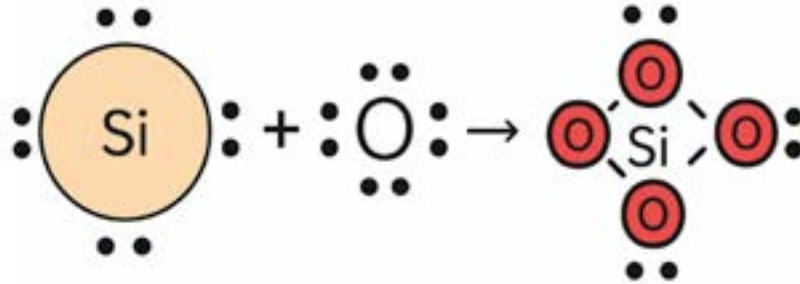


- Componente fundamental en arenas, vidrios, y agregados para concreto.

En la Ingeniería Civil, los polímeros —como el polietileno y el PVC (cloruro de polivinilo) — se utilizan ampliamente por su flexibilidad, resistencia química y ligereza. Son ideales para tuberías de alcantarillado, sistemas de drenaje o aislamiento eléctrico.

El cuarzo, con su red covalente tridimensional muy estable, es altamente resistente a la compresión y a la abrasión, cualidad esencial en los agregados finos para mezclas de concreto.

**Figura 4.** Enlace covalente

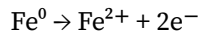


### c. Enlace metálico

Se da entre átomos metálicos que comparten una “nube de electrones libres”, como se muestra en la **Figura 5**; esto permite la conducción de electricidad y calor, además de otorgar maleabilidad y ductilidad.

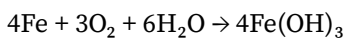
**Fórmula química y ejemplo:**

- Hierro (Fe):



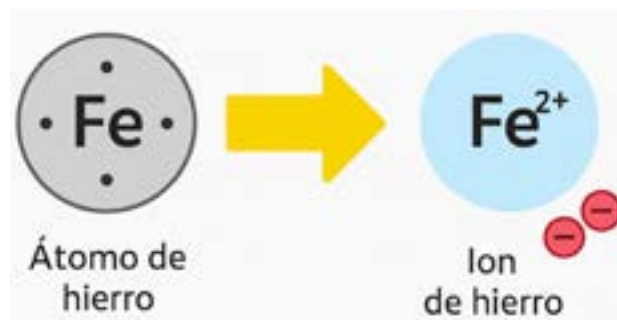
- Constituye la base de materiales estructurales como el acero.

Para la Ingeniería Civil, el acero es el material estructural más empleado por su ductilidad, resistencia mecánica y capacidad de absorber energía sin fracturarse. El enlace metálico permite que el acero sea fácilmente deformado sin romperse, lo que es esencial en estructuras sismorresistentes. Sin embargo, en presencia de oxígeno y humedad, el hierro se oxida:



Esto genera óxidos y debilita las armaduras. Por eso, se usan recubrimientos epóxicos o aditivos inhibidores de corrosión en las mezclas de concreto armado.

**Figura 5.** Enlace metálico



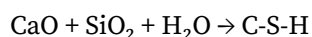
# Propiedades de los materiales en Ingeniería Civil y su relación con el tipo de enlace químico

## Resistencia

La resistencia es la capacidad de un material para soportar fuerzas externas sin romperse ni deformarse permanentemente, como se muestra en la **Tabla 7**.

Se clasifica según el tipo de esfuerzo: tracción, compresión, flexión o corte. Esta propiedad depende de la estructura atómica y del tipo de enlace. Materiales con enlaces iónicos o metálicos fuertes suelen tener alta resistencia mecánica.

Ejemplo: El óxido de calcio (CaO) en el cemento forma compuestos como C-S-H (silicato de calcio hidratado) que le dan resistencia a la compresión del concreto.



## Flexibilidad

Es la capacidad de un material para deformarse bajo carga sin romperse y volver parcialmente a su forma original, como se muestra en la **Tabla 7**.

Depende de la movilidad de las cadenas moleculares (en polímeros) o de los planos atómicos (en metales). Los materiales con enlaces covalentes flexibles y estructuras amorfas, como los polímeros, son buenos ejemplos.

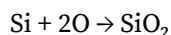
Ejemplo: El polietileno ( $[-\text{CH}_2-]_n$ ), un polímero covalente, se emplea en tuberías plásticas flexibles para conducción de agua en edificaciones.

## Durabilidad

Es la capacidad del material para mantener sus propiedades a lo largo del tiempo, resistiendo el desgaste físico y químico, como se muestra en la **Tabla 7**.

Un material duradero resiste corrosión, degradación química, radiación UV y ciclos térmicos. Su durabilidad se relaciona con su estabilidad estructural y su baja reactividad.

Ejemplo: El sílice ( $\text{SiO}_2$ ), componente principal del cuarzo, es altamente durable y se utiliza como agregado en concretos por su resistencia al ataque químico y a la abrasión.



## Conductividad

Es la propiedad de un material de permitir el paso de electricidad o calor a través de su estructura, como se muestra en la **Tabla 7**.

Los metales con enlaces metálicos presentan electrones libres que permiten una alta conductividad térmica y eléctrica. Esta propiedad es clave en instalaciones eléctricas y sistemas térmicos.

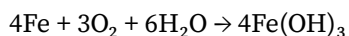
Ejemplo: El hierro (Fe) en el acero de refuerzo permite el paso de corriente durante pruebas de continuidad y es buen conductor térmico en sistemas estructurales expuestos al fuego.

## Reactividad

Es la facilidad con la que un material participa en reacciones químicas con su entorno, como se muestra en la **Tabla 7**.

Depende del tipo de enlace y de la energía de activación de las reacciones. Materiales muy reactivos tienden a degradarse más rápido en ambientes agresivos (ácidos, sales, humedad).

Ejemplo: El hierro (Fe) se oxida fácilmente en presencia de oxígeno y agua, formando óxidos e hidróxidos que debilitan las estructuras metálicas:



**Tabla 7.** Comparativa de propiedades de los materiales

Propiedad	Definición	Ejemplo	Tipo de enlace común
Resistencia	Es la capacidad de un material para soportar fuerzas externas sin romperse ni deformarse permanentemente.	El óxido de calcio (CaO) en el cemento forma compuestos como C-S-H (silicato de calcio hidratado) que le dan resistencia a la compresión al concreto.	Iónico/metálico
Flexibilidad	Es la capacidad de un material para deformarse bajo carga sin romperse, y volver parcialmente a su forma original.	El polietileno ( $[-\text{CH}_2-]_n$ ), un polímero covalente, se emplea en tuberías plásticas flexibles para conducción de agua en edificaciones.	Covalente
Durabilidad	Es la capacidad del material para mantener sus propiedades a lo largo del tiempo, resistiendo el desgaste físico y químico.	El sílice ( $\text{SiO}_2$ ), componente principal del cuarzo, es altamente durable y se utiliza como agregado en concretos por su resistencia al ataque químico y a la abrasión.	Covalente/iónico
Conductividad	Es la propiedad de un material de permitir el paso de electricidad o calor a través de su estructura.	El hierro (Fe) en el acero de refuerzo permite el paso de corriente durante pruebas de continuidad y es buen conductor térmico en sistemas estructurales expuestos al fuego.	Metálico
Reactividad	Es la facilidad con la que un material participa en reacciones químicas con su entorno.	El hierro (Fe) se oxida fácilmente en presencia de oxígeno y agua, formando óxidos e hidróxidos que debilitan las estructuras metálicas.	Metálico

## Propiedades fisicoquímicas que afectan el desempeño de los materiales

Las propiedades fisicoquímicas son aquellas características que involucran tanto aspectos físicos como químicos en el comportamiento de los materiales; [...] tal como destacan Habib *et al.* (2024: 1):

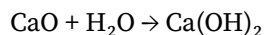
La evaluación de los materiales de construcción es esencial para desarrollar infraestructuras sostenibles y resilientes, asegurando que los materiales puedan resistir diversas condiciones ambientales y esfuerzos [...] las pruebas experimentales siguen siendo indispensables para una comprensión integral de las propiedades mecánicas, químicas, térmicas, microestructurales, de durabilidad, físicas y meteorológicas.

En el ámbito de la construcción, los materiales no solo deben cumplir con funciones estructurales, sino también comportarse adecuadamente ante factores químicos y físicos del entorno. Ciertas características intrínsecas determinan cómo responden a la humedad, los contaminantes, el calor y otros agentes externos, como se detalla en la **Tabla 8**. Comprender estas condiciones es esencial para garantizar la durabilidad y seguridad de las edificaciones.

### Reactividad

Es la capacidad de un material para participar en reacciones químicas con otras sustancias del entorno, como agua, oxígeno, sales o ácidos. Aunque suele clasificarse como química, en realidad, su manifestación depende del medio físico (fase, temperatura, humedad, etc.) en el que ocurre la reacción.

Ejemplo: El cemento Portland reacciona con el agua (hidratación) formando productos como C-S-H que otorgan resistencia.



Caso práctico: En climas húmedos, un material muy reactivo puede degradarse rápidamente; se requieren recubrimientos o aditivos que controlen la reactividad.

### Solubilidad

Es la capacidad de una sustancia para disolverse en un líquido, usualmente agua. Es un proceso de disolución donde las fuerzas intermoleculares entre soluto y solvente entran en juego. Depende de la temperatura, presión y polaridad.

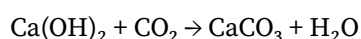
Ejemplo: Sales solubles como el sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) pueden migrar hacia la superficie y causar eflorescencias.

Caso práctico: En estructuras expuestas a humedad, la alta solubilidad puede provocar deterioro progresivo de cimientos o muros.

### Difusión

Es el movimiento espontáneo de átomos, iones o moléculas a través del material, impulsado por gradientes de concentración. Es un fenómeno físico de transporte que depende de gradientes de concentración, pero está profundamente ligado a la estructura química del material (porosidad, afinidad, enlaces).

Ejemplo: El  $\text{CO}_2$  se difunde en el concreto y reacciona con  $\text{Ca(OH)}_2$ , reduciendo el pH y favoreciendo la corrosión.



Caso práctico: La difusión de gases puede acelerar la corrosión del acero, afectando vigas y columnas, si no se emplean concretos densos.

## Estabilidad térmica

Es la capacidad de un material para resistir cambios de temperatura sin transformaciones químicas o físicas. Mide la resistencia a descomposición o deformación bajo calor. Aunque implica transformaciones químicas (ruptura de enlaces), también está determinada por la energía térmica (física) aplicada.

Ejemplo: El PVC pierde su forma a temperaturas superiores a 70 °C.

Caso práctico: En zonas con alta radiación o incendios, materiales con baja estabilidad térmica pueden fallar; se requieren materiales refractarios.

## Relación con la construcción

Estas propiedades están directamente relacionadas con la durabilidad, seguridad y sostenibilidad de las obras civiles. Su correcta evaluación permite prevenir patologías estructurales como:

- Fracturas prematuras por reactividad elevada
- Deterioro por lixiviación de sales
- Corrosión interna por difusión de gases
- Colapsos térmicos por exposición a calor o fuego

Por ello, el conocimiento fisicoquímico es clave para ingenieros civiles en la selección de materiales, diseño de estructuras y planificación del mantenimiento preventivo.

**Tabla 8.** Comparativa de propiedades fisicoquímicas

Propiedad	Definición	Ejemplo	Impacto en obra
Reactividad	Es la capacidad de un material para participar en reacciones químicas con otras sustancias del entorno, como agua, oxígeno, sales o ácidos.	El cemento Portland reacciona con el agua (hidratación) formando productos como C-S-H, que otorgan resistencia.	En climas húmedos, un material muy reactivo puede degradarse rápidamente; se requieren recubrimientos o aditivos que controlen la reactividad.
Solubilidad	Es la capacidad de una sustancia para disolverse en un líquido, usualmente agua.	Sales solubles como el sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) pueden migrar hacia la superficie y causar eflorescencias.	En estructuras expuestas a humedad, la alta solubilidad puede provocar deterioro progresivo de cimientos o muros.
Difusión	Es el movimiento espontáneo de átomos, iones o moléculas a través del material, impulsado por gradientes de concentración.	El $\text{CO}_2$ se difunde en el concreto y reacciona con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , lo que reduce el pH y favorece la corrosión.	La difusión de gases puede acelerar la corrosión del acero, afectando vigas y columnas si no se emplean concretos densos.
Estabilidad térmica	Es la capacidad de un material para resistir cambios de temperatura sin transformaciones químicas o físicas.	El PVC pierde su forma a temperaturas superiores a 70 °C.	En zonas con alta radiación o incendios, materiales con baja estabilidad térmica pueden fallar; se requieren materiales refractarios.

## ¿Qué relación tienen estas propiedades con la construcción?

- Si un material es muy reactivo al agua, puede perder resistencia rápidamente en climas húmedos.
- Si permite la entrada de gases, puede acelerar la oxidación del acero interno.
- Si no es estable con el calor, puede fallar en ambientes extremos o en caso de incendio.

Por eso, los ingenieros civiles deben tener una base química sólida para prevenir fallas estructurales y garantizar construcciones duraderas.

La comparación de propiedades fisicoquímicas entre materiales permite identificar sus ventajas y limitaciones en función del contexto de uso. Mientras que el concreto presenta alta reactividad y estabilidad térmica, el acero destaca por su baja solubilidad y difusión, pero es vulnerable a la corrosión; por su parte, los polímeros muestran buena resistencia a la difusión, aunque menor estabilidad térmica. En la **Tabla 9** se resumen estas relaciones, lo cual facilita la selección de materiales según las condiciones ambientales y los requerimientos estructurales de una obra.

**Tabla 9.** Relación de propiedades fisicoquímicas en materiales de construcción

	<b>Reactividad</b>	<b>Solubilidad</b>	<b>Difusión</b>	<b>Estabilidad térmica</b>
<b>Concreto</b>	Alto	Medio	Medio	Alto
<b>Acero</b>	Medio	Bajo	Bajo	Alto
<b>Polímeros</b>	Medio	Medio	Alto	Medio

## Reacciones químicas relevantes en la Ingeniería Civil

### Nota destacada para estudiantes: Química en obras civiles

#### ¿Sabías que...?

Cuando mezclas cemento, arena, grava y agua, no solo estás “haciendo concreto”: estás iniciando una serie de reacciones químicas que continuarán por semanas o, incluso, años. La hidratación del cemento genera nuevos compuestos que le dan resistencia al concreto, como los silicatos cálcicos hidratados (C-S-H); esta transformación es controlada por temperatura, humedad, proporciones y aditivos.

Del mismo modo, si una estructura de acero empieza a oxidarse, no basta con pintarla: es necesario comprender qué tipo de corrosión está ocurriendo, qué la está acelerando (pH, cloruros, oxígeno) y qué solución química es la más efectiva para detenerla.

Recuerda que la química no está solo en el laboratorio. Está en cada mezcla, en cada fisura, en cada decisión de diseño de materiales. Dominarla no es un lujo, es una ventaja profesional.

En la Ingeniería Civil, muchas de las propiedades esenciales de los materiales de construcción, como su resistencia, durabilidad o estabilidad están determinadas por reacciones químicas que ocurren desde el momento de su fabricación hasta mucho después de haber sido colocados en obra. Conocer estas reacciones permite prevenir fallas, mejorar la calidad de las estructuras y prolongar su vida útil.

## Hidratación del cemento y formación del gel C-S-H

Cuando el cemento se mezcla con agua, se inicia una serie de reacciones químicas que transforman la pasta fluida en un sólido resistente. Este proceso, conocido como hidratación del cemento, es esencial para el desarrollo de la resistencia mecánica del concreto, ya que genera productos como el gel C-S-H, responsable de la cohesión y la estructura interna del material. Según Picas Vidal *et al.* (2024), la formación del gel C-S-H constituye la fase principal de la hidratación, controlando la porosidad, la microestructura y las propiedades fisicoquímicas del cemento endurecido.

### Etapas del proceso de hidratación

#### a. Inicio de la reacción

En los primeros minutos tras el contacto con el agua, los compuestos principales del cemento, especialmente los silicatos, empiezan a disolverse. Estos compuestos son:

Silicato tricálcico (C<sub>3</sub>S):  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$

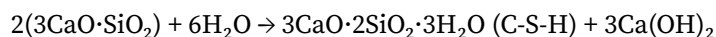
Silicato dicálcico (C<sub>2</sub>S):  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$

Durante esta etapa, los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{OH}^-$  comienzan a liberarse en el agua, aumentando el pH de la mezcla y preparando el entorno para la formación de productos hidratados.

#### b. Fraguado

Tras unas horas, los productos de hidratación empiezan a precipitar. Comienza la formación del gel C-S-H y del hidróxido de calcio:

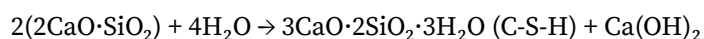
Reacción del C<sub>3</sub>S con el agua:



El gel C-S-H (silicato cálcico hidratado) es un compuesto amorfo que se forma en láminas o fibras microscópicas. Es el principal responsable de la cohesión interna del concreto.

#### c. Endurecimiento

Durante los días y semanas siguientes, continúa la hidratación de los silicatos, especialmente del C<sub>2</sub>S, que reacciona más lentamente:



A medida que aumenta la cantidad de C-S-H, el concreto gana resistencia mecánica. Sin embargo, el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  formado puede aumentar la porosidad y vulnerabilidad frente a agentes externos como  $\text{CO}_2$  o sulfatos.

## Importancia de controlar la hidratación

El proceso de hidratación del cemento es una reacción química compleja que determina las propiedades finales del concreto. Durante este, los silicatos reaccionan con el agua para formar compuestos como el gel C-S-H, que aporta resistencia, y el hidróxido de calcio, que influye en la durabilidad y comportamiento frente a agentes externos. Estos productos de hidratación son los responsables directos del fraguado y posterior endurecimiento del material.

## Proceso de hidratación del cemento

### 1. Inicio (mezcla con agua)

- Disolución de compuestos del *clinker*
- Principales fases: silicato tricálcico ( $C_3S$ ), silicato dicálcico ( $C_2S$ ), aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) y ferroaluminato tetracálcico ( $C_4AF$ )

### 2. Etapa de inducción (reposo inicial)

- Reacción lenta, pasta plástica
- Inicia la formación de etringita (Aft)

### 3. Etapa de aceleración (fraguado inicial)

- Formación intensa de gel C-S-H
- Liberación de calor
- Comienza el fraguado

### 4. Etapa de desaceleración (fraguado final)

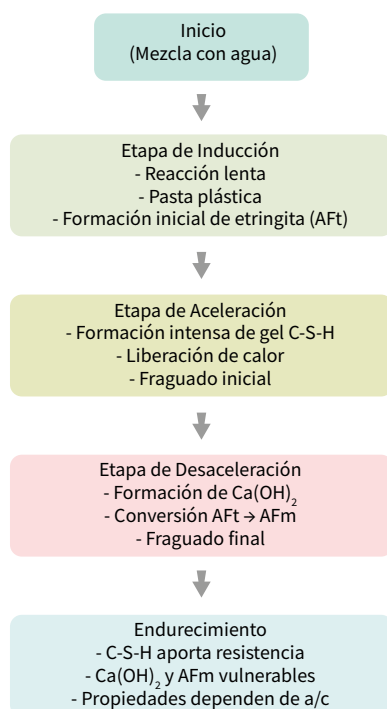
- Formación de hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ )
- Continuación de productos secundarios (Aft  $\rightarrow$  AFm)

### 5. Endurecimiento

- C-S-H como responsable de la resistencia mecánica
- $Ca(OH)_2$  y etringita como puntos débiles frente a agentes químicos (sulfatos,  $CO_2$ , cloruros)
- Influencia directa de la relación agua/cemento (a/c)

En la **Figura 6** se ilustra de manera esquemática la secuencia de reacciones que ocurren desde el inicio de la hidratación hasta el endurecimiento; se evidencia la importancia de controlar cada etapa para garantizar un desempeño óptimo del concreto en obra.

**Figura 6.** Proceso de hidratación del cemento



Un control inadecuado del proceso de hidratación puede tener consecuencias críticas en el desempeño del concreto. Si la reacción ocurre demasiado rápido, por falta de curado o alta temperatura ambiental, pueden aparecer fisuras tempranas que comprometen la durabilidad de la estructura. En contraste, una hidratación insuficiente, por escasez de agua o mezcla deficiente, reduce la formación de gel C-S-H, disminuyendo la resistencia mecánica y la capacidad de soportar cargas. Por ello, prácticas como el curado adecuado, el uso de aditivos y un correcto diseño de mezcla resultan esenciales para evitar patologías estructurales.

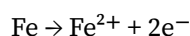
## Corrosión del acero: tipos, mecanismos y prevención

El acero utilizado como elemento estructural o de refuerzo en el concreto puede degradarse por acción del ambiente si no se toman las medidas adecuadas de protección. Este fenómeno se conoce como corrosión, una reacción química redox en la cual el hierro (Fe) se oxida y forma compuestos como óxidos e hidróxidos, visibles como herrumbre.

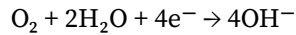
Tipos de corrosión comunes:

- **Corrosión uniforme:** La oxidación ocurre de manera pareja en toda la superficie metálica. Es más predecible y fácil de tratar.
- **Corrosión localizada (*pitting*):** Se manifiesta en forma de pequeños orificios profundos. Es peligrosa porque puede pasar desapercibida.
- **Corrosión galvánica:** Sucede cuando dos metales diferentes están en contacto eléctrico en presencia de un electrolito (agua con sales disueltas).
- **Mecanismo de la corrosión:** La corrosión del hierro implica dos reacciones simultáneas.

Oxidación del hierro (pérdida de electrones):



Reducción del oxígeno (ganancia de electrones):



Los iones  $\text{Fe}^{2+}$  reaccionan posteriormente con los iones  $\text{OH}^-$ , generando compuestos como el hidróxido de hierro ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ), que puede transformarse en óxidos hidratados (herrumbre), responsables de la expansión y fisuración del concreto.

## Medidas de prevención

- Aplicar recubrimientos protectores (pinturas epóxicas, galvanizado) sobre el acero para evitar el contacto con agua y oxígeno.
- Utilizar inhibidores de corrosión que interfieran en las reacciones redox o pasiven la superficie del metal.
- Diseñar adecuadamente los elementos estructurales para evitar zonas donde se acumule la humedad.
- Asegurar que el concreto tenga un pH mayor a 12, lo cual proporciona un entorno alcalino que pasiva al acero y reduce el riesgo de corrosión.

## Reacciones de carbonatación y sulfatación en concreto

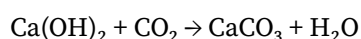
El concreto, aunque es un material durable y resistente, puede sufrir procesos de degradación química al estar expuesto a agentes del entorno. Dos de las reacciones más comunes que afectan su durabilidad son la carbonatación y la sulfatación. La carbonatación ocurre cuando el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire penetra en los poros del concreto y reacciona con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ); esto genera la formación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y reduce el pH de la matriz cementicia, lo que compromete la protección pasiva del acero de refuerzo.

Por su parte, la sulfatación o ataque por sulfatos implica la reacción entre los iones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y los aluminatos del cemento, generando productos expansivos, como la etringita y el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que provocan fisuración y pérdida de cohesión interna. De acuerdo con Bachtiar *et al.* (2023), ambos procesos dependen de factores fisicoquímicos como la porosidad, la humedad relativa, la temperatura y la composición mineralógica del cemento, siendo esenciales los controles de exposición y diseño para garantizar la durabilidad estructural.

## Carbonatación del concreto

Este fenómeno ocurre cuando el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente en el aire penetra a través de los poros del concreto. Una vez dentro, reacciona con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), uno de los productos de la hidratación del cemento.

## Reacción química

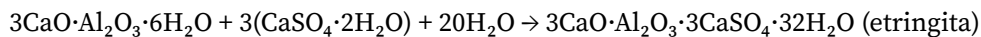


El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) se precipita, lo cual puede dar la apariencia de compactación. Sin embargo, el proceso reduce el pH del concreto de valores superiores a 12 hasta valores cercanos a 9. Esta disminución de alcalinidad rompe la pasivación del acero de refuerzo, permitiendo el inicio de la corrosión, si hay presencia de oxígeno y humedad.

## Sulfatación del concreto

Los iones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), presentes en suelos o aguas contaminadas, pueden penetrar en el concreto y reaccionar con los aluminatos hidratados del cemento. Esto genera compuestos expansivos, como la etringita (aluminato trisulfato cálcico hidratado), que aumentan de volumen y generan tensiones internas.

## Reacción química típica



La formación de etringita produce expansión dentro de la matriz del concreto, lo que genera fisuras, pérdida de cohesión y debilitamiento estructural. Este fenómeno es especialmente perjudicial en estructuras enterradas o en contacto constante con aguas ricas en sulfatos.

## Conclusión

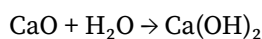
Ambos procesos, la carbonatación y la sulfatación, son reacciones lentas pero progresivas que afectan directamente la durabilidad del concreto y la integridad de las estructuras. El uso de concretos densos, aditivos impermeabilizantes y recubrimientos protectores son estrategias comunes para mitigar estos efectos químicos.

## Interacciones químicas en suelos estabilizados y aditivos

En proyectos de Ingeniería Civil, especialmente en obras viales y cimentaciones, la calidad del suelo es determinante para la estabilidad de la estructura. Cuando las condiciones del terreno no son óptimas, se recurre a procesos de estabilización química que modifican las propiedades del suelo a través de reacciones con cal, cemento o aditivos específicos.

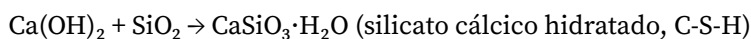
## Estabilización con cal

La cal (óxido de calcio,  $\text{CaO}$ ) se emplea comúnmente para estabilizar suelos arcillosos. Al ser mezclada con agua, se convierte en hidróxido de calcio:

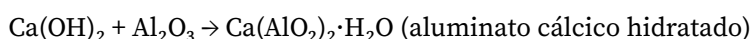


Este compuesto reacciona con los minerales de arcilla (principalmente silicatos y aluminatos) presentes en el suelo, generando productos cementantes que mejoran su comportamiento mecánico:

- Reacción pozolánica con sílice amorfa:



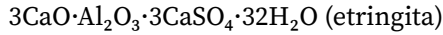
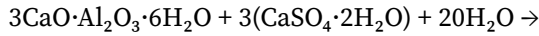
- Reacción con alúmina:



Estas reacciones reducen la plasticidad del suelo, aumentan su capacidad portante y disminuyen su sensibilidad al agua, haciéndolo más adecuado para soportar cargas estructurales.

## Precauciones en suelos con presencia de sulfatos

Cuando los suelos contienen iones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), la interacción con cal y aluminatos puede generar compuestos expansivos como la etringita, lo que podría inducir fisuras y levantamientos:



Por ello, es fundamental realizar ensayos previos de contenido de sulfatos en suelos y emplear técnicas de mitigación, como el uso de aditivos específicos o materiales con bajo contenido en aluminatos.

## Aditivos químicos y sus efectos

Además de la cal y el cemento, se utilizan diversos aditivos químicos para modificar el comportamiento del suelo o del concreto. Estos productos actúan a nivel molecular alterando las reacciones de hidratación o la interacción entre las partículas. Entre ellos destacan:

- Superplastificantes: Dispersan las partículas del cemento, mejorando la fluidez sin aumentar la cantidad de agua.
- Retardantes: Ralentizan el fraguado del cemento, lo que permite más tiempo de trabajabilidad en climas cálidos.
- Acelerantes: Aceleran el fraguado y endurecimiento, útiles en climas fríos o para aplicaciones urgentes.

Estas sustancias modifican las propiedades físicas del sistema cementante, pero también pueden influir en las reacciones químicas y en la microestructura del material endurecido.

## Conclusión

Las interacciones químicas en suelos estabilizados y en sistemas con aditivos son fundamentales para mejorar la capacidad de soporte, durabilidad y eficiencia constructiva. Una correcta caracterización del suelo y una adecuada selección de materiales y aditivos permiten optimizar el desempeño de las obras civiles a largo plazo.

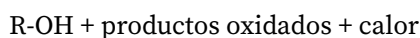
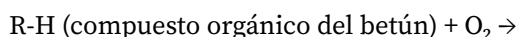
## Reacciones térmicas en asfaltos y mezclas bituminosas

Los asfaltos y mezclas bituminosas son materiales fundamentales en la construcción de pavimentos flexibles. Su comportamiento está principalmente dominado por propiedades físicas (viscosidad, adherencia, elasticidad), pero también experimentan transformaciones químicas cuando se exponen al calor, especialmente durante su fabricación, aplicación y vida útil en servicio.

## Efectos del calentamiento excesivo

Durante la producción y colocación de mezclas bituminosas, el betún (fracción pesada del petróleo crudo) es sometido a altas temperaturas. Si este calentamiento supera los límites recomendados (generalmente >160 °C), puede iniciarse un proceso de oxidación térmica.

Reacción general de oxidación del betún:



Estos productos oxidados incluyen cetonas, aldehídos, ácidos y resinas; ellas aumentan la rigidez del asfalto, disminuyen su adherencia y lo vuelven más frágil y propenso a agrietamientos.

## Reacciones de envejecimiento térmico

Con el paso del tiempo, el asfalto expuesto a ciclos térmicos, radiación ultravioleta (UV) y oxígeno atmosférico sufre un proceso conocido como envejecimiento térmico. Se da en dos etapas:

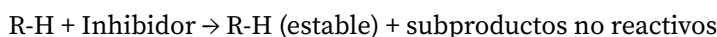
- Envejecimiento primario: Ocurre durante la fabricación y colocación. Se caracteriza por la pérdida de fracciones volátiles y la oxidación inicial.
- Envejecimiento secundario: Ocurre durante la vida útil del pavimento; es lento y progresivo, asociado a la exposición ambiental.

Ambos procesos provocan una reducción en la flexibilidad del ligante asfáltico, lo que incrementa el riesgo de fisuración térmica y deterioro prematuro del pavimento.

## Modificación del asfalto con polímeros y antioxidantes

Para mitigar los efectos del calor y del envejecimiento, se incorporan aditivos como polímeros modificadores (por ejemplo, estireno-butadieno-estireno, SBS) y antioxidantes. Estos actúan reforzando la estructura molecular del betún y reduciendo la velocidad de las reacciones de oxidación.

Ejemplo de estabilización con antioxidantes:



El uso de estos aditivos mejora la elasticidad, durabilidad y resistencia térmica del asfalto; de esta manera, prolonga su desempeño frente a condiciones climáticas adversas y cargas de tránsito.

## Conclusión

Aunque las mezclas bituminosas presentan principalmente cambios físicos con la temperatura, las reacciones químicas inducidas por el calor (oxidación y envejecimiento) afectan significativamente su comportamiento a largo plazo. Una correcta selección de materiales, control térmico durante la fabricación y el uso de aditivos apropiados son clave para garantizar la calidad y durabilidad de las estructuras viales asfaltadas.

Las reacciones químicas en los materiales de construcción determinan en gran medida su comportamiento a lo largo del tiempo y su durabilidad en condiciones de servicio. Procesos como la hidratación del cemento, la corrosión del acero, la carbonatación del concreto o la sulfatación son fenómenos frecuentes en la Ingeniería Civil; tienen impactos que van desde el desarrollo de resistencia hasta la degradación estructural. En la **Tabla 10** se resumen algunas de las reacciones químicas más relevantes, los materiales que intervienen y sus principales efectos; así, se constituye en una guía práctica para comprender cómo la química condiciona la vida útil de las obras civiles.

**Tabla 10.** Resumen de reacciones químicas relevantes en Ingeniería Civil

Reacción química	Material involucrado	Efecto principal
Hidratación del cemento	Cemento y agua	Genera resistencia (gel C-S-H)
Corrosión del acero	Acero y oxígeno/agua	Pérdida de sección del acero

<b>Carbonatación del concreto</b>	Concreto y CO <sub>2</sub>	Reducción del pH, activa corrosión
<b>Sulfatación del concreto</b>	Concreto y sulfatos	Fisuración por etringita
<b>Reacciones en suelos estabilizados</b>	Suelo y cal/cemento	Mejora estabilidad y resistencia
<b>Reacciones térmicas en asfaltos</b>	Betún (asfalto)	Fragilidad por envejecimiento

## Innovación química en nuevos materiales de construcción

En las últimas décadas, el avance en el conocimiento de la química de materiales ha generado una transformación profunda en el campo de la Ingeniería Civil. Ha permitido trascender el uso convencional de materiales como el concreto, el acero o el asfalto, incorporando enfoques científicos interdisciplinarios que han dado lugar a materiales más duraderos, sostenibles, eficientes e inteligentes.

Gracias al estudio detallado de las interacciones moleculares y de las reacciones fisicoquímicas que ocurren bajo distintas condiciones ambientales y estructurales, los ingenieros hoy pueden diseñar soluciones adaptadas a exigencias cada vez más complejas. Este progreso no solo se refleja en la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad, sino también en la capacidad de los materiales para responder activamente a su entorno.

Ejemplos destacados incluyen concretos autocompactantes, materiales autorreparables, revestimientos fotocatalíticos y asfaltos modificados con polímeros, que mejoran la eficiencia térmica y prolongan la vida útil de las infraestructuras. Asimismo, la integración de nanopartículas, aditivos químicos inteligentes y técnicas de estabilización molecular han permitido aumentar la resistencia frente a agentes agresivos, como cloruros, sulfatos, radiación UV o ciclos térmicos extremos.

En paralelo, la creciente conciencia sobre el impacto ambiental ha impulsado la creación de materiales ecológicos basados en residuos industriales, geopolímeros, y tecnologías de captura y uso de carbono en cementantes. Estas innovaciones responden a la necesidad de construir infraestructuras resilientes frente al cambio climático, minimizando la huella ecológica a lo largo del ciclo de vida de los materiales.

Como señalan Reyes-López *et al.* (2024), la innovación química aplicada a los materiales de construcción no solo redefine las fronteras del rendimiento estructural, sino que también consolida la transición hacia sistemas constructivos sostenibles, inteligentes y de baja emisión de carbono. En definitiva, la química de materiales no solo proporciona una base científica para comprender los materiales tradicionales, sino que habilita el desarrollo de nuevos compuestos avanzados, capaces de responder a las demandas del presente y del futuro de la Ingeniería Civil.

## Materiales sostenibles: geopolímeros, concreto verde y biocemento

### Geopolímeros

Son materiales cementantes alternativos al cemento Portland; fueron desarrollados a partir de la activación alcalina de compuestos ricos en sílice (SiO<sub>2</sub>) y alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), como cenizas volantes, escorias de alto horno o metacaolín. Este proceso de activación genera una matriz polimérica inorgánica tridimensional, altamente resistente a condiciones químicas y térmicas extremas.

## Etapas de reacción:

1. Disolución alcalina:

$\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se disuelven en un medio alcalino fuerte (NaOH o KOH).

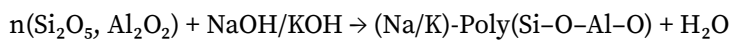
2. Polimerización:

Los iones  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  y  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  se unen formando enlaces Si-O-Al y Si-O-Si.

3. Formación del gel geopolimérico:

Se forma una red sólida tipo zeolita que se endurece.

## Reacción general simplificada:



## Concreto verde

Es una innovación que busca reducir el impacto ambiental de la construcción mediante la incorporación de materiales reciclados o residuos industriales, así como la optimización de mezclas con menor contenido de cemento y mayor eficiencia en el uso de agua. Como reemplazo parcial del cemento se puede utilizar escoria granulada de alto horno, cenizas volantes, humo de sílice, vidrio molido y caucho reciclado.

Estas investigaciones se alinean con las tendencias de concreto verde y hormigones alternativos, donde se busca incorporar desechos industriales o residuos orgánicos para reducir el impacto ambiental y explorar nuevas propiedades mecánicas (Pinto Almeida *et al.*, 2025)

Ejemplos de reemplazo: ensayos de materiales

- Cemento + 20% cenizas volantes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Agregado fino sustituido con vidrio reciclado ( $\text{SiO}_2$  amorfo)
- Uso de aditivos reductores de agua y plastificantes

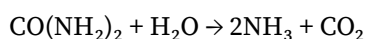
Estas modificaciones reducen la huella de carbono, mejoran la trabajabilidad y prolongan la durabilidad del concreto.

## Biocemento

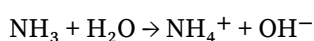
El biocemento emplea microorganismos (por lo general, bacterias del género *Sporosarcina pasteurii*) capaces de inducir la precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) a través de la hidrólisis de la urea. Este proceso de biomineralización es utilizado para rellenar poros o fisuras; así, mejora la resistencia mecánica y otorga capacidad de autorreparación a los materiales de construcción.

## Etapas del proceso:

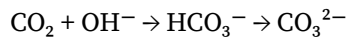
1. Hidrólisis de la urea por acción enzimática (ureasa):



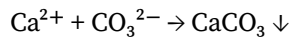
2. Reacción del amoníaco con agua:



3. Formación de carbonato:



4. Precipitación de  $\text{CaCO}_3$  en presencia de calcio:



El carbonato de calcio formado actúa como aglutinante natural, sellando microgrietas y mejorando la durabilidad del concreto.

## Conclusión

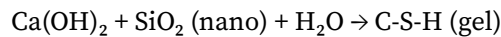
Los materiales sostenibles representan un avance significativo hacia la construcción verde. Geopolímeros, concreto verde y biocemento permiten reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$ , reutilizar residuos industriales y aumentar la vida útil de las estructuras. Su comprensión y correcta aplicación constituyen un pilar para el desarrollo de infraestructuras resilientes y ambientalmente responsables.

## Aplicación de nanotecnología en materiales de construcción

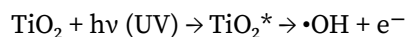
La nanotecnología se basa en el estudio, diseño y aplicación de materiales y dispositivos a escala nanométrica; es decir, a una dimensión del orden de los nanómetros ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). En Ingeniería Civil, su incorporación ha permitido el desarrollo de materiales avanzados con propiedades físico-químicas superiores, gracias a su capacidad de interactuar con la materia a nivel molecular y atómico.

### Nanopartículas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ )

Las nanopartículas de sílice se utilizan para mejorar la densificación de la matriz cementicia, ya que reaccionan con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) liberado durante la hidratación del cemento. Por ello, se genera más gel C-S-H (silicato cálcico hidratado), lo cual refuerza la estructura interna del concreto:



Por su parte, el  $\text{TiO}_2$  presenta propiedades fotocatalíticas. En presencia de luz UV, el dióxido de titanio genera radicales hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ) capaces de descomponer contaminantes orgánicos, otorgando propiedades autolimpiantes y descontaminantes a superficies urbanas:



### Nanotubos de carbono (CNT) y fibras nanoestructuradas

Los nanotubos de carbono (*carbon nanotubes*, CNT) poseen una estructura cilíndrica con enlaces covalentes tipo  $\text{sp}^2$  entre átomos de carbono (C), lo que les confiere una altísima resistencia mecánica y excelente conductividad eléctrica. Al incorporarlos en matrices de cemento, se mejora la resistencia a la tracción, la tenacidad y se reduce la fisuración.

Ejemplo de refuerzo: incorporación de 0.1% de CNT en peso en una mezcla de cemento puede aumentar hasta un 20% la resistencia a flexión y compresión.

### Nanoaditivos funcionales

Se han desarrollado diversos aditivos en forma de nanopartículas o soluciones coloidales que pueden cumplir funciones específicas:

- Nanopartículas de óxido de calcio (CaO): aceleran la hidratación inicial del cemento.
- Nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) o de molibdeno (MoO<sub>3</sub>): actúan como inhibidores de corrosión al formar capas pasivantes.
- Nanoalúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): mejora la resistencia al desgaste y la resistencia química.

## Conclusión

La aplicación de nanotecnología en la Ingeniería Civil representa una revolución en el desarrollo de materiales inteligentes, más resistentes, duraderos y sostenibles. Gracias a las interacciones a nivel nanométrico, es posible optimizar la estructura interna de materiales tradicionales como el concreto, incorporando nuevas funcionalidades que mejoran su comportamiento frente a condiciones ambientales severas, exigencias estructurales complejas y procesos de degradación a largo plazo.

## Química verde: reducir impacto ambiental desde el diseño

La química verde es un enfoque científico que promueve el diseño de productos y procesos que reduzcan o eliminen el uso y la generación de sustancias peligrosas. En el contexto de la Ingeniería Civil, su aplicación busca minimizar el impacto ambiental durante el ciclo de vida de los materiales, desde la fabricación hasta la disposición final.

## Principios aplicados a la Ingeniería Civil

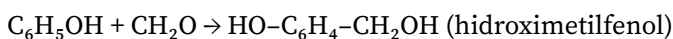
- Uso de materias primas renovables o recicladas (vidrio molido, caucho triturado, escoria de alto horno).
- Sustitución de compuestos tóxicos como formaldehído (CH<sub>2</sub>O) por resinas ecológicas a base de lignina o taninos.
- Empleo de cementantes alternativos como geopolímeros que requieren menos energía y generan menos CO<sub>2</sub>.
- Optimización de procesos para reducir el consumo de agua y energía térmica.

## Ejemplos de aplicación con formulación química

### Eliminación de formaldehído (CH<sub>2</sub>O):

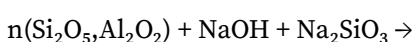
Tradicionalmente, usado en resinas, se reemplaza con compuestos fenólicos naturales no tóxicos como la lignina (C<sub>9</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>)<sub>n</sub>.

Reacción de formaldehído con fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH):



### Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> mediante el uso de geopolímeros:

NaOH (hidróxido de sodio) y Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (silicato de sodio) activan cenizas ricas en SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para formar polímeros inorgánicos.



(Na-polymer)(Si-O-Al-O) + H<sub>2</sub>O

## Etapas de diseño sostenible

1. Selección de materias primas: Se priorizan insumos reciclados o de bajo impacto ambiental.
2. Evaluación de toxicidad: Se excluyen compuestos peligrosos para la salud o el ambiente.
3. Ingeniería de procesos: Se diseñan rutas de síntesis más eficientes (menos pasos, menor energía).
4. Implementación de tecnologías limpias: como el curado por microondas o catalizadores verdes.

## Conclusión

La química verde permite a la Ingeniería Civil avanzar hacia prácticas constructivas más limpias y sostenibles. Al reducir el uso de sustancias peligrosas, optimizar el consumo de recursos y fomentar la innovación en materiales, se contribuye directamente al bienestar ambiental y a la resiliencia de las infraestructuras modernas.

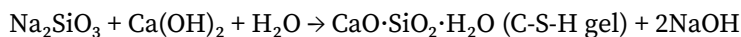
## Materiales inteligentes: autorreparación y sensores embebidos

Los materiales inteligentes son aquellos que tienen la capacidad de responder de forma activa a estímulos externos como temperatura, humedad, esfuerzos mecánicos o variaciones químicas. En Ingeniería Civil, estos materiales representan una nueva generación de soluciones estructurales que no solo cumplen una función pasiva, sino que interactúan con su entorno para prolongar su vida útil, reducir costos de mantenimiento y mejorar la seguridad operativa.

## Concretos autorreparables

Incorporan micro cápsulas que contienen compuestos como silicato de sodio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) o lactato de calcio (Ca(C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Cuando se produce una microgrieta, las cápsulas se rompen y liberan el agente de curado, que reacciona con el agua o con los compuestos del cemento para formar productos sólidos que rellenan la grieta.

Ejemplo de reacción con silicato de sodio:

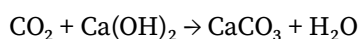


El gel C-S-H formado actúa como un agente de relleno y refuerzo, restaurando parcialmente la integridad del material.

## Sensores químicos embebidos

Estos sensores son dispositivos miniaturizados incorporados directamente en el concreto u otros materiales estructurales. Pueden medir variables como el pH, la humedad relativa, la concentración de iones cloruro (Cl) o la presencia de gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que indican riesgos de corrosión.

Ejemplo de reacción de riesgo detectada:



Esta reacción es detectada por sensores como indicio de carbonatación del concreto, que puede reducir su pH y permitir la corrosión del acero de refuerzo.

## Polímeros con memoria de forma (SMP)

Son materiales que pueden deformarse y, posteriormente, recuperar su forma original, al ser expuestos a un estímulo como el calor. Están compuestos por segmentos de cadena con enlaces cruzados que permiten memorizar una configuración.

Estos materiales son utilizados en juntas de expansión o componentes móviles que requieren adaptarse a movimientos o temperaturas variables. Su comportamiento se basa en transiciones de fase reversibles (como la vítrea o de fusión), sin que ocurra una reacción química permanente.

## Conclusión

La implementación de materiales inteligentes en Ingeniería Civil transforma radicalmente el diseño y mantenimiento de infraestructuras. Gracias a mecanismos de autorreparación, monitoreo interno y adaptación al entorno, es posible lograr estructuras más seguras, eficientes y sostenibles, anticipando daños y extendiendo significativamente su vida útil.

## Conclusión de la sección

La innovación en materiales de construcción es hoy inseparable de la química aplicada. El desarrollo de geopolímeros, biocementos, aditivos nanotecnológicos o concretos inteligentes es posible gracias a investigaciones que combinan conocimiento químico y visión ingenieril. Para el ingeniero civil del siglo XXI, dominar estas herramientas es fundamental para construir de manera más eficiente, segura y sostenible. La innovación en materiales de construcción ha incorporado avances químicos que buscan no solo mejorar el desempeño estructural, sino también responder a los desafíos de sostenibilidad y durabilidad. Nuevas alternativas como los geopolímeros, el concreto verde, el biocemento, los nanomateriales, los concretos autorreparables y los sensores embebidos representan un cambio de paradigma en la Ingeniería Civil, al ofrecer soluciones más resistentes, regenerativas y adaptadas a entornos cambiantes. En la **Tabla 11** se sintetizan estas innovaciones, se resaltan sus ventajas químicas y las aplicaciones más relevantes en el ámbito constructivo contemporáneo.

**Tabla 11.** Resumen de innovaciones químicas en materiales de construcción

Material innovador	Ventajas químicas	Aplicaciones
Geopolímeros	Alta resistencia química, baja huella de carbono	Estructuras expuestas a ambientes agresivos
Concreto verde	Reutilización de residuos, reducción de emisiones	Obras sostenibles y ecológicas
Biocemento	Sellado de grietas por precipitación biogénica de $\text{CaCO}_3$	Infraestructura con capacidad de regeneración
Nanomateriales	Mayor compacidad, menor porosidad y mayor durabilidad	Hormigones especiales, pavimentos, revestimientos
Concretos autorreparables	Liberación de agentes químicos que rellenan fisuras	Construcción de larga vida útil con bajo mantenimiento
Sensores embebidos	Monitoreo en tiempo real de parámetros químicos internos	Obras inteligentes y mantenimiento predictivo

## Casos de aplicación representativos

El entendimiento profundo de los principios químicos aplicados a los materiales de construcción no se limita al ámbito teórico. Por el contrario, este conocimiento se ha convertido en una herramienta fundamental para resolver problemáticas complejas en obras de Ingeniería Civil, optimizar el uso de insumos, reducir el impacto ambiental y extender la vida útil de infraestructuras estratégicas.

En la práctica, los avances en química de materiales han permitido desarrollar soluciones específicas ante fenómenos como la corrosión de armaduras, el agrietamiento prematuro del concreto, la exposición a ambientes agresivos o la necesidad de mejorar el desempeño térmico y mecánico de las construcciones.

A continuación, se presentan casos representativos y experiencias reales en los que la aplicación del conocimiento químico ha sido determinante para:

- Rehabilitar estructuras deterioradas mediante el uso de biocementos y morteros poliméricos.
- Prevenir daños en zonas sísmicas o ambientes extremos con el uso de geopolímeros resistentes a temperaturas elevadas y sustancias corrosivas.
- Monitorear y controlar la salud estructural a través de sensores químicos embebidos y recubrimientos inteligentes.
- Reducir la huella de carbono de grandes proyectos, mediante concretos verdes formulados con adiciones industriales recicladas y aditivos químicos ecoeficientes.

Estas experiencias no solo reflejan el avance de la Ingeniería Civil moderna, sino también la importancia de integrar ciencia, tecnología y sostenibilidad en la toma de decisiones técnicas desde el diseño hasta el mantenimiento de las infraestructuras.

## Prevención de la corrosión en estructuras costeras

### Caso de estudio: Puente Bahía-San Vicente (Ecuador)

Ubicado en una región costera —caracterizada por alta humedad relativa y concentración significativa de cloruros debido a la brisa marina—, este puente exigía soluciones constructivas con un enfoque químico; se requería prevenir la corrosión del acero de refuerzo.

### Solución química aplicada

1. Uso de concreto con baja relación agua/cemento (a/c):

- Una menor relación a/c reduce la porosidad capilar del concreto, lo que dificulta el ingreso de agentes agresivos, como los iones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ).
- Relación típica utilizada:  $a/c < 0.45$

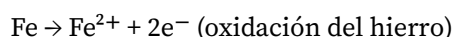
2. Incorporación de aditivos impermeabilizantes:

- Estos aditivos, como los silanos o siliconatos, reaccionan con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) presente en la pasta de cemento:

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Si-compuesto} \rightarrow \text{gel hidrofóbico que bloquea poros y capilares.}$

### 3. Inclusión de inhibidores de corrosión:

- Se utilizan compuestos como nitrito de calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ ) que interfieren en la reacción redox del hierro:



- Esta reacción protege al acero, ya que lo mantiene en estado pasivo y forma una capa protectora de óxidos estables.

### 4. Recubrimiento epóxico del acero de refuerzo:

- El acero se recubre con resinas epóxicas que forman una barrera física contra el ingreso de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), esenciales para la reacción de corrosión.
- De esta forma, se impide el desarrollo del par electroquímico responsable de la corrosión.

Resultado: Gracias a estas medidas químicas integradas desde el diseño, se logró minimizar la corrosión del acero expuesto a condiciones salinas. Esto permitió extender la vida útil del puente, reducir significativamente los costos de mantenimiento y garantizar la seguridad estructural frente a un entorno agresivo.

## Reparación con materiales autorreparables

### Caso de estudio: Edificio de investigación en Países Bajos (Universidad de Delft)

En este proyecto se empleó concreto con propiedades de autorreparación, mediante la incorporación de cápsulas poliméricas embebidas en la matriz cementicia. Estas cápsulas contenían un agente sellador reactivo que, al liberarse por acción mecánica, desencadenaba una reacción química capaz de rellenar y sellar fisuras.

### Etapas del proceso químico de reparación

#### 1. Formación de fisuras:

- Durante la vida útil del edificio, el concreto puede presentar microfisuras debido a cargas, contracción térmica o cambios de humedad.
- Estas fisuras generan tensiones localizadas que rompen las cápsulas incorporadas en la mezcla.

#### 2. Liberación del agente sellador:

- Al romperse, las cápsulas liberan un monómero (por ejemplo, metacrilato de metilo,  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ ) o una resina epóxica.
- Este agente fluye hacia la fisura gracias a la capilaridad del concreto dañado.

#### 3. Reacción química de sellado:

- En contacto con un catalizador o con la humedad ambiente, el monómero sufre una polimerización:  $n(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2) \rightarrow (\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2)_n$  (polímero sólido).

- El producto final endurece dentro de la grieta, sellándola completamente y restaurando la continuidad del material.

#### 4. Prevención de nuevas fisuras:

- El material recupera parte de su resistencia mecánica y reduce el ingreso de agentes agresivos como agua, CO<sub>2</sub> o Cl<sup>-</sup>, lo cual mejora su durabilidad.
- Se evita la progresión del daño y se prolonga la vida útil de la estructura.

Resultado: La implementación de concreto autorreparable permitió que la estructura del edificio mantuviera su integridad sin necesidad de intervenciones manuales. Esto significó una disminución importante en los costos de mantenimiento, una reducción en el uso de materiales para reparaciones posteriores y una menor emisión de CO<sub>2</sub> asociada a procesos de rehabilitación convencionales.

### **Caso de estudio: Pavimento urbano en Medellín, Colombia (concreto verde con ceniza volante)**

En un proyecto de pavimentación urbana, se reemplazó una parte del cemento Portland tradicional por ceniza volante, un subproducto generado en la combustión de carbón en plantas termoeléctricas. Esta sustitución parcial permitió disminuir significativamente la huella de carbono del material utilizado, a la vez que se potenciaron propiedades de durabilidad del concreto.

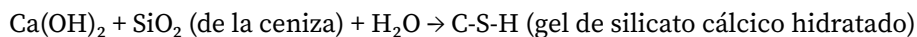
#### **Etapas del proceso químico con ceniza volante**

##### 1. Sustitución parcial del cemento Portland:

- Se reemplazó entre un 15% y 30% del *clinker* del cemento por ceniza volante (principalmente rica en óxidos de silicio SiO<sub>2</sub> y aluminio Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).
- Esto reduce la cantidad de *clinker* necesaria, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso de producción del cemento.

##### 2. Reacción puzolánica con productos de hidratación:

- La ceniza volante actúa como una puzolana al reaccionar con el hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) liberado durante la hidratación del cemento:



- Este gel adicional mejora la microestructura del concreto, reduce la porosidad y refuerza la resistencia mecánica.

##### 3. Mejora en la resistencia a los sulfatos:

- Al consumir parte del Ca(OH)<sub>2</sub> mediante la reacción puzolánica, disminuye la formación de etringita secundaria en presencia de sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>):



- Esto reduce el riesgo de expansión interna y fisuración asociada a la sulfatación del concreto.

#### 4. Beneficios térmicos:

- El concreto con ceniza volante presenta menor generación de calor de hidratación, lo que reduce el riesgo de fisuras térmicas en elementos de gran volumen.
- Esta propiedad es especialmente útil en climas cálidos o en obras masivas.

Resultado: El concreto verde aplicado en este pavimento urbano presentó un mejor comportamiento frente a ambientes agresivos con presencia de sulfatos, menor calor de hidratación y una significativa reducción en emisiones de CO<sub>2</sub>. Adicionalmente, los costos de producción se redujeron, haciendo del proyecto una alternativa técnica y ambientalmente favorable para el desarrollo urbano sostenible.

## Uso de nanotecnología en edificios inteligentes

### Caso de estudio: Torre BBVA Bancomer (México)

En esta torre se incorporaron soluciones basadas en nanotecnología para maximizar la eficiencia energética y minimizar el mantenimiento de las superficies expuestas. Uno de los principales avances fue la aplicación de recubrimientos nanocerámicos sobre las fachadas del edificio, con el objetivo de reducir el ensuciamiento y mejorar la reflexión de la radiación solar.

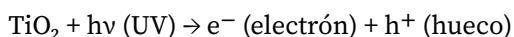
### Etapas del proceso y reacciones relacionadas

#### 1. Aplicación del recubrimiento nanocerámico:

- Se emplearon soluciones coloidales de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en tamaño nanométrico (10-50 nm) en capas delgadas sobre los paneles exteriores.
- Estas nanopartículas forman una película continua que actúa como barrera fotocatalítica y autolimpiante.

#### 2. Activación por radiación UV:

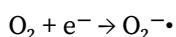
- Bajo exposición solar, el TiO<sub>2</sub> se activa por la radiación ultravioleta, generando pares electrón-hueco:



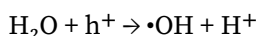
- Estos portadores de carga inducen reacciones redox sobre la superficie del recubrimiento.

#### 3. Reacciones fotocatalíticas autolimpiantes:

- Los electrones reducen el oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) para formar radicales superóxido:



- Los huecos oxidan el agua (H<sub>2</sub>O) o el vapor atmosférico generando radicales hidroxilo:



- Estos radicales atacan y descomponen compuestos orgánicos contaminantes o partículas adheridas:



#### 4. Efecto hidrofílico y arrastre por lluvia:

- El recubrimiento de  $\text{TiO}_2$  también presenta propiedades hidrofílicas, lo que permite que el agua de lluvia se extienda uniformemente y arrastre los residuos sueltos, sin dejar manchas.
- Esto reduce drásticamente la necesidad de mantenimiento manual.

Resultado: La incorporación de nanotecnología en la fachada de la Torre BBVA Bancomer no solo contribuyó a mantener la limpieza de las superficies, sino que también mejoró la reflexión de la radiación solar, reduciendo la carga térmica del edificio. Como consecuencia, se logró un ahorro energético en sistemas de climatización, menor necesidad de limpieza mecánica y una mejora en la estética urbana sostenible.

## Rehabilitación de suelos estabilizados con cal

### Caso de estudio: Red vial rural en el altiplano boliviano

En esta región con caminos de difícil acceso y suelos de alto contenido arcilloso, se aplicó una solución química tradicional y efectiva: estabilización de suelos mediante el uso de cal hidratada. Este proceso transformó las propiedades físico-químicas del suelo, lo que permitió mejorar significativamente la transitabilidad y resistencia de los caminos rurales.

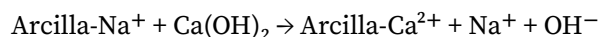
### Etapas del proceso químico de estabilización con cal

#### 1. Adición de cal hidratada al suelo:

- Se utiliza cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , también conocida como hidróxido de calcio.
- Esta sustancia se mezcla con suelos ricos en minerales arcillosos, que contienen silicatos y aluminatos naturales (como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

#### 2. Reacción inmediata (modificación del suelo):

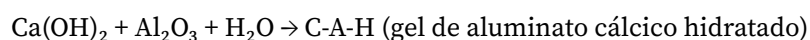
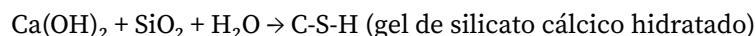
- Inicialmente ocurre una reacción de intercambio iónico, donde los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  de la cal reemplazan a los iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) en la arcilla:



- Esto provoca una floculación y aglomeración de las partículas de arcilla, reduciendo su plasticidad y aumentando su trabajabilidad.

#### 3. Reacción secundaria (puzolánica):

- Con el tiempo, el hidróxido de calcio reacciona con los silicatos y aluminatos de la arcilla, dando lugar a la formación de compuestos cementantes como:



- Estos compuestos endurecen la mezcla, por lo que aportan resistencia a la compresión y durabilidad frente a ciclos climáticos.

#### 4. Mejoras obtenidas:

- Disminución del índice plástico (PI) del suelo.
- Aumento de la capacidad portante.
- Mejora de la resistencia al agua y estabilidad dimensional del camino.
- Reducción de polvo en épocas secas y de lodazales en épocas de lluvia.

Resultado: La intervención con cal permitió transformar suelos arcillosos inestables en capas estructuralmente más competentes y resistentes. Este método se consolidó como una alternativa de bajo costo y alto impacto técnico-social para mejorar la infraestructura vial en zonas rurales del altiplano boliviano.

La aplicación de la química en la Ingeniería Civil no se limita a teorías de laboratorio, sino que se refleja en proyectos reales alrededor del mundo. El uso de concreto verde en Medellín, la incorporación de nanotecnología en la Torre BBVA Bancomer en México, la prevención de corrosión en el puente Bahía-San Vicente en Ecuador, el desarrollo de concretos autorreparables en Países Bajos y la estabilización de suelos en el altiplano boliviano son ejemplos claros de cómo la ciencia química transforma la práctica constructiva. En la **Figura 7** se ilustran estas aplicaciones; muestra cómo la innovación química contribuye a obras más sostenibles, resistentes y adaptadas a las necesidades locales.

**Figura 7.** Aplicaciones de la química en casos reales de Ingeniería Civil



### Conclusión de la sección

Estos casos demuestran que el conocimiento químico no es solo teórico: permite tomar decisiones estratégicas que ahorran recursos, mejoran la calidad de vida y promueven la sostenibilidad. Como futuro ingeniero civil, tu capacidad de aplicar principios químicos puede marcar la diferencia entre una obra costosa y vulnerable, y una solución duradera e innovadora.

## **Demandas actuales y proyecciones futuras de la química en la construcción**

La Ingeniería Civil actual se encuentra ante condiciones complejas y exigencias crecientes: urbanización acelerada, impactos del cambio climático, escasez de recursos naturales y necesidad urgente de construir de manera más eficiente y ambientalmente responsable. En este escenario, la química se posiciona como una herramienta estratégica, fundamental no solo para analizar materiales, sino para reinventar los procesos constructivos con visión sostenible.

### **Compromiso con la sostenibilidad**

Uno de los temas más críticos hoy en día es reducir el impacto ambiental asociado a la construcción, particularmente en materiales como el concreto y el acero, cuya producción es intensiva en emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **¿Cómo aporta la química?**

- ◉ Desarrollo de materiales con menor huella de carbono, como los geopolímeros o el biocemento.
- ◉ Optimización de las reacciones químicas del cemento para disminuir el consumo de agua y energía.
- ◉ Sustitución de insumos tradicionales por residuos industriales reutilizables.

### **Extensión de la vida útil de las estructuras**

Incrementar la durabilidad de las obras implica menos intervenciones, menor consumo de materiales y mayor eficiencia a largo plazo. Lograrlo requiere un dominio profundo de las interacciones químicas que afectan a los materiales con el tiempo.

#### **Estrategias químicas aplicables:**

- ◉ Incorporación de inhibidores de corrosión en mezclas de concreto.
- ◉ Aplicación de recubrimientos protectores inteligentes.
- ◉ Uso de concretos con capacidades de autorreparación o sensores químicos para detectar deterioro.

### **El nuevo perfil del ingeniero civil: interdisciplinariedad e innovación**

La construcción del futuro exige profesionales con formación más amplia. El ingeniero civil deberá tener competencias en:

- ◉ Química de materiales
- ◉ Nanotecnología y biotecnología
- ◉ Automatización y monitoreo estructural inteligente

La comprensión de las transformaciones y propiedades de los materiales permitirá al profesional integrarse eficazmente en equipos multidisciplinarios orientados a desarrollar soluciones innovadoras y resilientes.

## Regulaciones técnicas con base química

Las normas de calidad y seguridad para materiales de construcción incorporan cada vez más requisitos basados en su comportamiento fisicoquímico.

### Algunos requisitos comunes:

- Límite de penetración de cloruros (ASTM C1202)
- Ensayos de resistencia a ambientes agresivos
- Análisis de sostenibilidad y ciclo de vida (LEED, ISO, INEN)

Conocer estos parámetros permite diseñar infraestructuras más robustas y normativamente alineadas.

## Mirada hacia el futuro: química para construir un nuevo paradigma

Las oportunidades que se vislumbran para la química en la construcción son extraordinarias:

- Materiales inteligentes y adaptativos
- Diseño molecular de componentes estructurales
- Integración total de la química verde en procesos constructivos
- Ciudades del futuro con infraestructuras regenerativas y autosuficientes

## Conclusión de la sección

La química representa una herramienta transformadora en la Ingeniería Civil. Al comprenderla y aplicarla desde los primeros niveles de formación, los futuros ingenieros estarán preparados para enfrentar condiciones complejas, impulsar soluciones creativas y contribuir a una construcción más eficiente, segura y sostenible.

La Ingeniería Civil, más allá del cálculo estructural y la planificación de obras, requiere de una comprensión profunda de los materiales con los que se construye. En este contexto, la química se revela como una ciencia clave que permite entender, controlar y mejorar el comportamiento de los materiales en todas las etapas del ciclo de vida de una estructura: desde la selección y diseño de la mezcla hasta el mantenimiento y su eventual reciclaje.

A lo largo de este capítulo, se ha evidenciado que:

- La hidratación del cemento, la corrosión del acero, la carbonatación, y otras reacciones químicas son fenómenos que impactan directamente la resistencia, durabilidad y funcionalidad de las obras.
- El dominio de los fundamentos químicos es esencial para aplicar soluciones efectivas, como el uso de aditivos, materiales reciclados, tecnología de sensores o sistemas autorreparables. Ellos permiten extender la vida útil de las construcciones y reducir su huella ambiental.
- La innovación en materiales de construcción está directamente vinculada con los avances en química, desde los geopolímeros hasta los nanomateriales, contribuyendo al desarrollo de edificaciones más inteligentes, resilientes y sostenibles.

- Casos reales en diferentes países han demostrado que aplicar el conocimiento químico en el diseño y mantenimiento de infraestructuras mejora significativamente el rendimiento técnico y económico de las obras.
- Finalmente, los retos contemporáneos, como el cambio climático, la eficiencia energética y la sostenibilidad, exigen que el futuro profesional de la Ingeniería Civil integre saberes multidisciplinarios; la química es uno de los pilares de su formación.

Como estudiante que inicia su camino en la ingeniería, comprender el lenguaje de la materia y sus transformaciones químicas te permitirá desarrollar criterios técnicos más sólidos y contribuir con soluciones que respeten el entorno, protejan vidas y construyan un futuro más seguro.

## Clasificación de los materiales y sus propiedades

En la construcción podemos clasificar los materiales bajo varios parámetros, pero debemos enfocarnos en el uso que le vamos a dar y dónde los vamos a implementar dentro de nuestra edificación. La **Tabla 12** muestra la clasificación más típica de los materiales.

**Tabla 12.** Clasificación de los materiales y sus propiedades

Clase	Propiedades
<b>Física</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Densidad y forma (dimensión y forma)</li> <li>2. Gravedad específica y densidad</li> <li>3. Porosidad</li> <li>4. Contenido de humedad</li> <li>5. Macroestructura</li> <li>6. Microestructura</li> </ol>
<b>Químicas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Óxido o composición compleja</li> <li>2. Acidez o alcalinidad</li> <li>3. Corrosión</li> </ol>
<b>Físicas y químicas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acción hidrosolvente o hidrorrepelente</li> <li>2. Contracción y dilatación</li> </ol>
<b>Mecánica</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Resistencia</li> <li>2. Rigidez</li> <li>3. Elasticidad y plasticidad</li> <li>4. Ductilidad y fragilidad</li> <li>5. Dureza</li> <li>6. Capacidad energética</li> </ol>
<b>Térmica</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calor específico</li> <li>2. Expansión</li> <li>3. Conductividad</li> </ol>
<b>Electrónicas y magnéticas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conductividad</li> <li>2. Permeabilidad magnética</li> <li>3. Acción galvánica</li> </ol>
<b>Acústica</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transmisión del sonido</li> <li>2. Reflexión del sólido</li> </ol>

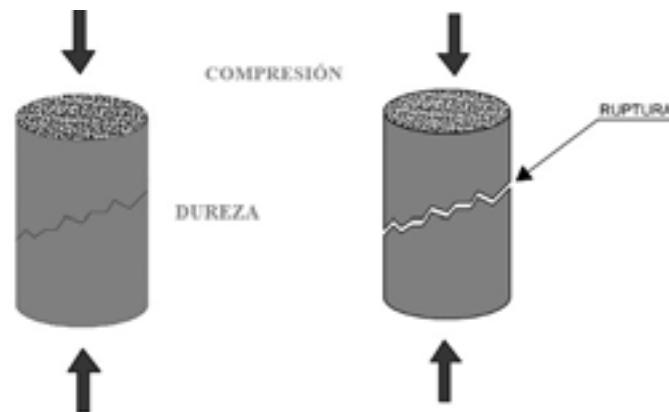
## Propiedades mecánicas de los materiales

Las propiedades mecánicas de los materiales describen su comportamiento bajo la aplicación de fuerzas, la diferencia entre respuestas elásticas (reversibles) e inelásticas (permanentes). De acuerdo con Murugan (2020), entre las propiedades fundamentales se encuentran:

**Resistencia:** Capacidad del material para soportar esfuerzos sin fallar. Se mide a través del esfuerzo aplicado hasta alcanzar una condición límite o ruptura.

**Dureza:** Resistencia del material a la penetración o rayado en su superficie. Es una medida específica de la resistencia superficial del material.

**Figura 8.** Probeta sometida a compresión



La rigidez está directamente relacionada con la magnitud de la deformación que ocurre bajo carga, como se muestra en la **Figura 8**. Dentro del rango del comportamiento elástico, la rigidez se mide por el módulo de elasticidad.

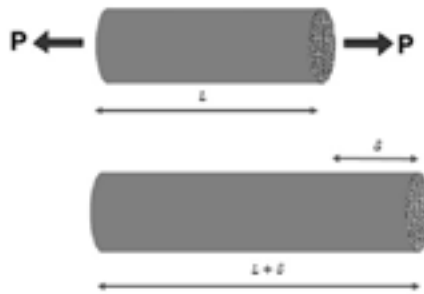
La elasticidad (mas no el módulo elástico) se refiere a la capacidad de un material para deformarse no permanentemente; es decir, si aplicamos una carga a un material y luego la retiramos, lo vamos a deformar, pero no permanentemente, permitiéndolo volver a su forma original. Adicionalmente, el término plasticidad se usa para indicar la capacidad para deformarse en el rango plástico-elástico sin que ocurra ruptura.

## Esfuerzo axial

El esfuerzo axial es una de las primeras cosas que aprende un estudiante de Ingeniería Civil o Arquitectura al conocer sobre estructuras. Se refiere a la fuerza que actúa a lo largo del eje de un elemento, como una columna o una viga. Puede estirar el material (tracción) o aplastarlo (compresión), dependiendo de su dirección, como detalla en la **Figura 8** (Wang & Salmon, 2021). Imagina una cuerda: si la jalas desde ambos extremos, estás aplicando un esfuerzo axial de tracción. Ahora, imagina un poste que sostiene el techo de una casa: está recibiendo un esfuerzo axial de compresión, ya que el techo lo empuja hacia abajo.

Este tipo de esfuerzo es fundamental en la construcción, porque ayuda a entender cuánto peso o fuerza puede soportar un material antes de romperse o deformarse, como detalla la **Figura 9**. Por eso, es indispensable en el diseño de estructuras seguras.

**Figura 9.** Probeta sometida a esfuerzos axiales



**Nota.** Cuando son esfuerzos positivos (+), son de tracción; y los negativos (-) son de compresión. Se los denomina normales.

*Nomenclatura:*

$\sigma$  = Esfuerzo

$P$  = Fuerza aplicada

$A$  = Área de la sección donde se aplicó la fuerza

$$P = \sigma \cdot A$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Unidades

Sistema Internacional

$$\sigma(\text{sigma}) = \frac{\text{kgF}}{\text{cm}^2}$$

Sistema Inglés

$$\sigma(\text{sigma}) = \frac{\text{LbF}}{\text{plg}^2} = \text{PSI}$$

Los esfuerzos deben actuar sobre la sección transversal y estar distribuidos uniformemente sobre el área; entonces, las resultantes de estos esfuerzos deben ser igual a la magnitud del esfuerzo ( $P$ ) por el área de la sección transversal ( $A$ ), como se detalla en la **Figura 10**.

$$P = A$$

$$\text{PESO} = \text{ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL}$$

**Figura 10.** Cilindro de hormigón sometido a una carga axial



## Desarrollo de problema

### Ejercicio de aplicación 1 (fuerzas axiales a compresión y tracción)

Calcular el esfuerzo producido en un cilindro de hormigón simple sometido a cargas de tracción.



#### Datos:

- Radio (R) = 0.5 ft
- Carga (P) = 3N

**Paso 1:** Se recomienda mantener uniformidad en el uso de unidades; es decir, emplear exclusivamente el Sistema Internacional o el Sistema Inglés en todo el ejercicio.

$$0.5 \text{ ft} \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 15.24 \text{ cm}$$

$$3 \text{ N} \times \frac{0.102 \text{ kgf}}{1 \text{ N}} = 0.306 \text{ kgf}$$

**Paso 2:** Verificamos el tipo de material y sus características geométricas. Para este caso, tenemos un cilindro; es decir, su sección transversal será circular, a lo cual calcularemos su área.

$$A_0 = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A_0 = \frac{\pi \times (30.48 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_0 = 729.63 \text{ cm}^2$$

$$A_0 = \pi \times r^2$$

$$A_0 = \pi \times (15.24 \text{ cm})^2$$

$$A_0 = 729.65 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Aplicamos la fórmula del esfuerzo con carga axial.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{0.306 \text{ kg}}{729.65 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 0.00041 \text{ kgf/cm}^2$$

Puesto que el esfuerzo normal se obtiene dividiendo la fuerza axial entre el área de la sección transversal, tiene unidades de fuerza por unidades de área. Se emplean unidades inglesas (**PSI**) o (**KPS**) por pulgada cuadrada (KSI). Por ejemplo, supongamos que esta barra tiene un diámetro de 2 pulgadas y la carga  $P = 6$  kbf.

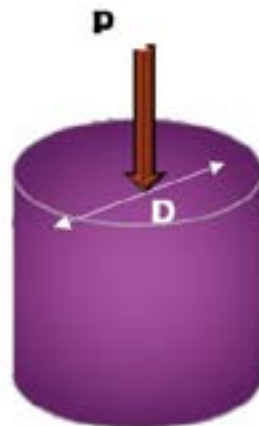


$$\sigma = \frac{6 \text{ klb}f}{\frac{\pi(2)^2}{4}}$$

$$\sigma = 1.91 \text{ KPSI}$$

### ***Ejercicio de aplicación 2 (fuerzas axiales a compresión y tracción)***

Calcular el esfuerzo producido en un cilindro de hormigón simple sometido a cargas de compresión.



**Datos:**

Diámetro = 10 mm → 1 cm

Carga = 8 kgf → P = 8 kgf

$$A_o = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi \cdot (1 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_o = 0.78 \text{ cm}^2$$

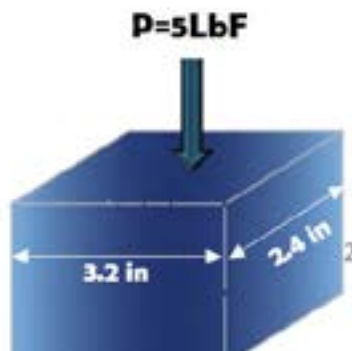
$$\sigma = \frac{P}{A_o}$$

$$\sigma = \frac{8 \text{ kgf}}{0.78 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 10.25 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

### ***Ejercicio de aplicación 3 (fuerzas axiales a compresión y tracción)***

Calcular el esfuerzo producido en un cuerpo de hormigón simple sometido a cargas de compresión.



**Datos:**

Carga 5 lbf → P = 5 lbf

$$\sigma = \frac{P}{A_{\blacksquare}}$$

$$A_{\blacksquare} = 2.4 \text{ in} \cdot 2.4 \text{ in}$$

$$A_{\blacksquare} = 5.76 \text{ in}^2$$

$$\sigma = \frac{5 \text{ lbf}}{5.76 \text{ in}^2}$$

$$\sigma = 0.87 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

Cuando se utilizan medidas del Sistema Internacional, la fuerza se expresa en (N) Newtons y el área en metros cuadrados ( $m^2$ ); en consecuencia, el esfuerzo tiene unidades ( $n/m^2$ ) y esto equivale a 1 pascal (Pa). Sin embargo, el pascal es una unidad de esfuerzo pequeño que es necesario trabajar con múltiplos grandes, usualmente llamados megapascales (MPa).

**Tabla 13.** Propiedades de los materiales

Rigidez	Elasticidad	Plasticidad	Capacidad energética
Se mide en función de su módulo.	Está definida por el límite elástico.	Está en función de la deformación.	Resiliencia.
			

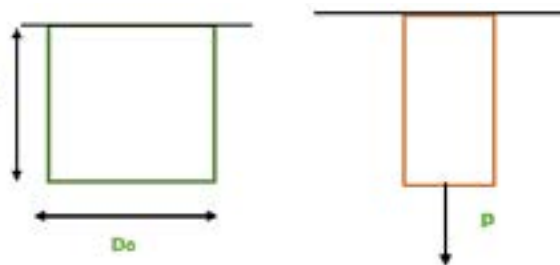
## Capacidad energética

Es la capacidad de un material para absorber energía elástica, como en el ejemplo que se muestra en la **Tabla 13**. Depende de su resistencia y rigidez y se conoce como resiliencia dentro del rango de comportamiento elástico. A mayor resiliencia, mayor será la capacidad del material para resistir deformaciones sin daño permanente. Esta propiedad representa una ventaja en el diseño estructural, ya que contribuye a prevenir daños irreversibles o el colapso ante cargas repentinas o dinámicas.

## Procedimientos en los ensayos

Para ensayar materiales específicamente enfocados a los proyectos civiles, la propiedad a ser medida es la mecánica; por lo tanto, se desea conocer la resistencia que este material tenga para aportar en la construcción. Como se muestra en la **Figura 11**, se lo debe someter a cargas; en algunos casos, dependiendo del tipo de ensayo a cargas progresivas con la intención de mostrar el esfuerzo del material.

**Figura 11.** Representación de un cuerpo con y sin cargas



**Nota.** La nomenclatura utilizada corresponde a los siguientes términos: longitud inicial del material “Lo”, diámetro inicial del material “Do”, carga “P”, deformación “▲”.

Se debe llevar un registro, si fuese el caso de que la máquina que ensaya el material no lo automatic; el proceso de ensayo sometido a cargas axiales lleva el esquema que se muestra en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Recopilación de datos

Carga	Deformaciones	Esfuerzo	Deformación unitaria
<b>P</b>	$\Delta$	$\sigma = \frac{P}{A}$	$\epsilon = \frac{\Delta}{L_0}$
<i>kg</i>	<i>mm</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>mm/mm</i>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>P1</b>	$\Delta 1$	$\sigma 1$	$\epsilon 1$
<b>P2</b>	$\Delta 2$	$\sigma 2$	$\epsilon 2$
<b>P3</b>	$\Delta 3$	$\sigma 3$	$\epsilon 3$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
<b>PR</b> <b>PR = Carga de ruptura</b>	$\Delta r$ $\Delta r =$ Deformación de ruptura	$\sigma r = \frac{PR}{A_0}$ $\sigma r =$ Esfuerzo de ruptura	$\epsilon = \frac{\Delta r}{L_0}$ $L_0 =$ Longitud inicial

## Tablas de conversiones

A continuación, se presentan algunas de las tablas de conversión más comunes y utilizadas en el mercado. La **Tabla 15** corresponde a las medidas de longitud. Asimismo, se han incluido los diferentes sistemas de medición, por lo que la **Tabla 16** presenta el Sistema Inglés. En el ámbito de la construcción, los cálculos relacionados con los pesos son de gran importancia; para ello se incluyen la **Tabla 17** y la **Tabla 18**. Finalmente, la **Tabla 19** y la **Tabla 20** muestran las medidas de fuerzas y esfuerzos; toda esta es información necesaria para el desarrollo de los ejercicios posteriores.

**Tabla 15.** Conversiones medidas de longitud

	cm	m	km	in	ft	mi
Centímetro	1	0.01	0.00001	0.3937	0.032	0.000062
Metro	100	1	0.001	39.37	3.28	0.00062
Kilómetro	100.000	1.000	1	0.0000928	3280.83	0.6213
Pulgada	2.54	0.0254	$2.54 \times 10^{-5}$	1	0.083	0.000013
Pie	30.48	0.3048	0.000348	12	1	0.000189
Milla	160.934	1.609	1.60934	63.360	5.280	1

**Nota.** Tabla adaptada de Rodríguez Galbarro Hermenegildo (s. f.)

**Tabla 16.** Conversiones más usadas en el Sistema Inglés

Medida	Equivalencia
1 pie	12 pulgadas
1 yarda	3 pies
1 yarda	36 pulgadas
1 milla	1 760 yardas

*Nota.* Tabla adaptada de Rodríguez Galbarro Hermenegildo (s. f.)

**Tabla 17.** Conversiones medidas de masa

	g	kg	lb	oz
<b>Gramo</b>	1	0.001	$2.2 \times 10^{-3}$	0.035
<b>Kilogramo</b>	1 000	1	2.204	35.27
<b>Libra</b>	454	0.454	1	16
<b>Onza</b>	28.3	0.0283	0.0625	1

*Nota.* Tabla adaptada de Rodríguez Galbarro Hermenegildo (s. f.)

**Tabla 18.** Conversiones más usadas en medidas de masa

Medida	Equivalencia
1 t	1 000 kg
1 qq	50 kg
1 kg	2.204 lb
1 lb	16 oz

*Nota.* Tabla adaptada de Rodríguez Galbarro Hermenegildo (s. f.)

**Tabla 19.** Conversiones medidas de fuerza

Medida	Equivalencia	Medida	Equivalencia
1 N	0.22481 lbf	1 lbf	4.44822 N
1 kN	224.81 lbf	1 ozf	0.27801 N
1 mN	224.809 lbf	1 t	8 896 044 N
1 lbf	4.44822 N	1 kips	4 448 022 N
1 ozf	0.27801 N	1 poundal	0.13825 N

*Nota.* Tabla adaptada de Rodríguez Galbarro Hermenegildo (s. f.)

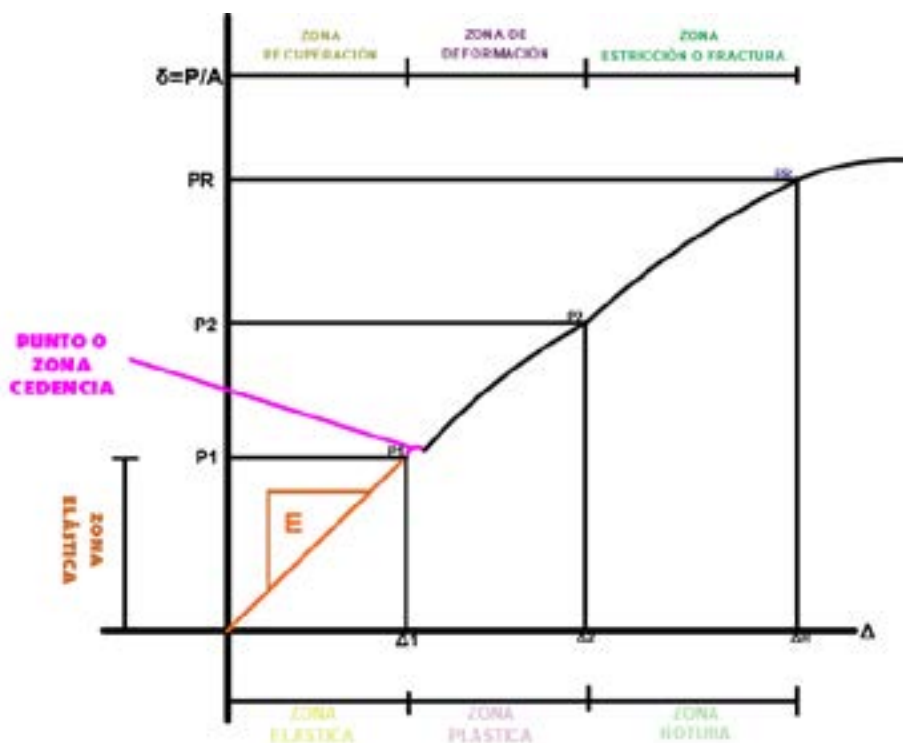
**Tabla 20.** Conversiones medidas de esfuerzo

Medida	Equivalencia	Medida	Equivalencia
1 Pa	0.000145 PSI	1 PSI	6.89476 KPa
1 KPa	0.145038 PSI	1 KSI	6894.76 KPO
1 MPa	145.038 PSI	1 lbf/in <sup>2</sup>	6894.76 KPO
1 GPa	145037.7 PSI	1 ton/in <sup>2</sup>	6894.760 KPO
1 PSI	6894.76 Pa	1 Pa	0.000145038 PSI
1 Ton/in <sup>2</sup>	6894.760 Pa	1 MgPa	145 038 PSI

*Nota.* Tabla adaptada de Rodríguez Galbarro Hermenegildo (s. f.)

Se puede afirmar que lo fundamental en un ensayo de compresión es conocer los esfuerzos que soporta el material sometido a las cargas. No obstante, no se puede dejar de lado la importancia del gráfico esfuerzo-deformación, el cual debe ser correctamente interpretado para tomar las decisiones adecuadas en los cálculos estructurales. Es esencial comprender el comportamiento del material, para lo cual se debe analizar cada fase del diagrama, como se muestra en la **Figura 12**.

**Figura 12.** Gráficos obtenidos del ensayo



### Ejemplo de ensayo 1

Para el ejemplo, se ensayaron dos muestras cilíndricas de hormigón con las siguientes características; se obtuvo un diagrama esfuerzo deformación como se detalla en la **Figura 13**.

### Muestra 1

$L_0 = 400 \text{ mm}$

$A_0 = 1 \text{ cm}^2$

$P_1 = 500 \text{ kgf}$  (kilopondio)

$\Delta l = 1 \text{ mm/mm}$

### Muestra 2

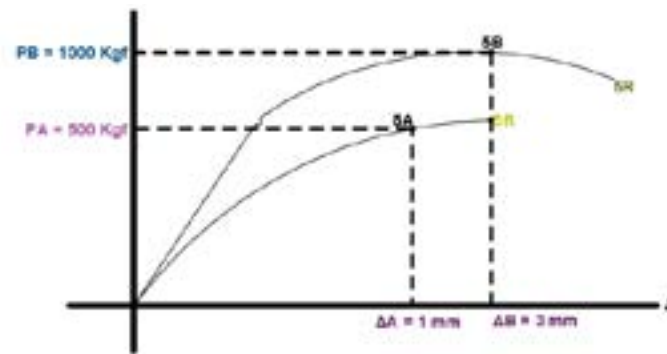
$L_0 = 200 \text{ mm}$

$A_0 = 0.5 \text{ cm}^2$

$P_1 = 100 \text{ kgf}$  (kilopondio)

$\Delta l = 3 \text{ mm/mm}$

**Figura 13.** Diagrama esfuerzo–deformación

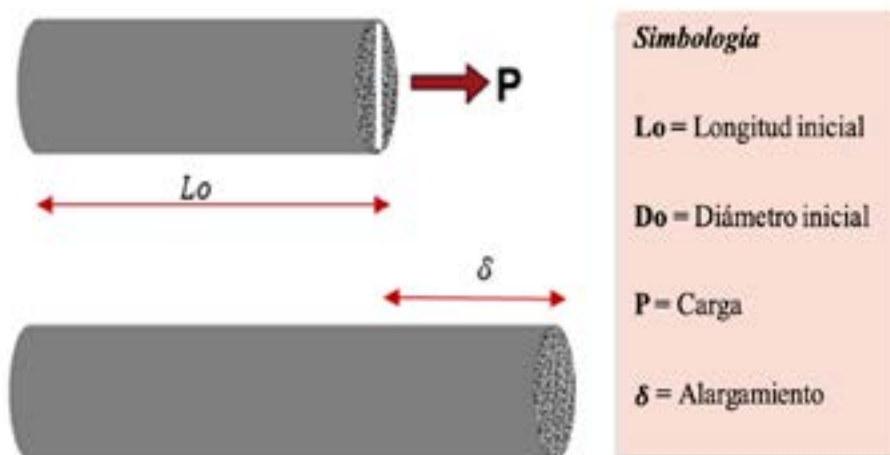


$$\checkmark \sigma_A = \frac{P_A}{A_A} \quad \sigma_A = \frac{500 \text{ kgf}}{1 \text{ cm}^2} \quad \sigma_A = 500 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\checkmark \sigma_B = \frac{P_B}{A_B} \quad \sigma_B = \frac{100 \text{ kgf}}{0.5 \text{ cm}^2} \quad \sigma_B = 200 \text{ kgf/cm}^2$$

## Deformación unitaria

**Figura 14.** Representación del alargamiento de una probeta

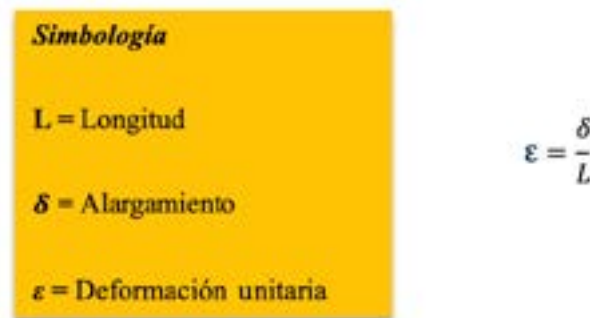


La deformación unitaria es la medida del alargamiento o acortamiento relativo de un material, que ocurre en respuesta a una carga aplicada, como se muestra en la **Figura 14**. Se define como el cambio de longitud dividido para la longitud original y puede variar a lo largo del cuerpo del material.

Si consideramos  $L_0/2$  (mitad), tendrá un alargamiento de  $\delta/2$  y si consideramos  $L_0/4$  de alargamiento, será  $\delta/4$ . El alargamiento de un segmento es igual a su (longitud/ longitud total \* alargamiento); esta condición se cumple, si solo si, el material es homogéneo.

Así, una longitud unitaria de la barra tendrá un alargamiento  $1/(L_0 * \delta)$ ; esta cantidad se denomina *alargamiento/unidad de longitud* (denotado por  $\epsilon$ ), “deformación unitaria”.

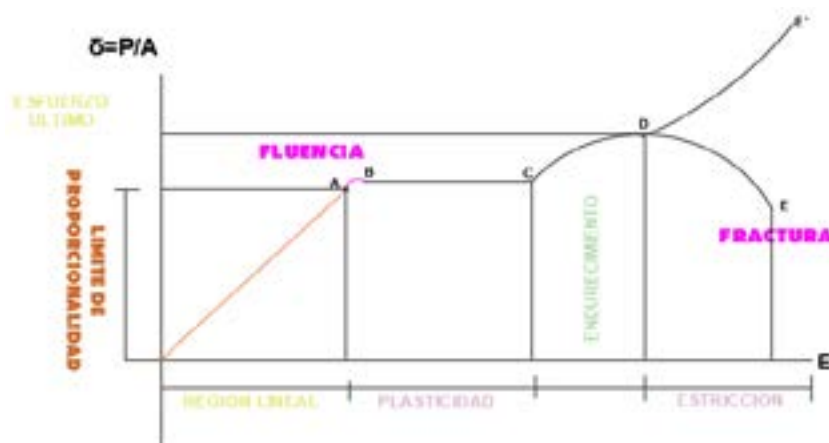
## Deformación unitaria



## Diagrama esfuerzo-deformación

Los resultados de los ensayos dependen de las dimensiones de la muestra. Como es poco probable que diseñemos una estructura que tenga partes con el mismo tamaño que las muestras para ensayo, es necesario que se exprese de una manera que se pueda aplicar a elementos; una forma simple de lograr este objetivo es convertir los resultados de los ensayos en esfuerzo y deformación unitaria.

**Figura 15.** Diagrama esfuerzo–deformación de un material no rígido



**Nota.** Adaptado de Rosete Fonseca *et al.* (2018)

La **Figura 15** corresponde a un material denominado acero estructural, conocido como acero dulce o acero al bajo carbono A36; es uno de los materiales más utilizados en la construcción.

Este diagrama se representa comúnmente en tensión; sin embargo, es el que mejor muestra el comportamiento bien marcado en las etapas de un material o de una estructura. Las deformaciones unitarias están trazadas en el eje horizontal; y los esfuerzos, en el eje vertical (gráfico sin escala).

El objetivo de esta explicación es que el lector logre entender el comportamiento del material en sus etapas de respuesta ante una fuerza aplicada. El diagrama inicia con una línea recta desde el origen (0) hasta el punto (A); indica la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en esta región inicial. No solo es lineal, sino también proporcional uno con el otro. Más allá del punto (A), no existe proporcionalidad entre el esfuerzo-deformación unitaria; de ahí que al esfuerzo (A) se le nombre límite de proporcionalidad para este tipo de aceros (210 MPa-330 MPa), pero los aceros de alta resistencia que contienen mayor cantidad de carbono pueden llegar a tener mayor límite de proporcionalidad.

Conversiones: Por lo general, las máquinas universales en donde realizamos los ensayos a compresión y tracción de hormigón nos expresan los resultados en mega pascales.

<del>21 MPa</del>	1 kgf/cm <sup>2</sup>	= 214.14 kgf/cm <sup>2</sup>
0.098 <del>MPa</del>	—	
<del>35 MPa</del>	1 kgf/cm <sup>2</sup>	= 356.9 kgf/cm <sup>2</sup>
0.098 <del>MPa</del>	—	
<del>55 MPa</del>	1 kgf/cm <sup>2</sup>	= 560.84 kgf/cm <sup>2</sup>
0.098 <del>MPa</del>	—	

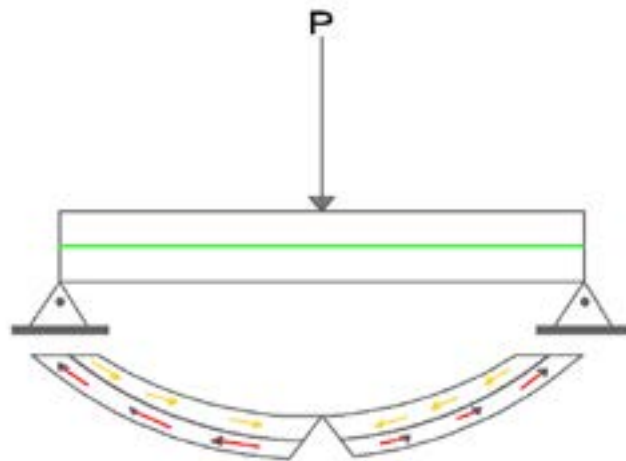
A la pendiente de la recta O a A de la **Figura 15**, se la denomina módulo de elasticidad. Debido a que la pendiente tiene unidades de esfuerzo dividido entre la deformación unitaria, el módulo de elasticidad posee las mismas unidades que el esfuerzo.

Cuando el esfuerzo aplicado a un material supera el límite de proporcionalidad, la deformación unitaria aumenta más rápidamente que el esfuerzo, lo que indica la pérdida de comportamiento elástico. Al alcanzar el esfuerzo de fluencia, el material entra en una fase de deformación plástica, durante la cual pierde su rigidez elástica y comienza a deformarse permanentemente. A su vez, la curva esfuerzo-deformación tiene una pendiente cada vez mejor, hasta que en el punto B de la **Figura 15**, se vuelve horizontal. A partir de este punto, ocurre un alargamiento considerable de la muestra para ensayo, sin un incremento notable en la fuerza de tensión (tracción); este fenómeno se conoce como fluencia del material. El punto B de la **Figura 15** se denomina punto de fluencia. El esfuerzo correspondiente se conoce como esfuerzo de fluencia del acero.

En la región B a C de la **Figura 15**, el material se vuelve perfectamente plástico, lo cual significa que se deforma sin un aumento en la carga aplicada. El alargamiento de la muestra en la región perfectamente plástica usualmente es de 10 a 15 veces que el que ocurre en la región lineal o elástica.

Después de experimentar las grandes fluencias en las regiones BC de la **Figura 15**, el acero empieza a endurecer por deformación.

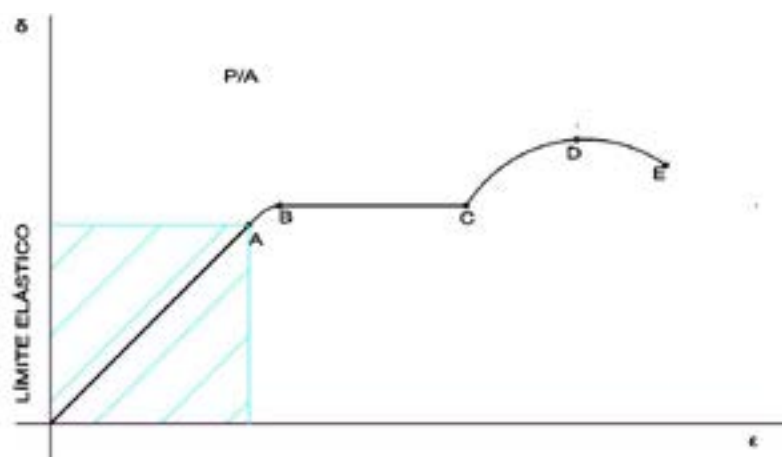
**Figura 16.** Comportamiento de una viga sometida a flexión



En la **Figura 16** se indica el comportamiento de una viga a flexión, en donde se evidencia que las fibras inferiores se comportan a tracción y las superiores, a compresión. Esto denota el cambio físico en su estructura fibrosa o cristalina; como resultado, las fibras a compresión se juntan dando una resistencia mayor en la zona de endurecimiento por deformación.

Durante el endurecimiento, el material experimenta cambios en su estructura cristalina, resultando en una resistencia mayor de material ante una fuerza adicional. El alargamiento de este acero en esta región requiere de un aumento de la carga; por lo tanto, el diagrama esfuerzo-deformación tiene pendiente positiva desde C hasta D. Al final, la carga llega a su valor máximo y el esfuerzo correspondiente en el punto D se denomina esfuerzo último. La zona de D a E y E' se conoce como de estricción, debido a que el material llega a su ruptura por el alcance de su esfuerzo; como efecto lógico, el material se rompe o llega a fallar, como lo detalla la **Figura 17**.

**Figura 17.** Límite elástico o límite de proporcionalidad



**Nota.** Adaptado de Rosete Fonseca *et al.* (2018)

**Límite elástico:** Es el valor máximo de esfuerzo que un material puede soportar sin sufrir deformación permanente. Si se supera, el material ya no recupera su forma original al retirar la carga. No debe confundirse con el módulo de Young ni con el módulo de rigidez, que son propiedades distintas, relacionadas con la elasticidad del material. Se lo detalla en la **Figura 18**.

## Ley de Hooke

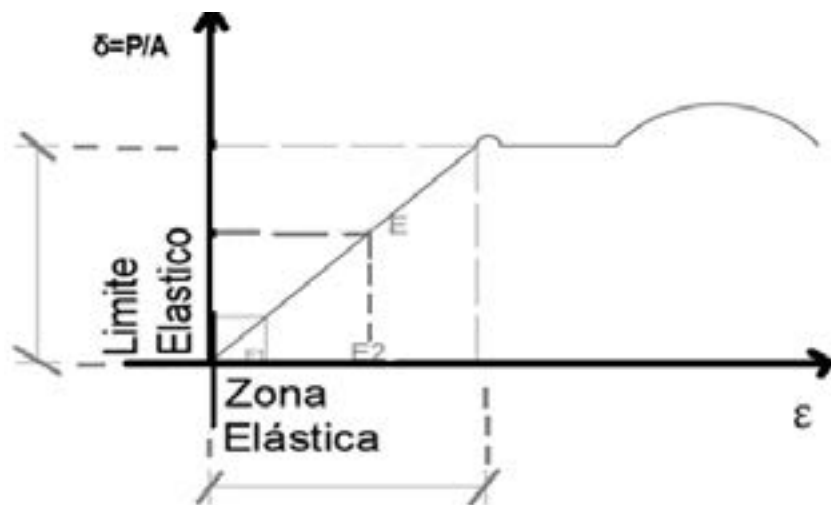
Establece la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación; es decir, los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones, lo que significa que se dibuja una línea recta. La Ley de Hooke es uno de los principios más importantes en la mecánica de materiales. Describe cómo se comportan los materiales elásticos cuando se les aplica una fuerza.

En palabras simples, “mientras no se sobrepase el límite elástico, un material se deforma proporcionalmente a la fuerza que se le aplica”. En otras palabras, si estiras una varilla con el doble de fuerza, esta se alarga o acorta el doble, siempre que no se deforme permanentemente o que no llegue a su esfuerzo de fluencia, como se muestra en la **Figura 18**.

## La aplicación de la práctica de la ley de Hooke

- Diseño estructural: Se aplica para calcular cuánto se deformará una viga, columna o cable cuando se somete a cargas.
- Control de calidad: Sirve para evaluar la elasticidad de materiales, como el acero o el hormigón antes de usarlos en obras.

**Figura 18.** Zona elástica y límite elástico



**Nota.** Se puede notar que, a mayor pendiente, el material es más rígido y tiene menos oposición a ser deformado.  
Adaptado de Rosete Fonseca *et al.* (2018).

En el límite de proporcionalidad, se forma una recta: en el eje de las ordenadas, el esfuerzo; y en el de las abscisas, las deformaciones, como podemos ver en la **Figura 18**. Se sabe que la fórmula para expresar una recta se basa en la pendiente, que en este caso será el módulo de Young; reemplazamos de la siguiente manera:

## Fórmulas

$$Y = m * x$$

$$\sigma = E * \epsilon$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ Ley de Hooke}$$

## Nomenclatura

E = Módulo de elasticidad o Yang

$\Sigma$  = Esfuerzo

E = Deformación

Ao = Área inicial

Lo = Longitud inicial

P = Carga

## Límite de proporcionalidad

Es el máximo valor de esfuerzo, hacia donde se cumple la Ley de Hooke. En el diagrama esfuerzo-deformación se puede obtener otra presentación de dicha ley.

- En la aclaración anterior mostramos de dónde viene la fórmula del módulo de Young, la cual se obtiene a partir de la ecuación de la pendiente.
- Despejamos la deformación unitaria.

$$\varepsilon * E = \sigma$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

- La deformación unitaria corresponde a la relación entre la variación de la longitud con respecto a su longitud inicial.

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_o}$$

- Reemplazamos, obteniendo la siguiente ecuación.

$$\frac{\Delta}{L_o} = \frac{\sigma}{E}$$

- De igual manera, expresamos la fórmula del esfuerzo, la cual responde a la relación entre la fuerza y el área.

$$\sigma = \frac{P}{A_o}$$

- Reemplazamos.

$$\frac{\Delta}{L_0} = \frac{P}{A_0 * E}$$

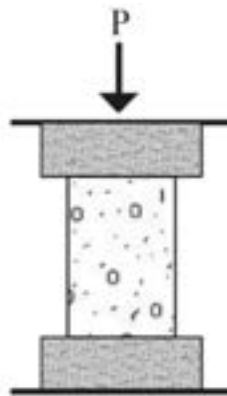
- Despejamos la variación de la longitud obteniendo la fórmula de la Ley de Hooke.

$$\Delta = \frac{P * L_0}{A_0 * E}$$

## Condiciones para la aplicación de Hooke

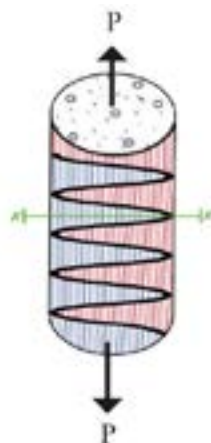
La carga tiene que ser axial, como se detalla en la **Figura 19**.

**Figura 19.** Probeta de hormigón sometida a una carga axial céntrica



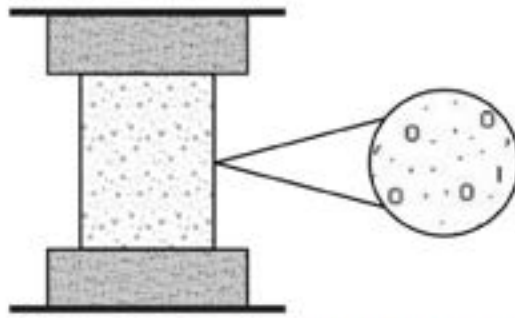
- La sección donde se aplica la carga debe ser constante, como se detalla en la **Figura 20**.

**Figura 20.** Probeta de hormigón de sección constante



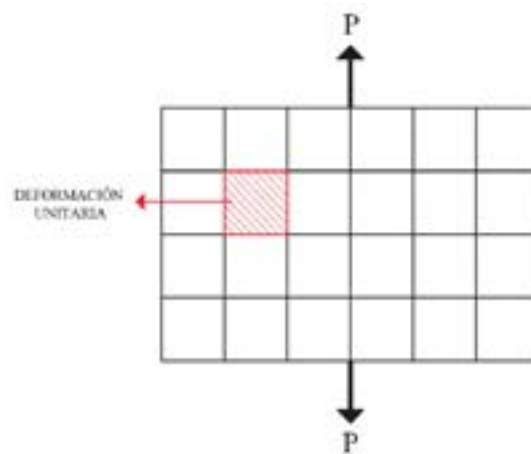
- El material tiene que ser homogéneo, como se detalla en la **Figura 21**.

**Figura 21.** Probeta de hormigón



- La carga debe coincidir con el centro de gravedad del objeto, como se detalla en la **Figura 22**.

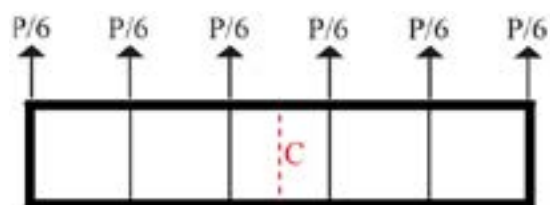
**Figura 22.** Esquema de fraccionamiento de deformaciones



### ¿Por qué existe una deformación uniforme?

Sucede cuando existe una distribución de esfuerzos correctamente repartidos a través del cuerpo, como se muestra en la **Figura 23**.

**Figura 23.** Esquema de esfuerzos aplicados uniformemente



## Material homogéneo

Es aquel que tiene la misma composición química en todo su volumen, y sus partículas están distribuidas uniformemente; es decir, está compuesto en su totalidad del mismo material y es uniforme en su geometría. Al contrario, un material heterogéneo es el empleado en un cuerpo que en su composición contiene varios materiales; asimismo, su forma puede ser variable.

## Módulo de elasticidad

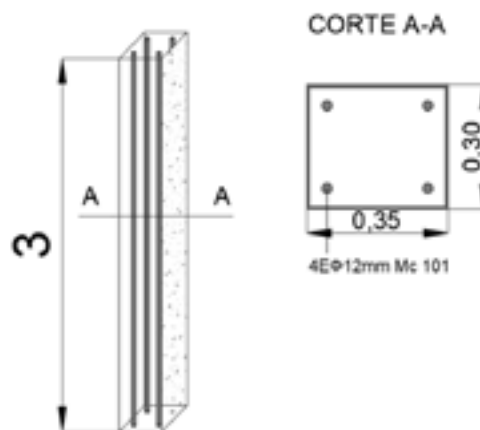
Un módulo elástico es una constante elástica derivada de las propiedades elásticas de los materiales (gases, fluidos y sólidos), que involucra una medida relacionada con la tensión y una con la deformación. El módulo elástico de un objeto se define como la pendiente de su diagrama de esfuerzo-deformación en la región de deformación elástica. Un material más rígido tendrá un módulo elástico mayor. Un módulo elástico tiene la forma donde tensión es la fuerza que causa la deformación dividida por el área. En la **Tabla 21** se muestra el valor del módulo elástico de algunos materiales típicos en la construcción.

**Tabla 21.** Módulos de elasticidad de los materiales más utilizados de la construcción

Material	E (kg/cm <sup>2</sup> )
Acero	2.1 x 10 <sup>6</sup>
Hormigón	2.1 x 10 <sup>5</sup>
Madera	1 a 2 x 10 <sup>5</sup>
Aluminio	7 a 8 x 10 <sup>5</sup>

## Ejercicio de aplicación 1

Calcular la deformación longitudinal ( $\delta$ ) de una columna de hormigón armado de las siguientes características:



**Paso 1:** Analizamos los datos. Notamos que tenemos dos módulos de elasticidad, por ser hormigón armado: el primero es de acero; en este caso denominaremos "Es", y "Ec" al concreto.

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**Paso 2:** Calculamos el área de la sección total de la columna “At”; después, el del acero “As” y el área que está ocupando el hormigón “Ac” dentro de nuestra sección de columna.

$$A_T = 35 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} = 1\,050 \text{ cm}^2$$

$$A_S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 4 \text{ varillas}$$

$$A_S = \frac{\pi \cdot (1.2)^2}{4} \cdot 4 \text{ varillas} = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$A_C = A_T - A_S$$

$$A_C = 1\,050 \text{ cm}^2 - 4.52 \text{ cm}^2$$

$$A_C = 1\,045.68 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Planteamos la ecuación de Hooke para el hormigón “ΔH” y el acero “ΔA”.

$$\Delta A = \frac{PA \cdot LA}{EA \cdot AA} \quad \Delta H = \frac{PH \cdot LH}{EH \cdot AH}$$

**Paso 4:** La carga total “PT” debe ser absorbida por la columna. Si recordamos que el material de la columna es hormigón armado —es decir, concreto y acero—, la carga aplicada se descompone en la que va a soportar el acero “PA” y la que soportará el concreto “PH”.

$$PT = PA + PH$$

$$50\,000 \text{ kg} = PA + PH$$

$$PA = 50\,000 \text{ kg} - PH$$

**Paso 5:** Tanto la deformación del acero como la del hormigón deben ser iguales, ya que se considera que es un cuerpo homogéneo y se lo está sometiendo a una carga axial; por lo tanto, se cumple la ley de Hooke.

$$\Delta A = \Delta H$$

- Reemplazamos las fórmulas de la variación de longitud de cada material.
- La fuerza que le corresponde al acero es de 50 000 kg – PH.
- Aplicamos los valores de los módulos de elasticidad; asimismo, los valores de las áreas de acero.
- Desarrollamos la ecuación

$$50\,000 - PH = PH \cdot 0.043$$

$$-PH = PH (0.043) + 50\,000$$

$$PH \cdot 1.043 = 50\,000$$

Despejamos la carga que le corresponde al hormigón.

$$PH = 47\,938.64 \text{ kg}$$

**Paso 6:** Reemplazamos el valor de la carga del hormigón “PH” en la ecuación del Paso 4 y obtenemos la carga del acero.

$$PT = PA + PH$$

$$50\,000 \text{ kg} = PA + 47\,938.64$$

$$PA = 50\,000 - 47\,938.64$$

$$PA = 2\,061.06 \text{ kg}$$

**Paso 7:** Verificamos que se cumpla la ley de Hooke, donde las variaciones longitudinales deben ser iguales tanto para el acero como para el hormigón.

$$\Delta L = \frac{PA \cdot LA}{EA \cdot AA}$$

$$\Delta H = \frac{PH}{EH \cdot AH}$$

$$\Delta L = \frac{2\,061.36 \cdot 300}{2 \times 10^6 \cdot 4.52}$$

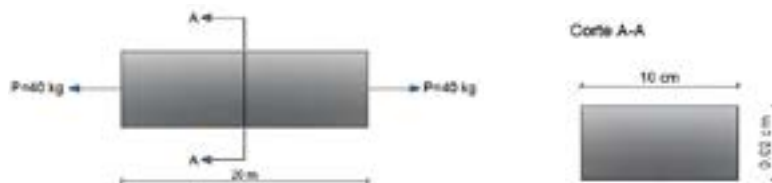
$$\Delta H = \frac{47\,938.64 \cdot 300}{2.1 \times 10^5 \cdot 1\,045.48}$$

$$\Delta L = 0.06 \text{ cm}^2$$

$$\Delta H = 0.06 \text{ cm}^2$$

## Ejercicio de aplicación 2

Calcular la deformación longitudinal de un acero con las siguientes características.



$$\Delta = \frac{P \cdot L_0}{E \cdot A_0}$$

$$E = 2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta = \frac{40 \text{ kgf} \cdot 2\,000 \text{ cm}}{2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 0.2 \text{ cm}^2}$$

$$A = b \cdot h$$

$$\Delta = 0.19 \text{ cm}$$

$$A = (10 \text{ cm} \cdot 0.02 \text{ cm})$$

$$A = 0.2 \text{ cm}^2$$

## Ejercicio de aplicación 3

Calcular la deformación longitudinal de una cinta de aluminio con las siguientes características.



$$10 \text{ in} \cdot \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 25.4 \text{ cm} \quad 20 \text{ in} \cdot \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 50.8 \text{ cm}$$

$$25 \text{ in} \cdot \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 63.5 \text{ cm}$$

$$\Delta = \frac{P \cdot L_0}{E \cdot A_0} \quad E = 7 \cdot 10^5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta = \frac{7.14 \text{ kgf} \cdot 7\,000 \text{ cm}}{7 \cdot 10^5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 2\,419.35 \text{ cm}^2} \quad A = \frac{B + b}{2} \cdot h$$

$$\Delta = 2.95 \cdot 10^{-5} \text{ cm} \quad A = \frac{50.8 \text{ cm} + 25.4 \text{ cm}}{2} \cdot 63.3 \text{ cm}$$

$$\Delta = 0.0000295 \text{ cm}$$

$$A = 2\,419.35 \text{ cm}^2$$

#### Ejercicio de aplicación 4

Calcular la deformación longitudinal ( $\Delta$ ) de un cilindro de madera con las siguientes características.

$$\Delta = \frac{P \cdot L}{E \cdot A}$$

$$\Delta = \frac{31.81 \text{ kg} \cdot 1\,828.8 \text{ cm}}{2 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 78.53 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta = 3.70 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \cdot 10 \text{ cm}^2}{4}$$

$$A = 78.53 \text{ cm}^2$$



$$\Delta = 0.00370 \text{ cm}$$

$$\Delta A = 0.06 \text{ cm}^2$$

$$\Delta H = 0.06 \text{ cm}^2$$

# Isotropía

## Isotropía en los materiales

La isotropía es una propiedad que poseen ciertos materiales cuando sus características físicas —como la resistencia o la elasticidad— se mantienen constantes, sin importar la dirección en la que se midan. Esto significa que, al aplicar una carga o esfuerzo desde cualquier ángulo, el material responderá de la misma manera, lo que facilita su análisis y diseño en estructuras.

Por ejemplo, si se somete un bloque de acero a fuerzas de compresión o tracción desde diferentes direcciones, su comportamiento será uniforme en todas ellas. Esta característica es especialmente valiosa en Ingeniería Civil, ya que permite predecir con mayor precisión cómo se comportarán los materiales bajo diversas condiciones de carga, como se especifica en la **Figura 24**.

Según Padua Materiales (2022), la isotropía implica que las propiedades mecánicas —como la resistencia a la tracción y la compresión, el módulo de Young y el coeficiente de Poisson— son iguales en todas las direcciones. Esto simplifica el análisis estructural y mejora la seguridad en las construcciones.

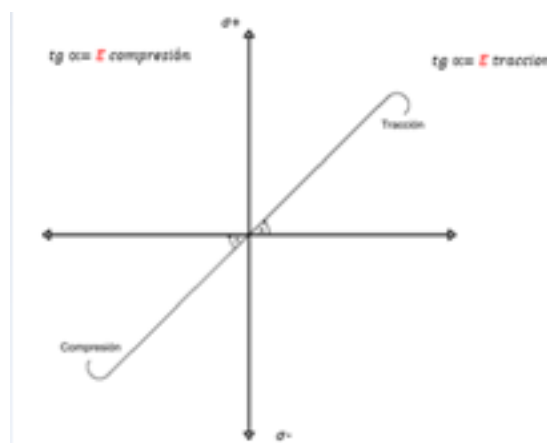
## La isotropía en la Ingeniería Civil

En el ámbito de la construcción, trabajar con materiales isotrópicos ofrece varias ventajas:

- **Simplificación de cálculos estructurales:** Al tener propiedades uniformes, los modelos matemáticos y simulaciones son más sencillos y precisos.
- **Predicción confiable del comportamiento:** Se puede anticipar cómo reaccionará el material ante tipos de cargas, lo que es crucial para garantizar la seguridad de las estructuras.
- **Diseño eficiente:** Permite optimizar el uso de materiales y recursos, al conocer exactamente cómo se comportarán en distintas situaciones.

Es importante destacar que no todos los materiales son completamente isotrópicos. Por ejemplo, el hormigón armado combina hormigón (que resiste bien la compresión) con acero (que resiste bien la tracción), y su comportamiento puede variar según la dirección de la carga y la disposición del refuerzo. En cambio, el acero estructural tiende a comportarse de manera más isotrópica, lo que lo hace ideal para diversas aplicaciones en Ingeniería Civil.

**Figura 24.** Isotropía de los materiales



**Nota.** Adaptado de Rosete Fonseca *et al.* (2018)

Su comportamiento guarda iguales propiedades de los materiales, independientemente del sentido de aplicación a los esfuerzos. En general, podemos asumir que los materiales son isotrópicos.

## ¿Qué son los materiales isotrópicos?

Son aquellos que presentan las mismas propiedades físicas y mecánicas en todas las direcciones. Esto significa que, si aplicamos una fuerza sobre ellos desde cualquier ángulo, responderán de la misma manera. Son fáciles de modelar matemáticamente y muy útiles en estructuras que requieren uniformidad de comportamiento.

### Ejemplos comunes:

- Acero estructural (en condiciones ideales)
- Aluminio
- Vidrio (en estado sin deformaciones internas)

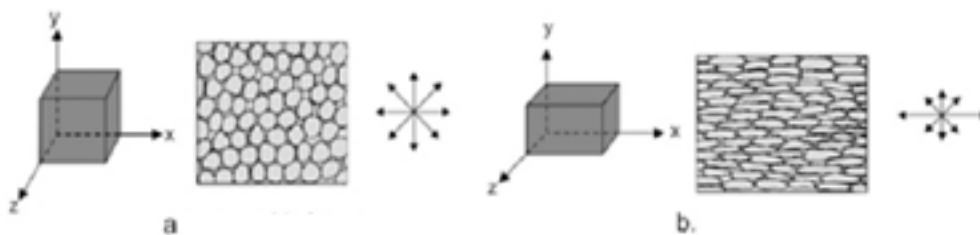
## Importancia en construcción

Permiten diseñar estructuras de forma más segura y sencilla, ya que sus propiedades no varían con la orientación del material.

## ¿Qué son los materiales anisotrópicos?

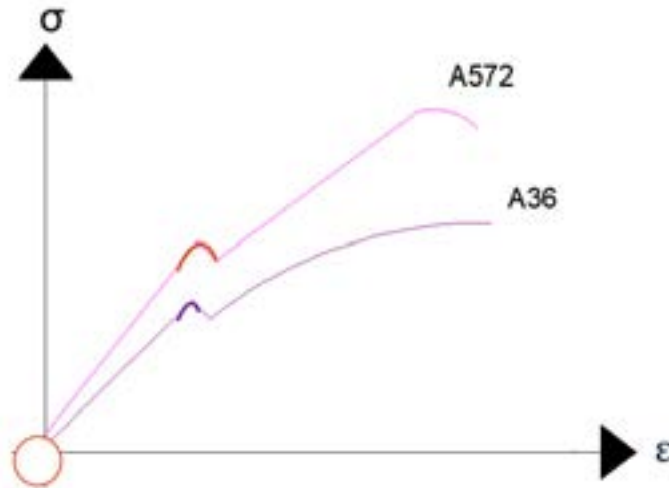
Presentan propiedades distintas según la dirección en la que se evalúan. Su resistencia, elasticidad o rigidez pueden cambiar dependiendo del eje en el que se mida. Esto se debe a la estructura interna del material o a la forma en que fue fabricado o procesado, como se detalla en la **Figura 25**.

**Figura 25.** Materiales isótropo y anisótropo



**Nota:** Representación gráfica de los materiales isótropos (a) y anisotrópicos (b). En el primer caso (a), las propiedades físicas del medio son las mismas, independientemente de la dirección. Para el segundo caso (b), las propiedades físicas del medio cambian de acuerdo con la dirección analizada.

**Figura 26.** Comparación referencial del diagrama esfuerzo de formación de dos tipos de acero



**Nota.** Adaptado de Rosete Fonseca *et al.* (2018)

Es el valor de esfuerzo que permanece constante, mientras la deformación específica aumenta. Es propio de los elementos a tracción; los aceros se identifican por su límite de fluencia y es este valor el que se utiliza para su diseño, como se muestra en la **Figura 26**.

### **Método de la desviación para la determinación del límite de fluencia**

El método de la desviación (también conocido como de la línea paralela o del *offset*) es una técnica que se utiliza para encontrar el punto exacto en el que un material empieza a deformarse de forma permanente; es decir, cuando ya no puede recuperar su forma original una vez que se le quita la carga (zona plástica).

Este punto se llama límite de fluencia o límite elástico convencional, como se muestra en la **Figura 27** y es fundamental en ingeniería, porque marca el momento en que un material “deja de ser el mismo” ante una fuerza.

### **¿Cómo se aplica este método?**

En la práctica, cuando se hace un ensayo de tracción (se tira de una muestra de material como una varilla de acero), se grafica una curva esfuerzo-deformación. Al principio, el gráfico es una línea recta: esto significa que el material se está deformando de forma elástica (reversible). Sin embargo, llega un punto donde ya no sigue esa línea y el material comienza a deformarse de manera plástica (irreversible). A veces, ese cambio no es tan claro o definido; por eso usamos el método de la desviación para estimar. Consiste en:

**Paso 1:** Establecer la curva de esfuerzo de formación del material, como se muestra en la **Figura 27**.

**Paso 2:** Trazar una recta paralela a la del diagrama original, desde un punto desviado con respecto a la deformación unitaria hasta cortar la curva original LF, como se muestra en la **Figura 27**.

$$a = 0.2\% \text{ o } 0.02 = \text{Deformación}$$

**Paso 3:** El límite de fluencia es la interacción entre los dos diagramas. Los valores de uso más comunes de la desviación “A” (0.1% al 0.2%).

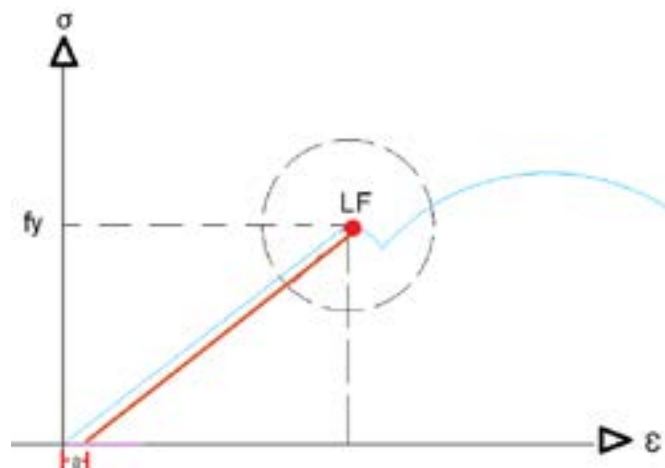
- Debiendo indicar que mientras más pequeño sea este valor “A”, la determinación del límite de fluencia es menos exacta.

- El límite de fluencia es la interacción entre los dos diagramas. Los valores de uso más comunes de la desviación “A” (0.1% al 0.2%), como se muestra en la **Figura 27**.

Acritud es una propiedad física y mecánica que aparece en los metales cuando estos han sido deformados en frío, es decir, trabajados sin calentarlos. Se la conoce también como endurecimiento por deformación o por trabajo en frío.

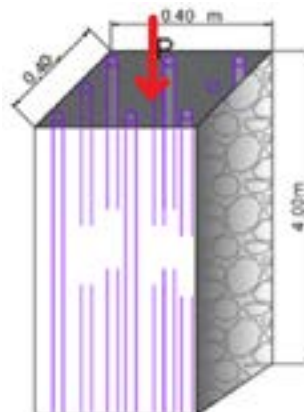
Cuando un metal, como el acero o el cobre, se lamina, se estira o se dobla a temperatura ambiente (sin calentarlos), sus moléculas se reorganizan internamente y el material se vuelve más duro y resistente, pero también más frágil. Esa dureza adicional que se genera es lo que llamamos acritud. Es útil cuando se busca aumentar la resistencia del material sin cambiar su forma demasiado. Sin embargo, si se abusa del trabajo en frío, el material puede agrietarse o romperse fácilmente bajo esfuerzos repetitivos o impactos. En la construcción o fabricación de piezas, es clave controlar la acritud; a veces se elimina aplicando recocido (un tratamiento térmico que restaura la ductilidad). Por ejemplo, un alambre de cobre muy trabajado (estirado varias veces) será más duro que uno recién fundido, pero también más quebradizo, si se dobla con fuerza. Ahí se ve claramente la acritud.

**Figura 27.** Desviación para determinar el límite de fluencia



## Ejercicios de aplicación

¿Cuál es la máxima carga que soportará una columna designada a soportar un tanque de reserva, sabiendo que no debe exceder los esfuerzos admisibles? Determine la deformación de cada material.



**Datos:**

- Sección de la columna de hormigón armado de 0.40 \* 0.40 m.
- Consta de 8 varilla de 14 mm.
- La longitud total de la columna es de 4 m.
- $f'y = 1200 \text{ kg/cm}^2$
- $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del acero es  $2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del hormigón es  $2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2$

**Paso 1:** Calculamos el área de la sección "Asec" de la columna: asimismo, la del acero "As" y el área que ocupa el concreto AH en la columna.

- Determinamos el área de la sección total de la columna.

$$A_{sec} = 40\text{cm} * 40\text{cm}$$

$$A_{sec} = 1\ 600 \text{ cm}^2$$

- Calculamos el área de las varillas.

$$A_s = \frac{\pi * D^2}{4} * (8)$$

$$A_s = \frac{\pi * (1.4 \text{ cm})^2}{4} * (8)$$

$$A_s = 12.32 \text{ cm}^2$$

- Calculamos el área que ocupa el hormigón en la columna.

$$AH = A_{sec} - A_s$$

$$AH = 1\ 600\text{cm}^2 - 12.32 \text{ cm}^2$$

$$AH = 1587.68\text{cm}^2$$

**Paso 2:** Para calcular la carga que le corresponde al concreto, debemos basarnos en la fórmula del esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

- Despejamos la carga para obtener la fórmula de la carga que le corresponde al concreto.

$$P = \sigma * A$$

$$PH = \sigma H * AH$$

- Reemplazamos valores.

$$PH = 210 \frac{kg}{cm^2} * 1\ 587.68\ cm^2$$

$$PH = 333\ 412.8\ kg$$

- De igual manera, aplicamos para el acero.

$$PA = \sigma A * As$$

$$PA = 1200 \frac{kg}{cm^2} * 12.32\ cm^2$$

$$PA = 14\ 784\ kg$$

- En el ejercicio anterior, explicamos que la carga total aplicada en la columna se va a distribuir al acero y al hormigón.

$$PT = PA + PH$$

$$PT = 14\ 784\ kg + 333\ 412.8\ kg$$

$$PT = 348\ 196.8\ kg$$

**Paso 3:** Aplicamos la fórmula de la Ley de Hooke e igualamos la variación de longitud del acero con el hormigón, de la cual podemos simplificar la longitud inicial de los dos lados de la ecuación, dado que es el mismo valor.

$$\Delta S = \frac{Ps * Ls}{Es * As} = \Delta H = \frac{Ph * Lh}{Eh * Ah}$$

- Simplificamos la longitud inicial de los dos lados de la ecuación.

$$\frac{Ps}{Es * As} = \frac{Ph}{Eh * Ah}$$

- Como dato inicial, nos muestran que el esfuerzo a la fluencia del acero es  $f_y = 1\ 200\ kg/cm^2$ ; entonces, despejando, obtenemos la carga del acero.

$$\sigma_y = \frac{P_s}{A_s}$$

$$1\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = \frac{P_s}{A_s}$$

$$1\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = \frac{P_s}{12.32 \text{ cm}^2}$$

$$P_s = 1\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 12.32 \text{ cm}^2$$

$$P_s = 14\,784 \text{ kg}$$

- En la fórmula de la variación de la longitud del acero, notamos que existe una relación entre la carga del acero “Ps” con el área que ocupa. Esto corresponde al esfuerzo de fluencia del acero, que es  $f'_y = 1\,200 \text{ kg/cm}^2$ . Reemplazamos.

$$\frac{1\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = \frac{PH}{2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1\,587.68 \text{ cm}^2}$$

- Procedemos a resolver la ecuación, despejando la carga del hormigón.

$$0.00057 = \frac{PH}{333\,412\,800 \text{ kg}}$$

$$PH = 0.0057 \text{ kg} * 333\,412\,800 \text{ kg}$$

$$PH = 190\,045.296 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Con la carga de fluencia del hormigón podemos calcular su esfuerzo de fluencia.

$$\sigma_H = \frac{PH}{A_H}$$

$$\sigma_H = \frac{190\,045.296 \text{ kg}}{1\,587.68 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_H = 119.70 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**Paso 5:** Aplicamos la fórmula de la ley de Hooke o variación longitudinal para los dos materiales y el resultado debe ser el mismo.

$$\Delta s = \Delta H$$

$$\Delta S = \frac{Ps \cdot Ls}{Es \cdot As}$$

$$\Delta S = \frac{14\,784 \text{ kg} \cdot 400 \text{ cm}}{2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 12.32 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta S = 0.228 \text{ cm}$$

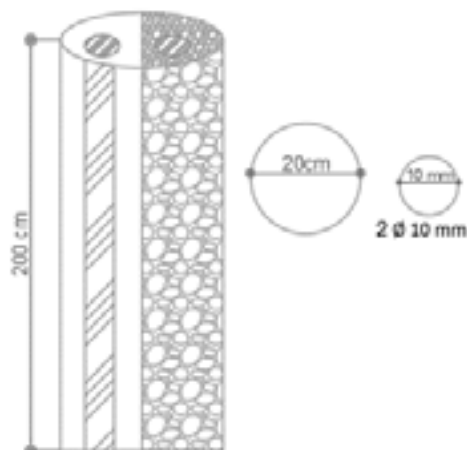
$$\Delta H = \frac{PH \cdot LH}{EH \cdot AH}$$

$$\Delta H = \frac{190\,045.296 \text{ kg} \cdot 400 \text{ cm}}{2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 1\,587.68 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta H = 0.228 \text{ cm}$$

## Ejercicio 2

Se tiene una columna circular que va a soportar un cartel para publicidad, que pesa 5 toneladas. La resistencia para esta columna es de  $180 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ . ¿Soporta la carga axial?



**Datos:**

$$P = 5 \text{ t}$$

$$f'c = 180 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$D_c = 20 \text{ cm}$$

$$D_s = 10 \text{ mm} \approx 1 \text{ cm}$$

$$E_s = 2.1 \cdot 10^6$$

$$E_c = 2.10 \cdot 10^5$$

**Paso 1:** Calculamos las áreas.

$$A_{sec} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_{sec} = \frac{\pi \cdot (20 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_{sec} = 314.16 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot (1)^2}{4} \cdot 2$$

$$A_c = A_{sec} - A_s$$

$$A_c = 314.16 - 1.57$$

$$A_c = 312.59 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 1.57 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos deformaciones.

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s \cdot L_s}{E_s \cdot A_s} = \frac{P_c \cdot L_c}{E_c \cdot A_c}$$

$$\frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot (312.59 \text{ cm}^2)}$$

$$0,002 = \frac{P_c}{65\ 643\ 900}$$

$$P_c = 131\ 287.80\ kg$$

**Paso 3:** Analizamos el esfuerzo de fluencia en el acero.

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = \sigma_s * A_s$$

$$P_s = 1.57\ cm^2 * 4\ 200\ kg/cm^2$$

$$P_s = 6\ 594\ kg$$

$$P_{max} = P_s + P_c$$

$$P_{max} = 6\ 594\ kg + 131\ 287.80\ kg$$

$$P_{max} = 137\ 881.80\ kg$$

**Paso 4:** Comprobamos.

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{6\ 594\ \frac{kg}{cm} * 200\ cm}{2.1 * 10^6\ \frac{kg}{cm^2} * (1.57\ cm^2)} = \frac{131\ 287.80\ \frac{kg}{cm} * 200\ cm}{2.1 * 10^6\ \frac{kg}{cm^2} * (312.59\ cm^2)}$$

$$0.4 = 0.4$$

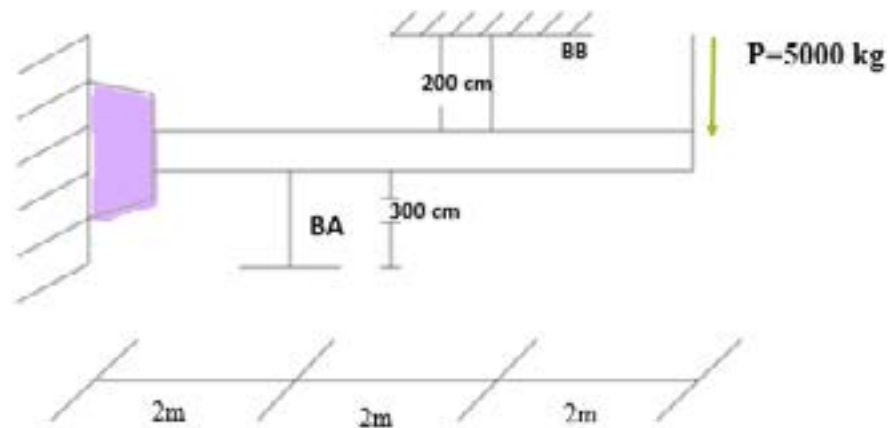
$$P_{cartel} = 5\ t \approx 5\ 000\ kg$$

$$P_{max} = 137\ 881.80\ kg$$

$5\ 000\ kg < 137\ 881.80\ kg \rightarrow$  Entonces la columna sí soporta el cartel de la publicidad.

### Ejercicio 3

Se considera que la barra es indeformable. Calcular las reacciones de las barras A y B.



**Paso 1:** Determinamos los datos de la gráfica y del enunciado. A la longitud vertical de la barra "A", la denominaremos  $L_A$ . Asimismo, para la barra "B", las dos barras se componen del mismo material; por lo tanto, comparten el módulo de elasticidad. De igual manera, el ejercicio nos facilita el área de las secciones de cada barra.

#### Datos:

$$L_A = 400 \text{ cm}$$

$$A_A = 40 \text{ cm}^2$$

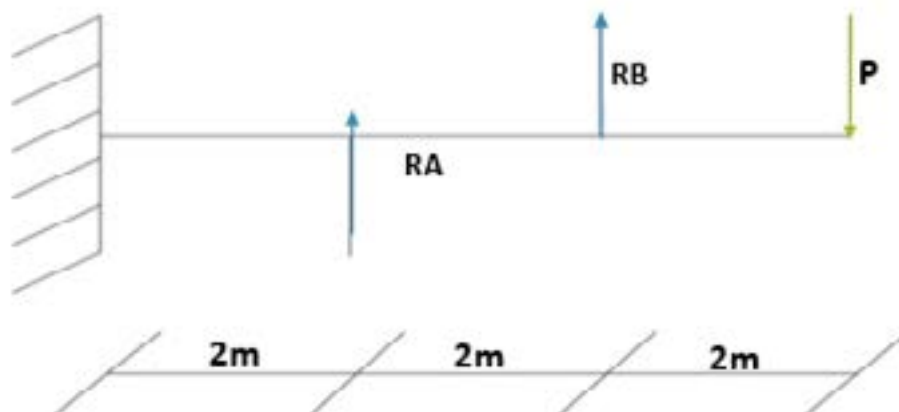
$$E_A = 2.1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_B = 200 \text{ cm}$$

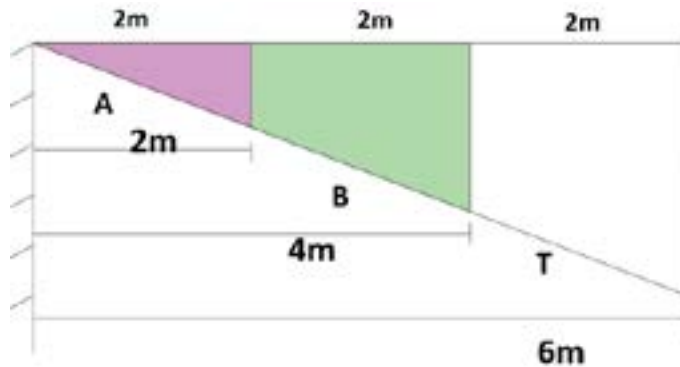
$$A_B = 20 \text{ cm}^2$$

$$E_B = 2.1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

**Paso 2:** Analizamos el diagrama de cuerpo libre. Podemos notar que la fuerza "P" está ejerciendo movimiento en sentido negativo con respecto a la viga; en consecuencia, la reacción de la barra "B" será positiva. Asimismo, la fuerza "P" genera un aplastamiento a la barra "A", produciendo una reacción positiva.



**Paso 3:** Esquematisamos el diagrama de deformación correspondiéndole a la barra “A” dos metros con respecto al empotramiento; de igual manera, a la barra “B”, cuatro metros, y la deformación causada por la fuerza “P”, seis metros.



- Establecemos la ecuación con respecto al diagrama de deformación analizado anteriormente.

$$\frac{\Delta A}{2} = \frac{\Delta B}{4} = \frac{\Delta T}{6}$$

- Comparamos las deformaciones de las barras y despejamos la deformación de la barra “B”.

$$\frac{\Delta A}{2} = \frac{\Delta B}{4}$$

$$2\Delta A = \Delta B$$

**Paso 4:** Realizamos sumatoria de momentos.

$$\sum M_o = 0$$

$$2 \cdot RA + 4 \cdot RB - 6 \cdot P = 0$$

$$2 RA + 4 \cdot RB = 6(500)$$

$$2 RA + 4RB = 30\,000$$

**Paso 5:** En el paso número cuatro se estableció una ecuación a partir del diagrama de deformaciones, donde se especifica que dos deformaciones en la barra “A” equivalen a una de la barra “B”; entonces, podemos aplicar la fórmula de la Ley de Hooke o variación longitudinal, que, en palabras simples, es una deformación.

$$2\Delta A = \Delta B$$

- Hay que tener en cuenta que las fuerzas, en este caso, son las reacciones de cada barra.

$$2 \left( \frac{RA \cdot LA}{EA \cdot AA} \right) = \left( \frac{RB \cdot LB}{EB \cdot AB} \right)$$

$$2 \left( \frac{RA \cdot 300 \text{ cm}}{2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 40 \text{ cm}^2} \right) = \frac{RB \cdot 200 \text{ cm}}{2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 20 \text{ cm}^2}$$

- Resolvemos la ecuación despejando una de las dos reacciones. Para este ejemplo, se despejó la reacción de la barra "A".

$$300 \text{ cm} \cdot RA = 200 \cdot RB$$

$$RA = \frac{200 \cdot RB}{300}$$

$$RA = 0.67RB$$

**Paso 6:** Reemplazamos en la ecuación del paso cuatro para obtener una con una sola incógnita.

$$2 \cdot (0.67 RB) + 4RB = 30\ 000$$

$$1.34 m \cdot RB + 4 \cdot RB = 30\ 000$$

$$5.34 m \cdot RB = 30\ 000$$

- Resolvemos la ecuación y despejamos la reacción de la barra "B".

$$RB = \frac{30\ 000}{5.34}$$

$$RB = 5\ 617.98 \text{ kg}$$

- Una vez que obtenemos el valor de la reacción de la barra "B", calculamos la de la barra "A", reemplazando el valor en la ecuación del paso cinco.

$$RA = 0.67 \cdot RB$$

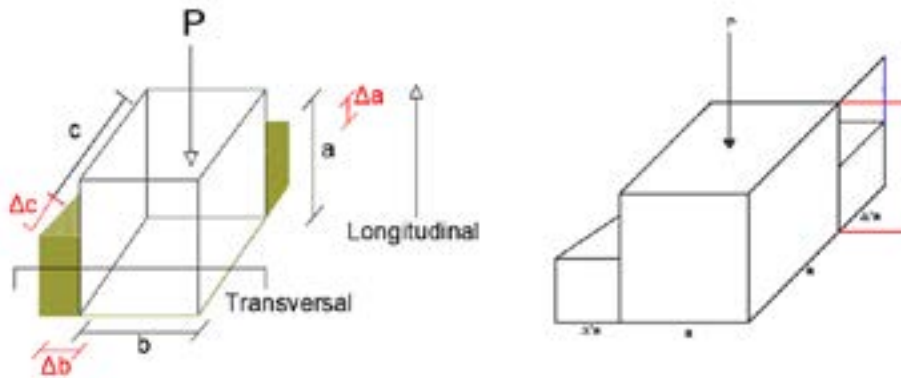
$$RA = 0.67 \cdot (5\ 617.98 \text{ kg})$$

$$RA = 3\ 764.05 \text{ kg}$$

## Relación Poisson

En palabras simples, la relación Poisson es la división entre la deformación longitudinal y la deformación transversal, como se detalla en la **Figura 28**.

**Figura 28.** Material de sección cúbica sometida a compresión



A continuación, se demostrará paso a paso la fórmula de Poisson o variación volumétrica a un elemento de hormigón sometido a una carga axial en compresión, como detalla la **Figura 28**.

## Nomenclatura

$a$  = Lado geométrico del cubo perfecto       $\Delta a$  = Variación longitudinal

$\Delta' a$  = Variaciones transversales       $P$  = Carga axial de compresión

$V_0$  = Volumen inicial       $V_f$  = Volumen final

$E_l$  = Deformación longitudinal       $E_t$  = Deformación transversal

$u$  = Módulo de Poisson

**Paso 1:** Se calcula el volumen inicial del cuerpo sin la carga aplicada, el cual va a ser igual a la multiplicación de sus 3 lados iguales, siendo un cubo perfecto. Una vez aplicada la carga axial, podemos notar deformaciones trasversales y longitudinales; el cuerpo sufre un aplastamiento donde van apareciendo las variaciones geométricas.

$$V_0 = a * a * a$$

$$V_0 = a^3$$

**Paso 2:** Sabemos que la deformación longitudinal o transversal es igual a la variación del lado donde se aplicó la fuerza sobre su longitud inicial; es decir:

$$E_l = \frac{\Delta a}{a} \qquad E_t = \frac{\Delta' a}{a}$$

**Paso 3:** Despejamos la variación longitudinal y transversal.

$$\Delta a = El * a \qquad \Delta' a = Et * a$$

**Paso 4:** Partiendo de la fórmula básica del cálculo del volumen de un cubo, planteamos que el volumen final del cuerpo aplicada la carga es:

$$Vf = (a + \Delta' a)(a + \Delta' a)(a - \Delta a)$$

$$Vf = (a - \Delta a)(a + \Delta' a)^2$$

**Paso 5:** Sabiendo que  $\Delta a = El * a$  y  $\Delta' a = Et * a$  y reemplazamos.

$$Vf = (a - El * a)(a + Et * a)^2$$

**Paso 6:** Aplicamos factor común.

$$Vf = a(1 - El) * a^2(1 + Et)^2$$

$$Vf = a^3(1 - El) * (1 + Et)^2$$

**Paso 7:** Si se sabe que el módulo de Poisson es la relación de la deformación transversal con la deformación longitudinal y estando en compresión se vuelve negativo, despejamos la deformación transversal y obtenemos la siguiente ecuación:

$$Et = -\mu * El$$

**Paso 8:** Reemplazamos.

$$Vf = a^3(1 - El) * (1 - u * El)^2$$

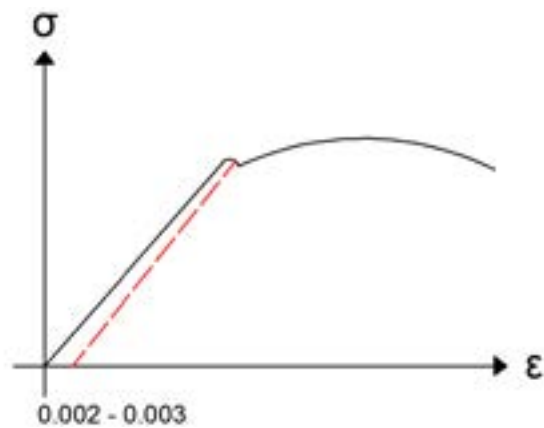
**Paso 9:** Resolvemos el binomio cuadrado perfecto.

$$Vf = a^3(1 - El) * \{(1^2 - 2 * (1) * (u * El) + u^2 * El^2)\}$$

$$Vf = a^3(1 - El)\{(1 - 2u * EL + u^2 * El^2)\}$$

**Paso 10:** Sabemos que la deformación unitaria del hormigón oxidada en 0.002 - 0.003, como lo indica la **Figura 29**.

**Figura 29.** Representación de la deformación unitaria del hormigón



**Paso 11:** Reemplazamos esta deformación unitaria con los valores mencionados en el paso 10 y verificamos que estos valores tienden a cero.

$$0.002^2 = 0.000004$$

$$0.002^3 = 0.000000008$$

$$0.003^2 = 0.000009$$

$$0.003^3 = 0.000000027$$

**Paso 12:** Reemplazamos los valores y simplificamos.

$$Vf = a^3(1 - 2uEl + u^2El^2 - El + 2uEl^2 - u^2 \cdot El^3)$$

$$Vf = a^3(1 - 2uEl - El)$$

**Paso 13:** Desarrollamos la ecuación destruyendo el paréntesis.

$$Vf = a^3 - 2uEl a^3 - El a^3$$

**Paso 14:** Determinamos el factor común con respecto a la deformación longitudinal multiplicado por el lado geométrico al cubo.

$$Vf = a^3 - a^3El(1 + 2u)$$

**Paso 15:** Al principio de la demostración se estableció, en el paso número uno, que  $V_0 = a^3$ ; entonces, reemplazamos.

$$Vf = V_0 - V_0El(1 + 2u)$$

**Paso 16:** Despejamos la variable de volumen inicial del cuerpo "Vo" al lado izquierdo de la ecuación.

$$Vf - V_0 = V_0El(1 + 2)$$

**Paso 17:** Para describir una variación de volumen, siempre se parte de un volumen inicial. Este, al ser excitado o deformado por una fuerza externa, tendrá un volumen final como resultado de los esfuerzos aplicados, entonces:

$$\Delta V = V_0 E l (1 + 2u)$$







## Ejercicios de aplicación

### Determinación de esfuerzos nominales

#### Ejercicio 1

Un cable cuya área de contacto es de  $0.3 \text{ m}^2$ , soporta una tensión de un objeto de  $500 \text{ kg}$  de masa. Determine su esfuerzo.

#### Datos:

$$A = 0.3 \text{ m}^2$$

$$M = 500 \text{ kg}$$

$$\sigma = ?$$



Obtenemos la fuerza que va a ser igual a su masa multiplicada por la gravedad.

$$P = M * g$$

$$P = 500 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P = 4\,905 \text{ N}$$

Obtenemos el valor del esfuerzo con base en la fórmula del esfuerzo nominal.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{4\,905 \text{ N}}{0.3 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 16\,350 \text{ Pa}$$

**Respuesta**  $\sigma = \frac{P}{A} = \frac{4905 \text{ N}}{0.3 \text{ m}^2} = 16\,350 \text{ Pa}$

#### Ejercicio 2

Un cubo de concreto con una sección transversal de  $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  está sometido a una carga de compresión de  $7 \text{ lbf}$ . Calcular el esfuerzo normal en el cubo, considerando el módulo de elasticidad del concreto  $25 \text{ GPa}$ .

#### Datos:

$$A = 625 \text{ mm}^2$$

$$P = 7 \text{ KN}$$

$$\sigma = ?$$



**Paso 1.** Calculamos el área de la sección transversal.

$$A = 25 \text{ mm} * 25 \text{ mm}$$

$$A = 625 \text{ mm}^2$$

**Paso 2.** Convertimos unidades a pulgadas.

$$1 \text{ in}^2 \quad 645.16 \text{ mm}^2$$
$$x \quad 625 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{625 \text{ mm}^2 * 1 \text{ in}^2}{645.16 \text{ mm}^2}$$

$$A = 0.97 \text{ in}^2$$

**Paso 3.** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$\sigma = \frac{7 \text{ lbf}}{0.97 \text{ in}^2}$$

### Ejercicio 3

Una barra de concreto con sección rectangular de 0.3 in x 0.2 in está sometida a una carga axial de tracción de 3 lbf. Considerando que el módulo de elasticidad del concreto es de 25 GPa, calcular el esfuerzo normal.

#### Datos:

$$P = 3 \text{ lbf}$$

$$b = 0.3 \text{ in}$$

$$h = 0.2 \text{ in}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de sección transversal.

$$A = 0.3 \text{ in} * 0.2 \text{ in}$$

$$A = 0.6 \text{ in}^2$$

**Paso 2:** Convertimos unidades de peso.

$$P = 3 \text{ lbf} \left| \frac{4.448 \text{ N}}{1 \text{ lbf}} \right|$$
$$P = 13.34 \text{ N}$$

**Paso 3:** Convertimos unidades de área.

$$A = 0.6 \text{ in}^2 \left| \frac{1 \text{ m}^2}{1550 \text{ in}^2} \right|$$

$$A = 0.00039 \text{ m}^2$$

**Paso 4:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$\sigma = \frac{13.34 \text{ N}}{0.00039 \text{ m}^2}$$
$$\sigma = 34\,205.12 \text{ Pa}$$

#### Ejercicio 4

Un cilindro de acero con diámetro de 25 mm se encuentra sometido a una carga axial de tracción de 0.3 t. Calcule el esfuerzo normal en el cilindro.

**Datos:**

$$P = 0.3 \text{ t}$$

$$D = 25 \text{ mm}$$

**Paso 1:** Convertimos unidades.

$$d = 25 \text{ mm} \left| \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} \right|$$

$$d = 2.5 \text{ cm}$$

$$P = 0.3 \text{ t} \left| \frac{1\,000 \text{ kgf}}{1 \text{ t}} \right|$$

**Paso 2:** Calculamos área transversal.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$
$$A = \frac{\pi * (2.5 \text{ cm})^2}{4}$$
$$A = 4.91 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$\sigma = \frac{300 \text{ kgf}}{4.91 \text{ m}^2}$$
$$\sigma = 61.1 \text{ kgf/cm}^2$$



#### Ejercicio 5

Un cilindro de acero de 0.7 ft de diámetro encuentra a una carga axial de compresión de 2 t. Calcule el esfuerzo normal en el cilindro.

**Datos:**

$$P = 2 \text{ t}$$

$$d = 0.7 \text{ ft}$$



**Paso 1:** Convertimos unidades.

$$d = 0.7 \text{ ft} \left| \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \right| \left| \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right|$$

$$d = 21.34 \text{ cm}$$

$$P = 2 \text{ t} \left| \frac{1000 \text{ kp}}{1 \text{ t}} \right| \left| \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ kp}} \right| \left| \frac{1 \text{ kgf}}{9.8 \text{ N}} \right|$$

$$P = 2000 \text{ kgf}$$

**Paso 2:** Calculamos el área transversal.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (21.34 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 357.67 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\text{Respuesta } \sigma = \frac{2000 \text{ kgf}}{357.67 \text{ cm}^2} = 5.60 \text{ kgf/cm}^2$$

### Ejercicio 6

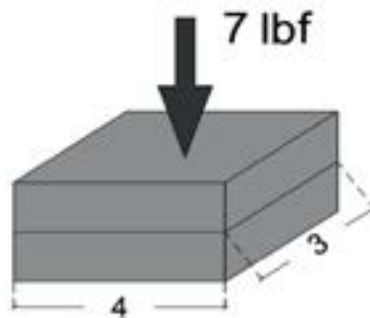
Calcular el esfuerzo nominal del siguiente cuerpo homogéneo que está conformado de hormigón al cual se le sometió a una fuerza que produce esfuerzos de compresión. Si se sabe que la sección transversal tiene una geometría rectangular de base 4 in y de ancho de 3 in y la fuerza aplicada es de 7 lbf.

**Datos:**

$$b = 4 \text{ in}$$

$$h = 3 \text{ in}$$

$$P = 7 \text{ lbf}$$



**Paso 1:** Iniciamos con la fórmula del esfuerzo, la cual es la relación entre la fuerza y el área donde es aplicada.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{7 \text{ lbf}}{12 \text{ in}^2}$$

$$\sigma = 0.58 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

**Paso 2:** Realizamos la conversión.

$$0. \frac{58 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}}{0} \cdot 0.0703 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{1 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}}{1 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}}$$

$$\sigma = 0.0408 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

**Respuesta** SI =  $0.0408 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$     PSI =  $0.58 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$

### Ejercicio 7

Calcular el esfuerzo nominal del siguiente cuerpo homogéneo de hormigón que se obtuvo de una muestra del colado de una losa alivianada.

#### Datos

$$A = 31\,416 \text{ cm}^2$$

$$P = 8\,050 \text{ kg}$$

$$\sigma = ?$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección transversal.

$$\frac{10 \text{ mm} / 0.1 \text{ cm}}{\text{mm}} * 2 = 2 \text{ cm}$$

**Paso 2:** Calculamos el área de la figura.

$$1 \text{ in}^2 \quad 645.16 \text{ mm}^2$$

$$x \quad 625 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{625 \text{ mm}^2 * 1 \text{ in}^2}{645.16 \text{ mm}^2}$$

$$A = 0.97 \text{ in}^2$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (2 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 3.1416 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Convertimos en SI y PSI.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{8\,050 \text{ kgf}}{3.1416 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 2562.38 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

**Paso 4:** Encontramos PSI.

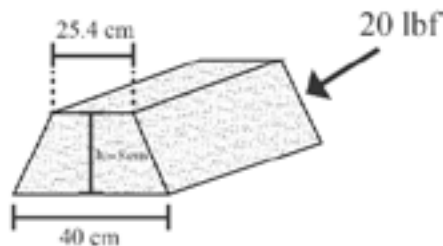
$$\frac{2562.38 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} / 14.2233 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}}{1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$$

$$\sigma = 36445.50 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

**Respuesta**  $\sigma = 2562.38 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$        $\sigma = 36445.50 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$

**Ejercicio 8**

Una columna de concreto con una base en forma de trapecio está sometida a una carga axial de 20 lb. Teniendo en cuenta que los lados del trapecio miden 40 cm y 25.4 cm, calcular el esfuerzo normal de la columna.



**Datos:**

$P = 20 \text{ lbf}$

$A = 261.60 \text{ cm}^2$

**Ejercicio 9**

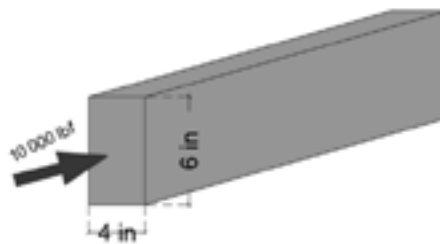
Una viga de madera de sección rectangular de 4 pulgadas de ancho y 6 pulgadas de alto soporta una carga de compresión de 10 000 lb. Determinar el esfuerzo normal en la viga.

**Datos:**

$P = 10\ 000 \text{ lbf}$

$b = 4 \text{ in}$

$h = 6 \text{ in}$



**Paso 1:** Calculamos la sección transversal.

$$A = b * h$$

$$A = 4 \text{ in} * 6 \text{ in}$$

$$A = 24 \text{ in}^2$$

**Paso 2:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{10\ 000 \text{ lbf}}{24 \text{ in}^2}$$

$$\sigma = 416.67 \text{ lbf/in}^2$$

### Ejercicio 10

Un prisma rectangular de concreto armado con una base de 5 cm cada lado y una altura de 4 cm está sometido a una carga de 24 N aplicada en la parte superior. Calcular el esfuerzo normal del prisma rectangular.

#### Datos:

$$P = 24 \text{ N}$$

$$a = 4 \text{ cm}$$



**Paso 1:** Realizamos las conversiones.

24 N a kg

$$\frac{24 \text{ N}}{9.81 \text{ N}} / \frac{1 \text{ kgf}}{9.81 \text{ N}} = 2.45 \text{ kgf}$$

**Paso 2:** Calculamos las áreas.

$$A = \frac{P * a}{2}$$
$$A = \frac{25 \text{ cm} * 4 \text{ cm}}{2}$$
$$A = 50 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{2.45 \text{ kgf}}{50 \text{ cm}^2}$$

**Respuesta**

$$\sigma = 0.049 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

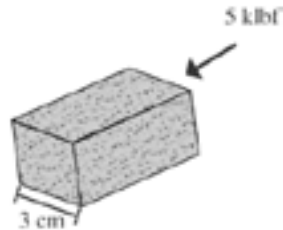
### Ejercicio 11

Una varilla de aluminio cuya sección transversal es un cuadrado con lados de 3 cm está sometida a una carga axial de 5 klb. Calcular el esfuerzo normal de la varilla.

#### Datos:

$$P = 5 \text{ klb}$$

$$A = 1.39 \text{ in}^2$$



**Paso 1:** Convertimos 3 cm a in.

$$\frac{3 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} * \frac{0.39370 \text{ in}}{1 \text{ cm}} = 1.18 \text{ in}$$

**Paso 2:** Calculamos el área de la sección transversal.

$$A = ?$$

$$A = l^2$$

$$A = (1.18 \text{ in})^2$$

$$A = 1.39 \text{ in}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{5 \text{ klb}}{1.38 \text{ in}^2}$$

$$\sigma = 3.5971 \frac{\text{klb}}{\text{in}^2}$$

**Respuesta**

$$\sigma = 3.5971 \frac{\text{klb}}{\text{in}^2}$$

### Ejercicio 12

Un cilindro de acero tiene una sección transversal circular de diámetro de 3 pies y una carga de  $P = 8 \text{ N}$ .

#### Datos:

$$\text{Diámetro} = 3 \text{ ft}$$

$$\text{Carga} = 8 \text{ N}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección transversal.

$$A_o = \frac{\pi d^2}{4}$$
$$A_o = \frac{\pi (91.44 \text{ cm})^2}{4}$$
$$A_o = 65.66 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Aplicamos la fórmula del esfuerzo normal.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$\sigma = \frac{0.816 \text{ kgf}}{65.66 \text{ cm}^2}$$
$$\sigma = 1.24 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$
$$\sigma = 0.0012 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

**Respuesta**  $\sigma = 0.0012 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

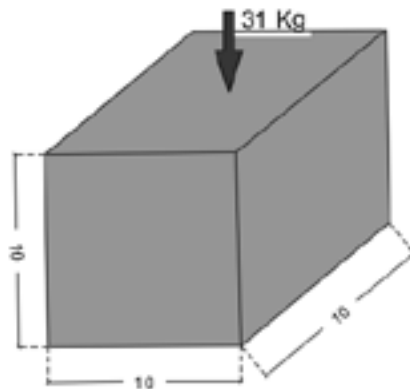
### Ejercicio 13

Calcular el esfuerzo nominal del siguiente cuerpo homogéneo que es de hormigón. Si se somete una fuerza a compresión de 31 kg, el cuerpo es un cubo perfecto de 10 cm en todos sus lados.

**Datos:**

$$x = 10 \text{ cm}$$

$$P = 31 \text{ kgf}$$



**Paso 1:** Calculamos la sección transversal.

$$A = x * x$$

$$A = 10 \text{ cm} * 10 \text{ cm}$$

$$A = 100 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{31 \text{ kgf}}{100 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 0.31 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

**Respuesta**  $\sigma = 0.31 \text{ kgf/cm}^2$

#### Ejercicio 14

Calcular el esfuerzo nominal del siguiente cuerpo homogéneo que se supone de hormigón.

#### Datos:

b = 0.5 ft  
h = 0.2 ft  
P = 45 kgf



#### Conversiones:

b = 0.5 ft = 15.24 cm  
h = 0.2 ft = 6.10 cm

**Paso 1:** Calculamos el área del cuerpo.

$$A = \frac{15.24 \text{ cm} * 6.10 \text{ cm}}{2}$$

$$A = 46.48 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Obtenemos el esfuerzo nominal.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{45 \text{ kgf}}{46.48 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 0.97 \text{ kgf/cm}^2$$

**Respuesta**  $\sigma = 0.97 \text{ kgf/cm}^2$

#### Ejercicio 15

Calcular el esfuerzo nominal del siguiente cuerpo homogéneo que es de hormigón, el cual está sometido a fuerza de tracción.

#### Datos:

D = 33 cm  
P = 34 lbf



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección transversal.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (12.99 \text{ in})^2}{4}$$

$$A = 265.06 \text{ in}^2$$

**Paso 2:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$\sigma = \frac{34 \text{ lbf}}{256.06 \text{ in}^2}$$
$$\sigma = 0.13 \text{ lbf/in}^2$$

**Respuesta**  $\sigma = 0.13 \text{ lbf/in}^2$

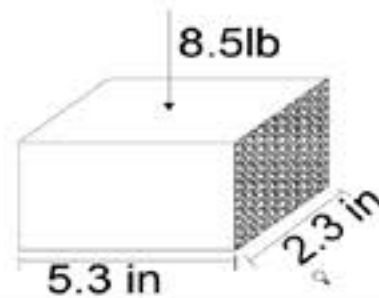
### Ejercicio 16

Calcula el esfuerzo de un cuerpo sometido a una fuerza de compresión.

**Datos:**

$$P = 8.5 \text{ lbf}$$

$$A = 12.19 \text{ in}^2$$



**Paso 1:** Hacemos las conversiones.

$$\frac{0.69 \text{ lbf}}{1 \text{ in}^2} * \frac{0.703 \text{ kgf}}{1 \text{ lbf}} * \frac{\text{cm}^2}{\text{in}^2} = 0.04507 \text{ kgf/cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos el área de la sección.

$$A = l * l$$

$$A = 5.3 \text{ in} * 5.3 \text{ in}$$

$$A = 12.19 \text{ in}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo nominal.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{8.5 \text{ lbf}}{12.19 \text{ in}^2}$$

$$\text{S.I } \sigma = 0.04507 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

**Respuesta** S.I  $\sigma = 0.04507 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

### Ejercicio 17

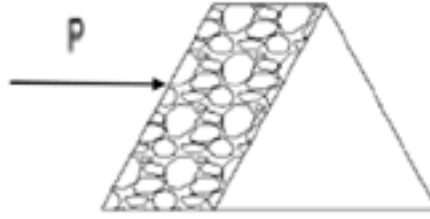
Calcula el esfuerzo de la siguiente figura.

**Datos:**

$$h = 4.0 \text{ ft}$$

$$b = 3.5 \text{ ft}$$

$$P = 4.17 \text{ kgf}$$

**Paso 1:** Convertimos.

$$\frac{500 \text{ oz}}{1} * \frac{0.0283 \text{ kgf}}{1 \text{ oz}} = 14.17 \text{ kgf}$$

$$\frac{4 \text{ ft}}{1} * \frac{30.48 \text{ cm}}{1 \text{ ft}} = 121.92 \text{ cm}$$

$$\frac{3.5 \text{ ft}}{1} * \frac{30.48 \text{ cm}}{1 \text{ ft}} = 106.68 \text{ cm}$$

$$\frac{2.17 * 10^{-3} \text{ kgf}}{1 \text{ cm}^2} * \frac{14.2233 \text{ lbf}}{\frac{1 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}} = 0.039 \text{ lbf/in}^2$$

$$A = \frac{b * h}{2}$$

$$A = \frac{121.92 \text{ cm} * 106.68 \text{ cm}}{2}$$

$$A = 6503.21 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{14.17 \text{ kgf}}{6503.21 \text{ cm}^2}$$

$$\text{S.I } \sigma = 2.17 * 10^{-3} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{PSI } \sigma = 0.0309 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Respuesta } \text{PSI } \sigma = 0.0309 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

**Ejercicio 18**

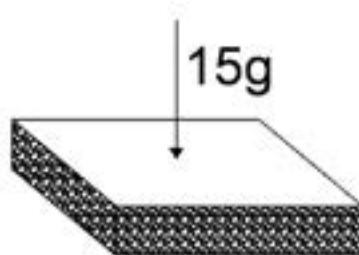
Calcula el esfuerzo de la siguiente figura.

**Datos:**

$$h = 3.8 \text{ mil}$$

$$b = 6.7 \text{ mil}$$

$$P = 0.0330 \text{ kgf}$$



**Paso 1:** Realizamos las conversiones.

$$\frac{15 \text{ gf}}{1} * \frac{1 \text{ lbf}}{453.59 \text{ g}} = 0.0330 \text{ kgf}$$

$$\frac{3.8 \text{ mil}}{1} * \frac{0.001 \text{ in}}{1 \text{ mil}} = 0.038 \text{ in}$$

$$\frac{6.7 \text{ mil}}{1} * \frac{0.001 \text{ in}}{1 \text{ mil}} = 0.067 \text{ in}$$

$$\frac{\frac{12.9615 \text{ lbf}}{1}}{\frac{\text{in}^2}{1}} * \frac{\frac{0.703 \text{ kgf}}{1 \text{ lbf}}}{\frac{\text{cm}^2}{\text{in}^2}} = 0.091119 \text{ kgf/cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos el área.

$$A = b * h$$

$$A = 0.067 \text{ in} * 0.038 \text{ in}$$

$$A = 2.546 * 10^{-3} \text{ in}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{0.0330 \text{ lbf}}{2.546 * 10^{-3} \text{ in}^2}$$

$$\text{PSI } \sigma = 12.9615 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

$$\text{S.I } \sigma = 0.911119 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

**Respuesta**       $\text{PSI } \sigma = 12.9615 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$      $\text{S.I } \sigma = 0.911119 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

**Ejercicio 19**

Calculamos el esfuerzo de la siguiente figura.

**Datos:**

$$D = 7 \text{ mm}$$

$$P = 5 \text{ N}$$



**Paso 1:** Desarrollamos las conversiones.

$$7 \text{ mm} * \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 0.7 \text{ cm}$$

$$5 \text{ N} * \frac{1 \text{ kgf}}{9.8 \text{ N}} = 0.51 \text{ kgf}$$

**Paso 2:** Calculamos el área.

$$A_0 = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A_0 = \frac{\pi (0.72 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_0 = 0.38 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{0.51 \text{ kgf}}{0.32 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 1.34 \text{ kgf/cm}^2$$

**Respuesta**

$$\sigma = 1.34 \text{ kgf/cm}^2$$

## Ejercicios de aplicación de la Ley de Hooke

### Ejercicio 1

Una columna de hormigón armado sostiene un techo que pesa 12 t. El hormigón tiene un  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ . Determinar la deformación de la columna.

#### Datos:

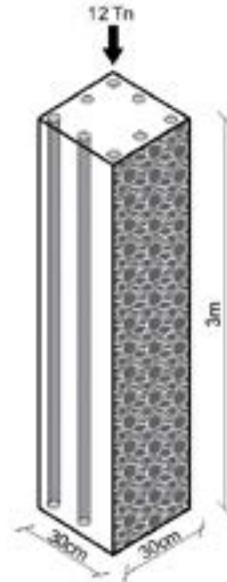
$$12 \text{ t} = 12\,000 \text{ kg}$$

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$Es = 2.1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ec = 2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{sec} = 30 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm}$$

$$A_{sec} = 900 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 8 = \frac{\pi \cdot (1.4 \text{ cm})^2}{4} \cdot 8 = 12.31 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{sec} - A_s = 900 \text{ cm}^2 - 12.31 \text{ cm}^2 = 887.69 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos las deformaciones.

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s \cdot L_s}{E_s \cdot A_s} = \frac{P_c \cdot L_c}{E_c \cdot A_c}$$

$$\frac{4\,200 \text{ kg/cm}^2}{2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 \cdot 887.69 \text{ cm}^2}$$

$$\frac{0.002}{1} = \frac{P_c}{186\,414\,900 \text{ kg}}$$

$$372\,829.8 \text{ kg} = P_c$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos la fuerza que soporta el acero y hormigón.

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = A_s \cdot \sigma_s$$

$$P_s = 12.31 \text{ cm}^2 \cdot 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 51\,702 \text{ kg}$$

$$P_{max} = P_c + P_s$$

$$P_s = 372\,829.8 \text{ kg} + 51\,702 \text{ kg}$$

$$P_{max} = 424\,531.8 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Calculamos el esfuerzo de fluencia del hormigón.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{372\,829.8\text{ kg}}{887.69\text{ cm}^2}$$

$$\sigma_c = 420\text{ kg/cm}^2$$

**Comprobación:**

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta s = \frac{51\,702\text{ kg} * 300\text{ cm}}{2.1 * 10^6\text{ kg/cm}^2 * 12.31\text{ cm}^2} \quad \Delta c = \frac{372\,829.8\text{ kg} * 300\text{ cm}}{2.1 * 10^5\text{ kg/cm}^2 * 887.69\text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.6\text{ cm} \quad \Delta c = 0.6\text{ cm}$$

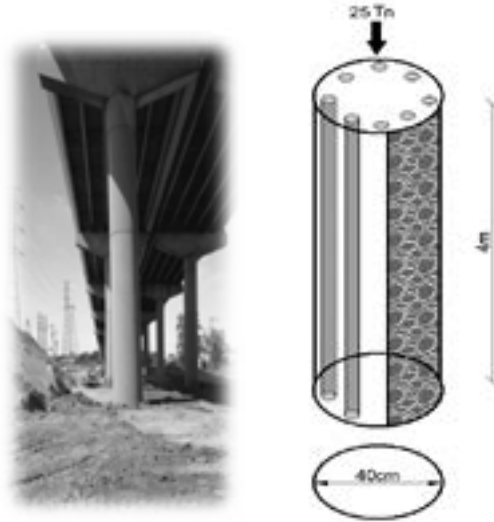
**Respuesta**  $\Delta s = 0.6\text{ cm}$   $\Delta c = 0.6\text{ cm}$

## Ejercicio 2

Una columna de hormigón se utiliza en la estructura de un puente que soporta una carga total de 25 t. El hormigón tiene una resistencia a compresión de  $f'_c = 250\text{ kg/cm}^2$ . Evalúa la deformación.

**Datos:**

25 t = 25 000 kg  
 $f'_c = 250\text{ kg/cm}^2$   
 $f'_y = 3\,800\text{ kg/cm}^2$   
 $E_s = 2.1 * 10^5\text{ kg/cm}^2$   
 $E_c = 2.1 * 10^6\text{ kg/cm}^2$   
 8  $\varnothing$  14 mm



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{sec} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (40\text{ cm})^2}{4} = 1\,256.63\text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * 8 = \frac{\pi \cdot (1.2\text{ cm})^2}{4} * 8 = 9.04\text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{sec} - A_s = 1\,256.63\text{ cm}^2 - 9.04\text{ cm}^2 = 1\,247.59\text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos para las deformaciones.

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{3\,800\text{ kg/cm}^2}{2.1 * 10^6\text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 * 10^5\text{ kg/cm}^2 * 1\,247.59\text{ cm}^2}$$

$$\frac{0.001809}{2.1 * 10^6\text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2\,619\,939\,900\text{ kg}}$$

$$474\,084.2\text{ kg} = P_c$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos el peso máximo entre el acero y hormigón.

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = A_s * \sigma_s$$

$$P_s = 9.04 \text{ cm}^2 * 3\,800 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 34\,352 \text{ kg}$$

$$P_{max} = P_c + P_s$$

$$P_s = 474\,084.2 \text{ kg} + 34\,352 \text{ kg}$$

$$P_{max} = 508\,436.2 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Encontramos el esfuerzo de fluencia del hormigón.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{474\,084.2 \text{ kg}}{1\,247.59 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_c = 380 \text{ kg/cm}^2$$

**Comprobación:**

$$\frac{\Delta s}{L_s} = \frac{\Delta c}{L_c}$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta s = \frac{34\,352 \text{ kg} * 400 \text{ cm}}{2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2 * 9.04 \text{ cm}^2} \quad \Delta c = \frac{474\,084.2 \text{ kg} * 400 \text{ cm}}{2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2 * 1\,247.59 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.72 \text{ cm} \quad \Delta c = 0.72 \text{ cm}$$

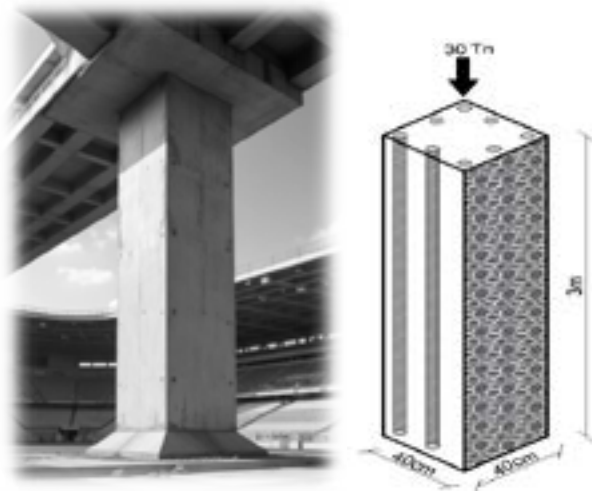
**Respuesta**  $\Delta s = 0.72 \text{ cm}$   $\Delta c = 0.72 \text{ cm}$

### Ejercicio 3

En un estadio, una columna de hormigón armado sostiene una carga de 30 t debido a las gradas. La resistencia a compresión del hormigón es  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Evalúa la deformación.

**Datos:**

30 t = 30 000 kg  
 $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$   
 $f'_y = 3600 \text{ kg/cm}^2$   
 $E_s = 2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2$   
 $E_c = 2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$   
 8  $\emptyset$  14 mm



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{sec} = 40 \text{ cm} * 40 \text{ cm}$$

$$A_{sec} = 1\,600 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * 8 = \frac{\pi \cdot (1.4 \text{ cm})^2}{4} * 8 = 12.31 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{sec} - A_s = 1\,600 \text{ cm}^2 - 12.31 \text{ cm}^2 = 1\,587.69 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos para las deformaciones.

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{3\,600 \text{ kg/cm}^2}{2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2 * 1\,587.69 \text{ cm}^2}$$

$$\frac{0.0017}{333\,414\,900 \text{ kg}} = \frac{P_c}{333\,414\,900 \text{ kg}}$$

$$571\,568.4 \text{ kg} = P_c$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos el peso máximo entre el acero y hormigón.

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = A_s * \sigma_s$$

$$P_s = 12.31 \text{ cm}^2 * 3\,600 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 44\,316 \text{ kg}$$

$$P_{max} = P_c + P_s$$

$$P_s = 571\,568.4 \text{ kg} + 44\,316 \text{ kg}$$

$$P_{max} = 615\,884.4 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Hallamos el esfuerzo de fluencia del hormigón.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{571\,568.4 \text{ kg}}{1\,587.69 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_c = 360 \text{ kg/cm}^2$$

**Comprobación:**

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta s = \frac{44\,316 \text{ kg} * 300 \text{ cm}}{2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 12.31 \text{ cm}^2} \quad \Delta c = \frac{571\,568.4 \text{ kg} * 300 \text{ cm}}{2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2 * 1\,587.69 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Respuesta} \quad \Delta s = 0.51 \text{ cm} \quad \Delta c = 0.51 \text{ cm}$$

#### Ejercicio 4

Se tiene una columna circular que va a soportar una estatua que pesa 8 t. El hormigón de la columna tiene una resistencia a compresión del hormigón de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Evalúa la deformación.

#### Datos:

$$8 \text{ t} = 8\,000 \text{ kg}$$

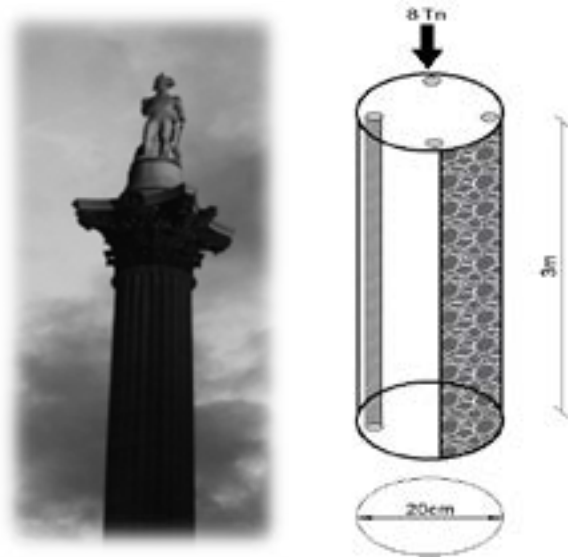
$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'y = 3\,500 \text{ kg/cm}^2$$

$$Es = 2.1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ec = 2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$4 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{sec} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (20 \text{ cm})^2}{4} = 314.15 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * 4 = \frac{\pi \cdot (1 \text{ cm})^2}{4} * 4 = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{sec} - A_s = 314.15 \text{ cm}^2 - 3.14 \text{ cm}^2 = 311.01 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos las deformaciones.

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{3\,500 \text{ kg/cm}^2}{2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2 * 311.01 \text{ cm}^2}$$

$$\frac{0.001}{1} = \frac{P_c}{65\,312\,100 \text{ kg}}$$

$$108\,853.5 \text{ kg} = P_c$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos el peso máximo entre el acero y hormigón.

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = A_s * \sigma_s$$

$$P_s = 3.14 \text{ cm}^2 * 3\,500 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 10\,990 \text{ kg}$$

$$P_{max} = P_c + P_s$$

$$P_s = 108\,853.5 \text{ kg} + 10\,990 \text{ kg}$$

$$P_{max} = 119\,843.5 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Determinamos el esfuerzo de fluencia del hormigón.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{108\,853.5 \text{ kg}}{311.01 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_c = 350 \text{ kg/cm}^2$$

**Comprobación:**

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta_s = \frac{10\,990 \text{ kg} * 300 \text{ cm}}{2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 3.14 \text{ cm}^2} \quad \Delta_c = \frac{108\,853.5 \text{ kg} * 300 \text{ cm}}{2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2 * 311.01 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta_s = 0.5 \text{ cm} \quad \Delta_c = 0.5 \text{ cm}$$

**Respuesta**  $\Delta_s = 0.5 \text{ cm}$   $\Delta_c = 0.5 \text{ cm}$

### Ejercicio 5

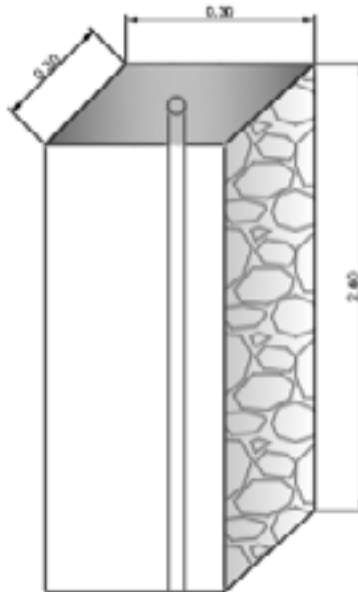
Una columna de hormigón armado soporta el peso de un automóvil de 8 toneladas. Calcular su deformación.

**Datos:**

$$f_y = 1\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{\text{sec}} = 30 \times 30$$

$$A_{\text{sec}} = 900 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi * 1^2}{4} (1)$$

$$A_s = 0.79$$

$$A_c = 899.21$$

**Paso 2:** Igualamos las deformaciones.

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_H * L_H}{E_H * A_H}$$

$$\frac{1\ 000}{2.1 \times 10^6} = \frac{P_H}{2.1 \times 10^5 * 899.21}$$

$$899.21 \text{ kg} = P_H$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos el peso máximo entre el acero y hormigón:

$$P_s = 1\ 000 \text{ kg/cm}^2 \times 0.79 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 790 \text{ kg}$$

**Comprobación**

$$\frac{790 * 240}{2.1 \times 10^6 * 0.79} = \frac{899.21 * 240}{2.1 \times 10^5 * 899.21}$$

$$\Delta s \ 0.11 = \Delta c \ 0.11$$

### Ejercicio 6

Existe una columna circular de hormigón armado, lista para soportar el peso de una imponente camioneta Ford 350 de 11.1 toneladas. Esta camioneta se exhibe confiadamente sobre la columna. Calcular su deformación.

**Datos:**

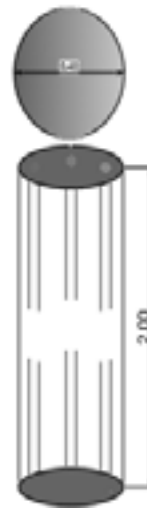
$$f'_y = 1\ 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$3 \ \emptyset \ 12 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro} = 40 \text{ cm}$$

$$4 \ \emptyset \ 10 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{sec} = \frac{\pi * 40^2}{4}$$

$$A_{sec} = 1\ 256.64 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi * 1.2^2}{4} (3)$$

$$A_s = 3.39 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 1\ 253.25 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos para las deformaciones.

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_H * L_H}{E_H * A_H}$$

$$\frac{1\ 200}{2.1 \times 10^6} = \frac{P_H}{2.1 \times 10^5 * 1\ 253.25 \text{ cm}^2}$$

$$150\ 390 \text{ kg} = P_H$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos el peso máximo entre el acero y hormigón.

$$P_s = 1\,200 \text{ kg/cm}^2 \times 3.39 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 1\,068 \text{ kg}$$

**Comprobación**

$$\frac{4\,068 * 200}{2.1 \times 10^6 * 3.39} = \frac{150\,390 * 200}{2.1 \times 10^5 * 1253.25}$$

$$\Delta_s 0.11 = \Delta_c 0.11$$

$$PT = 154\,458 \text{ kg}$$

**Ejercicio 7**

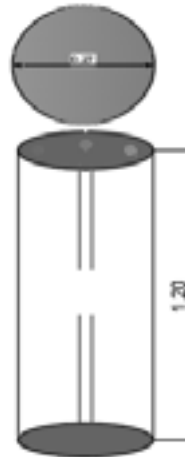
Imaginemos que una columna circular de hormigón armado está lista para soportar el peso de varios autos (cada uno pesa 4 toneladas). Se exhibirán confiadamente sobre la columna. Calcular cuántos autos soportará.

**Datos:**

$$f'_y = 4\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ } \varnothing 14 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{sec} = \frac{\pi * 27^2}{4}$$

$$A_{sec} = 572.56 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi * 1.4^2}{4} (1)$$

$$A_s = 1.54 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 571.02 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos para las deformaciones.

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_H * L_H}{E_H * A_H}$$

$$\frac{4\,000}{2.1 \times 10^6} = \frac{P_H * L_H}{2.1 \times 10^5 * 571.02 \text{ cm}^2}$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos el peso máximo entre el acero y hormigón.

$$228\,408 \text{ kg} = P_H$$

$$P_s = 4\,000 \text{ kg/cm}^2 \times 1.54 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 6\,160 \text{ kg}$$

**Comprobación**

$$\frac{6\,160 * 120}{2.1 \times 10^6 * 1.54} = \frac{228\,408 * 120}{2.1 \times 10^5 * 571.02}$$

$$\Delta_s 0.23 = \Delta_c 0.23$$

$$PT = \frac{234\,568 \text{ kg}}{1\,000}$$

**Respuesta**  $PT = 14.66$   $R = 14.66$  número de autos

### Ejercicio 8

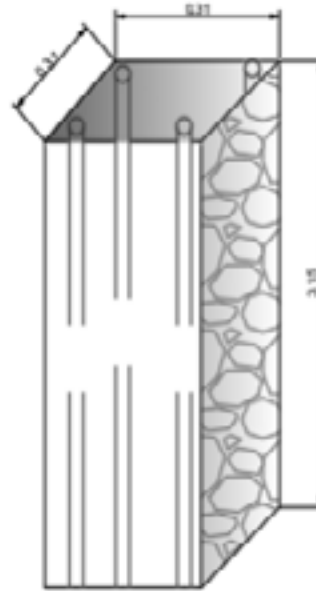
Una columna está lista para soportar el peso de un imponente cartel publicitario con un peso de 4.2 toneladas. Calcular la deformación de la columna.

#### Datos:

$$f'y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 130 \text{ kg/cm}^2$$

$$4 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{sec} = 31 \times 31$$

$$A_{sec} = 961 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi * 1^2}{4} (4)$$

$$A_s = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 957.86 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos para las deformaciones.

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_H * L_H}{E_H * A_H}$$
$$\frac{4\,200}{2.1 \times 10^6} = \frac{P_H}{2.1 \times 10^5 * 957.86 \text{ cm}^2}$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos el peso máximo entre el acero y hormigón.

$$402\,301.20 \text{ kg} = P_H$$

$$P_s = 4\,200 \text{ kg/cm}^2 \times 3.14 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 13\,188 \text{ kg}$$

#### Comprobación

$$\frac{13\,188 * 315}{2.1 \times 10^6 * 3.14} = \frac{402\,301.20 * 315}{2.1 \times 10^5 * 957.86}$$

$$\Delta_s 0.63 = \Delta_c 0.63$$

PT = 415 489.20 **Respuesta** = La columna sí soporta el cartel.

### Ejercicio 9

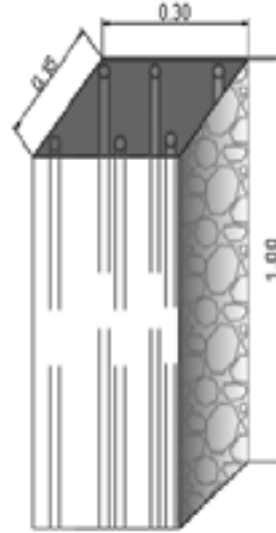
En el siguiente ejercicio se hará un cálculo para ver si el acero en la columna soporta más que el hormigón.

**Datos:**

$$f_y = 4\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ } \varnothing 14 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección, acero y hormigón.

$$A_{sec} = \frac{\pi * 27^2}{4}$$

$$A_{sec} = 572.56 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi * 1.4^2}{4} (1)$$

$$A_s = 1.54 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 571.02 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos para las deformaciones.

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_H * L_H}{E_H * A_H}$$

$$\frac{4\,000}{2.1 * 10^6} = \frac{P_H}{2.1 * 10^5 * 571.02 \text{ cm}^2}$$

**Paso 3:** Despejamos y calculamos el peso máximo entre el acero y hormigón.

$$228\,408 \text{ kg} = P_H$$

$$P_s = 4\,000 \text{ kg/cm}^2 * 1.54 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 6\,160 \text{ kg}$$

**Comprobación**

$$\frac{6\,160 * 120}{2.1 * 10^6 * 1.54} = \frac{228\,408 * 120}{2.1 * 10^5 * 571.02}$$
$$\Delta_s 0.23 = \Delta_c 0.23$$

### Ejercicio 10

Calcular la deformación de cada material de la siguiente columna con las siguientes características.

**Datos:**

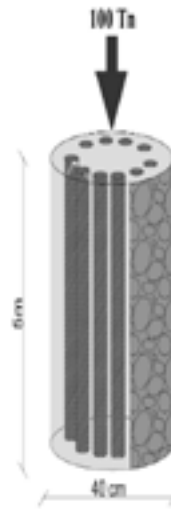
$$P = 100 \text{ t}$$

$$d1 = 12 \text{ mm}$$

$$d2 = 14 \text{ mm}$$

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_h = 2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Convertimos unidades.

$$L = 5 \text{ m} \left| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right|$$

$$L = 500 \text{ cm}$$

$$P = 100 \text{ t} \left| \frac{1 \text{ 000 kf}}{1 \text{ t}} \right|$$

$$P = 100 \text{ 000 kgf}$$

**Paso 2:** Calculamos áreas.

Área de la sección transversal

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (40 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 1 \text{ 256.64 cm}^2$$

Área del acero 1

$$d1 = 1.2 \text{ cm}$$

$$As_1 = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$As_1 = \frac{\pi * (1.2 \text{ cm})^2}{4} * 2$$

$$As_1 = 2.26 \text{ cm}^2$$

Área del acero 2

$$d2 = 1.4 \text{ cm}$$

$$As_2 = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$As_1 = \frac{\pi * (1.4 \text{ cm})^2}{4} * 8$$

$$As_1 = 12.31 \text{ cm}^2$$

Área total del acero

$$Ats = 2.26 \text{ cm}^2 + 12.31 \text{ cm}^2$$

$$Ats = 14.57 \text{ cm}^2$$

Área del hormigón

$$A_c = A_t - A_{ts}$$

$$A_c = 1\,256.64 \text{ cm}^2 - 14.57 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 1\,242.07 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el peso del acero.

$$P_T = P_s + P_c$$

$$1\,000 \text{ kg} = P_s + P_c$$

$$P_s = 100\,000 \text{ kg} - P_c$$

**Paso 4:** Calculamos el peso del hormigón.

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{100\,000 - P_c}{(2.1 * 10^6) * 14.57} = \frac{P_c}{(2.1 * 10^5) * 1\,242.07}$$

$$\frac{100\,000 - P_c}{3\,059\,700} = \frac{P_c}{260\,834\,700}$$

$$100\,000 - P_c = P_c \frac{3\,059\,700}{260\,834\,700}$$

$$100\,000 = P_c 0.1173041777 + P_c$$

$$100\,000 = 1.1173041777 P_c$$

$$P_c = \frac{100\,000}{1.1173041777}$$

$$P_c = 89\,501.14 \text{ kgf}$$

**Paso 5:** Calculamos el peso del acero.

$$A_s = 100\,000 \text{ kg} - 89\,501.14$$

$$P_s = 10\,498.86 \text{ kg}$$

**Paso 6:** Calculamos deformaciones.

$$\Delta_s = \frac{10\,498.86 \text{ kg} * 500 \text{ cm}}{\left(2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 14.57 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta_s = 0.17 \text{ cm}$$

$$\Delta_c = \frac{89\,501.14 \text{ kg} * 500 \text{ cm}}{\left(2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 14\,242.07 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta_c = 0.17 \text{ cm}$$

### Ejercicio 11

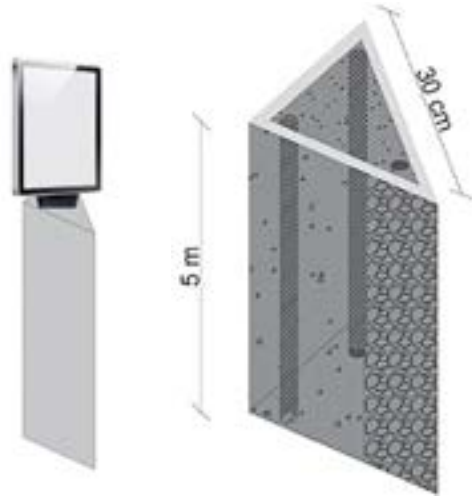
Se tiene una columna triangular que soporta una pantalla de publicidad, que va tener un peso de 3 t. El hormigón tiene  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

**Datos:**

$$f'c = 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'y = 4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$3 \text{ } \varnothing 14 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos las áreas.

Área de sección transversal

$$A_{sec} = b * h$$

$$A_{sec} = 30 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_{sec} = 450 \text{ cm}^2$$

Área del acero ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_s = \frac{\pi * (1.4 \text{ cm})^2}{4} * 3$$

$$A_s = 4.62 \text{ cm}^2$$

Área del hormigón

$$A_c = A_{sec} - A_s$$

$$A_c = 450 \text{ cm}^2 - 4.62 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 445.38 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos la fuerza absorbida por el hormigón ( $P_c$ ).

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{4\,200 \text{ kg/cm}^2}{(2.1 * 10^6) \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{(2.1 * 10^5) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 445.38 \text{ cm}^2}$$

$$0.002 = \frac{P_c}{93\,529\,800}$$

$$0.002 * 93\,529\,800 = P_c$$

$$P_c = 187\,059.6 \text{ kg}$$

**Paso 3:** Calculamos el peso del acero (PS).

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = \sigma_s * A_s$$

$$P_s = \left(4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * (4.62 \text{ cm}^2)$$

$$P_s = 19\,404 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Calculamos deformaciones.

Deformación del hormigón:

$$\Delta c = \frac{187\,059.6 \text{ kg} * 500 \text{ cm}}{\left(2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 445.38 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 1 \text{ cm}$$

Deformación del acero:

$$\Delta s = \frac{19\,404 \text{ kg} * 500 \text{ cm}}{\left(2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 4.62 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 1 \text{ cm}$$

Cálculo de carga máxima :

$$P_{\text{max}} = P_c + P_s$$

$$P_{\text{max}} = 187\,059.6 \text{ kg} + 19\,404 \text{ kg}$$

$$P_{\text{max}} = 206\,463.6 \text{ kg}$$

**Respuesta**  $P_{\text{max}} = 206\,463.6 \text{ kg}$

### Ejercicio 12

¿Cuál es la carga máxima que soportará una columna designada a mostrar un cartel publicitario, sabiendo que no debe exceder los esfuerzos admisibles? Determine la deformación de cada material.

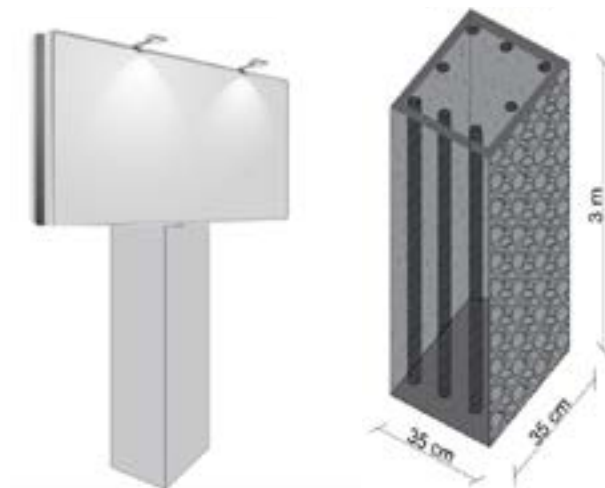
**Datos:**

$$d_s = 12 \text{ mm}$$

$$f'_c = 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$8 \phi 12 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos las áreas.

Área de sección transversal

$$A_{\text{sec}} = b * h$$

$$A_{\text{sec}} = 35 \text{ cm} * 35 \text{ cm}$$

$$A_{\text{sec}} = 1\,225 \text{ cm}^2$$

Área del acero ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4}$$
$$A_s = \frac{\pi * (1.2 \text{ cm})^2}{4} * 8$$
$$A_s = 9.05 \text{ cm}^2$$

Área del hormigón

$$A_c = A_{\text{sec}} - A_s$$
$$A_c = 1225 \text{ cm}^2 - 9.05 \text{ cm}^2$$
$$A_c = 1\,215.95 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos la fuerza del hormigón ( $P_c$ ).

$$\frac{\Delta_s = \Delta_c}{\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}}$$
$$\frac{4\,200 \text{ kg/cm}^2}{(2.1 * 10^6) \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{\frac{(2.1 * 10^5) \text{ kg}}{\text{cm}^2} * 1\,215.95 \text{ cm}^2}$$
$$0.002 = \frac{P_c}{255\,349\,500}$$
$$0.002 * 255\,349\,500 = P_c$$
$$P_c = 510\,699 \text{ kg}$$

**Paso 3:** Calculamos el peso del acero ( $P_s$ ).

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$
$$P_s = \sigma_s * A_s$$
$$P_s = \left(4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * (9.05 \text{ cm}^2)$$
$$P_s = 38\,010 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Calculamos la deformación del hormigón.

$$\Delta_c = \frac{510\,699 \text{ kg} * 300 \text{ cm}}{\left(2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 1\,215.95 \text{ cm}^2}$$
$$\Delta_s = 0.6 \text{ cm}$$

**Paso 5:** Calculamos la deformación del acero.

$$\Delta_s = \frac{38\,010 \text{ kg} * 300 \text{ cm}}{\left(2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 9.05 \text{ cm}^2}$$
$$\Delta_s = 0.6 \text{ cm}$$

**Paso 6:** Calculamos la carga máxima.

$$P_{\text{max}} = P_c + P_s$$
$$P_{\text{max}} = 510\,699 \text{ kg} + 38\,010 \text{ kg}$$
$$P_{\text{max}} = 548\,709 \text{ kg}$$

**Respuesta**  $P_{\text{max}} = 548\,709 \text{ kg}$

### Ejercicio 13

Se tiene una columna circular que va soportar un tanque de agua de 3 t. El acero  $f'y = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$  y el hormigón tiene acero  $f'c = 180\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ : ¿soporta o no la carga axial?

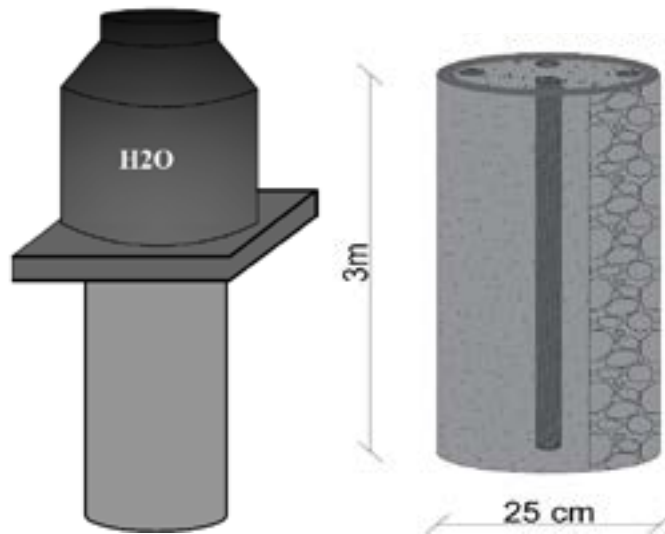
#### Datos:

$$ds = 12\ \text{mm}$$

$$f'c = 180\ \text{kg/cm}^2$$

$$f'y = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$$

$$1\ \emptyset\ 14\ \text{mm}$$



#### Paso 1: Calculamos áreas.

Área de sección transversal

$$A_{sec} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_{sec} = \frac{\pi * (25\ \text{cm})^2}{4}$$

$$A_{sec} = 490.87\ \text{cm}^2$$

Área del acero ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_s = \frac{\pi * (1.2\ \text{cm})^2}{4} * 4$$

$$A_s = 4.52\ \text{cm}^2$$

Área del hormigón

$$A_c = A_{sec} - A_s$$

$$A_c = 490.87\ \text{cm}^2 - 4.52\ \text{cm}^2$$

$$A_c = 486.35\ \text{cm}^2$$

#### Paso 2: Calculamos la fuerza del hormigón ( $P_c$ ).

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{4\ 200\ \text{kg/cm}^2}{(2.1 * 10^6)\ \text{kg/cm}^2} = \frac{P_c}{(2.1 * 10^5)\ \text{kg/cm}^2 * 486.35\ \text{cm}^2}$$

$$0.002 = \frac{P_c}{102\ 133\ 500}$$

$$0.002 * 102\ 133\ 500 = P_c$$

$$P_c = 204\ 267\ \text{kg}$$

**Paso 3:** Calculamos el peso del acero (PS).

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = \sigma_s * A_s$$

$$P_s = \left( 4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * (4.52 \text{cm}^2)$$

$$P_s = 18\,984 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Calculamos deformaciones.

Deformación del hormigón

$$\Delta c = \frac{204\,267 \text{ kg} * 200 \text{ cm}}{\left( 2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * 486.35 \text{ cm}^2}$$

$$s = 0.4 \text{ cm}$$

Deformación del acero

$$\Delta s = \frac{18\,984 \text{ kg} * 200 \text{ cm}}{\left( 2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * 4.25 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.4 \text{ cm}$$

Cálculo de carga máxima

$$P_{\text{max}} = P_c + P_s$$

$$P_{\text{max}} = 204\,267 \text{ kg} + 18\,984 \text{ kg}$$

$$P_{\text{max}} = 223\,251 \text{ kg}$$

**Respuesta**  $P_{\text{max}} = 223\,251 \text{ kg}$

#### Ejercicio 14

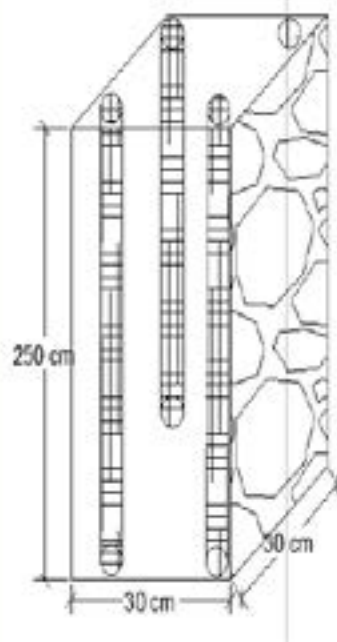
Se tiene una columna circular que va soportar un tanque de agua de 3 t. El acero  $f'y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$  y el hormigón tiene  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ . ¿Soporta o no soporta la carga axial?

**Datos:**

$$3 \text{ t} = 3\,000 \text{ kg}$$

$$f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Calculamos el área de las secciones.

$$\begin{aligned}
 A_{\text{sec}} &= b * h \\
 A_{\text{sec}} &= 30 \text{ cm} * 30 \text{ cm} \\
 A_{\text{sec}} &= 900 \text{ cm}^2 \\
 A_s &= \frac{\pi * D^2}{4} * (\# \text{ aceros}) \\
 A_s &= \frac{\pi * (1.2 \text{ cm})^2}{4} * (4) \\
 A_s &= 4.52 \text{ cm}^2 \\
 A_c &= A_{\text{sec}} - A_s \\
 A_c &= 900 \text{ cm}^2 - 4.52 \text{ cm}^2 \\
 A_c &= 895.48 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

**Paso 2:** Igualamos deformaciones según la ley de Hooke y despejamos la fuerza absorbida por el concreto.

$$\begin{aligned}
 \Delta_s &= \Delta_c \\
 \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} &= \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c} \\
 \frac{1 \text{ 200 kg/cm}^2}{(2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})} &= \frac{P_c}{(2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(895.48 \text{ cm}^2)} \\
 0.00057 &= \frac{P_c}{18 \text{ 805 080 kg}} \\
 107 \text{ 188.95 kg} &= P_c
 \end{aligned}$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo del acero.

$$\begin{aligned}
 \sigma_s &= \frac{P_s}{A_s} \\
 P_s &= A_s * \sigma_s \\
 P_s &= 4.52 \text{ cm}^2 * 1 \text{ 200 kg/cm}^2 \\
 P_s &= 5 \text{ 424 kg} \\
 P_{\text{max}} &= P_c + P_s \\
 P_{\text{max}} &= 107 \text{ 188.95 kg} + 5 \text{ 424 kg} \\
 P_{\text{max}} &= 112 \text{ 612.95 kg}
 \end{aligned}$$

**Comprobación**

$$\begin{aligned}
 \Delta_s &= \Delta_c \\
 \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} &= \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c} \\
 \frac{5 \text{ 424 kg} * 250 \text{ cm}}{(2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(4.52 \text{ cm}^2)} &= \frac{107 \text{ 188.95 kg} + 250 \text{ cm}}{(2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(895.48 \text{ cm}^2)} \\
 0.14 \text{ cm} &= 0.14 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

**Respuesta**  $P_{\text{max}} = 223 \text{ 251 kg}$

### Ejercicio 15

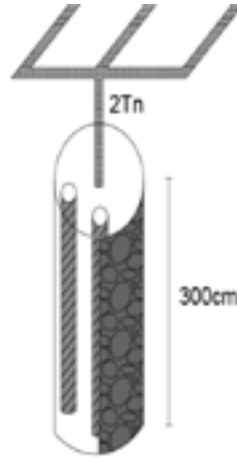
Una columna redonda tiene que soportar una antena que pesa 2 t. El hormigón que se utiliza para esta columna es de  $f_c = 170 \text{ kg/cm}^2$ . ¿Soporta la carga axial?

**Datos:**

$$f'_y: 4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_c: 170 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Diámetro} = 20 \text{ cm}$$



**Paso 1:** Realizamos las conversiones.

$$2 \text{ t} \times \frac{1\,000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} = 2\,000 \text{ kg}$$

$$14 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 1.4 \text{ cm}$$

**Paso 2:** Sacamos el área de la sección.

$$A_{\text{sec}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$
$$A_{\text{sec}} = \frac{\pi \cdot (20 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_{\text{sec}} = 314.16 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Sacamos el área del acero.

$$A_a = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_a = \frac{\pi \cdot (1.4)^2}{4} (4)$$

$$A_a = 6.16 \text{ cm}^2$$

**Paso 4:** Sacamos el área del hormigón.

$$A_h = A_{\text{sec}} - A_c$$

$$A_h = 314.16 - 6.16$$

$$A_h = 308 \text{ cm}^2$$

**Paso 5:** Aplicamos la fórmula.

$$\Delta A = \Delta H$$

$$\Delta A = \frac{P_A \cdot L_A}{E_A \cdot A_A} \quad \Delta H = \frac{P_H \cdot L_H}{E_H \cdot A_H}$$
$$\Delta A = \frac{4\,200 \text{ kg/cm}^2}{2.1 \times 10^6} = \frac{P_H}{2.1 \times 10^5 \times 308 \text{ cm}^2}$$
$$0.002 = \frac{P_H}{64\,680\,000 \text{ cm}^2}$$

$$P_H = 0.002 \cdot 64\,680\,000 \text{ cm}^2$$

$$P_H = 129\,360 \text{ kg}$$

**Paso 6:** Obtenemos la fuerza absorbida por el acero.

$$P = P_a + P_h$$

$$\Sigma = \frac{P}{A} = P = \sigma \cdot A$$

$$PA = \sigma A \cdot AA$$

$$PA = 4\,200 \text{ kg/cm} \cdot 6.16 \text{ cm}$$

$$PA = 25\,872 \text{ kg}$$

**Paso 7:** Calculamos la fuerza máxima.

$$P_{\max} = Pa + Ph$$

$$P_{\max} = 25\,872 + 129\,360$$

$$P_{\max} = 155\,232 \text{ kg}$$

Comprobación

$$\text{Acero} = \frac{25\,872 \text{ kg} \cdot 300}{2.1 \times 10^6 \cdot 6.16 \text{ cm}}$$

$$\text{Acero} = \frac{7\,761\,600}{12\,936\,000} = 0.6$$

$$\text{Acero} = 0.6$$

$$\text{Hormigón} = \frac{129\,360 \text{ kg} \cdot 300}{2.1 \times 10^5 \cdot 308 \text{ cm}}$$

$$\text{Hormigón} = \frac{38\,808\,000}{64\,680\,000} = 0.6$$

$$\text{Hormigón} = 0.6$$

**Respuesta**  $P_{\max} = 155\,232 \text{ kg}$

### Ejercicio 16

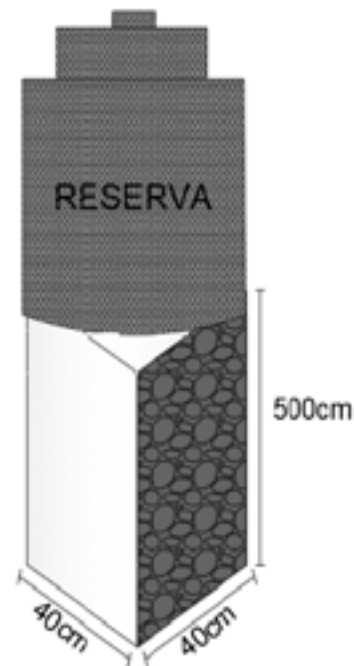
En una columna designada para un tanque de reserva, determine la deformación del material.

**Datos:**

$$f'_y = 1\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_c = 300 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$2 \text{ phi } 16 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Sacamos el área de la sección.

$$A = 40 \cdot 40$$

$$A = 1\,600 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Sacamos el área del acero.

$$A_a = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_a = \frac{\pi \cdot (1.6)^2}{4} (2)$$

$$A_a = 4.02 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Sacamos el área del hormigón.

$$A_h = A_{sec} - A_a$$

$$A_h = 1\,600 - 4.02$$

$$A_h = 1\,595.95 \text{ cm}^2$$

**Paso 4:** Aplicamos la fórmula.

$$\Delta A = \Delta H$$

$$\Delta A = \frac{PA \cdot LA}{EA \cdot AA} \quad \Delta H = \frac{PH \cdot LH}{EH \cdot AH}$$
$$\Delta A = \frac{1\,200 \text{ kg/cm}^2}{2.1 \times 10^6} = \frac{Ph}{2.1 \times 10^5 \cdot 1\,595.95 \text{ cm}^2}$$

$$0.00057 = \frac{Ph}{335\,149\,500 \text{ cm}^2}$$

$$Ph = 0.00057 \cdot 335\,149\,500$$

$$Ph = 191\,035.215 \text{ kg}$$

**Paso 5:** Obtenemos la fuerza absorbida por el acero.

$$P = P_a + P_h$$

$$\Sigma = \frac{P}{A} = P = \sigma \cdot A$$

$$P = \sigma A \cdot AA$$

$$P_a = 1\,200 \text{ kg/cm} \cdot 4.02 \text{ cm}$$

$$P_a = 4\,824 \text{ kg}$$

**Paso 6:** Calculamos el esfuerzo de fluencia del hormigón.

$$\sigma_h = \frac{Ph}{A_h}$$

$$\sigma_h = \frac{191\,035.215 \text{ kg}}{1\,595.95 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_h = 119.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**Comprobación**

$$\text{Acero} = \frac{4\,824 \text{ kg} \cdot 500}{2.1 \times 10^6 \cdot 4.02 \text{ cm}}$$

$$\text{Acero} = \frac{2\,412\,000}{8\,442\,000} = 0.29$$

$$\text{Acero} = 0.29$$

$$\text{Hormigón} = \frac{191\,035.215 \text{ kg} \cdot 500}{2.1 \times 10^5 \cdot 1\,595.95 \text{ cm}}$$

$$\text{Hormigón} = \frac{95\,517\,607.5}{335\,149\,500} = 0.29$$

$$\text{Hormigón} = 0.29$$

$$\text{Respuesta } \Sigma_h = 119.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### Ejercicio 17

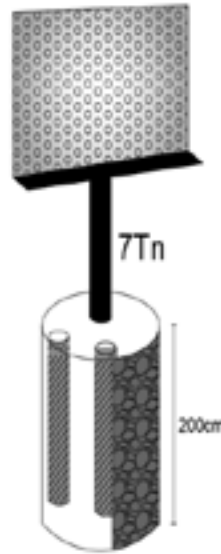
En una columna circular debe ir una valla publicitaria que pesa 7 t. Calcular las deformaciones de los materiales de la columna.

**Datos:**

$$d_s = 12 \text{ mm}$$

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección.

$$A_{sec} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_{sec} = \frac{\pi \cdot (30)^2}{4}$$

$$A_{sec} = 706.85 \text{ kg}$$

**Paso 2:** Calculamos el área del acero.

$$A_a = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_a = \frac{\pi \cdot (1.2)^2}{4} \quad (6)$$

$$A_a = 6.79 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el área del hormigón.

$$A_h = A_{sec} - A_a$$

$$A_h = 706.85 - 6.79$$

$$A_h = 700.06 \text{ cm}^2$$

**Paso 4:** Aplicamos la fórmula de la ley de Hooke.

$$\Delta A = \Delta H$$

$$\Delta A = \frac{P_A \cdot L_A}{E_A \cdot A_A} \quad \Delta H = \frac{P_H \cdot L_H}{E_H \cdot A_H}$$

$$\Delta A = \frac{4\,200 \text{ kg/cm}^2}{2.1 \times 10^6} = \frac{P_H}{2.1 \times 10^5 \cdot 700.06 \text{ cm}^2}$$

$$0.002 = \frac{P_H}{147\,012\,600 \text{ cm}^2}$$

$$P_H = 0.002 \cdot 147\,012\,600$$

$$P_H = 294\,021.2 \text{ kg}$$

**Paso 5:** Calculamos el esfuerzo absorbido por el acero.

$$P = P_a + P_h$$

$$\Sigma = \frac{P}{A} = P = \sigma \cdot A$$

$$P = \sigma A \cdot AA$$

$$PA = 4\,200 \text{ kg/cm} \cdot 6.79 \text{ cm}$$

$$Pa = 28\,518 \text{ kg}$$

**Paso 6:** Calculamos el peso máximo.

$$P_{\max} = Pa + Ph$$

$$P_{\max} = 28\,518 + 29\,4021.2$$

$$P_{\max} = 322\,539.2 \text{ kg}$$

Comprobación

$$\text{Acero} = \frac{28518 \text{ kg} \cdot 200}{2.1 \times 10^6 \cdot 6.79 \text{ cm}}$$

$$\text{Acero} = \frac{5\,703\,600}{14\,259\,000} = 0.4 \quad \text{Acero} = 0.4$$

$$\text{Hormigón} = \frac{294021.2 \text{ kg} \cdot 200}{2.1 \times 10^5 \cdot 700.06 \text{ cm}}$$

$$\text{Hormigón} = \frac{58\,804\,240}{147\,012\,600} = 0.4$$

$$\text{Hormigón} = 0.4$$

$$\text{Respuesta } P_{\max} = 223251 \text{ kg}$$

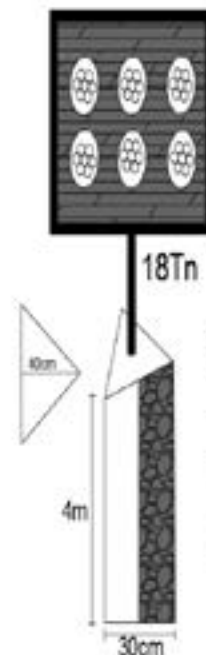
### Ejercicio 18

Una columna triangular de hormigón sostiene un sistema de iluminación fijo con un peso de 18 t. Determinar la deformación de la columna.

**Datos:**

$$f'_y = 3\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_c = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



**Paso 1:** Calculamos el área de la sección.

$$A_{\text{sec}} = \frac{b \cdot h}{2}$$

$$A_{\text{sec}} = \frac{30 \cdot 40}{2}$$

$$A_{\text{sec}} = 600 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos el área del acero.

$$Aa = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$
$$Aa = \frac{\pi \cdot (1.6)^2}{4} \quad (3)$$

$$Aa = 6.03 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el área del hormigón.

$$Ah = Asec - Aa$$

$$Ah = 600 - 6.03$$

$$Ah = 606.03 \text{ cm}^2$$

**Paso 4:** Aplicamos la fórmula.

$$\Delta A = \Delta H$$

$$\Delta A = \frac{PA \cdot LA}{EA \cdot AA} \quad \Delta H = \frac{PH \cdot LH}{EH \cdot AH}$$
$$\Delta A = \frac{3\,200 \text{ kg/cm}^2}{2.1 \times 10^6} = \frac{Ph}{2.1 \times 10^5 \cdot 606.03 \text{ cm}^2}$$
$$0.00152380 = \frac{Ph}{12\,766\,300 \text{ cm}^2}$$

$$Ph = 0.00152380 \cdot 12\,766\,300$$

$$Ph = 193\,928.3879$$

**Paso 5:** Calculamos el esfuerzo absorbido por el acero.

$$P = Pa + Ph$$

$$\sigma = \frac{P}{A} = P = \sigma \cdot A$$

$$P = \sigma A \cdot AA$$

$$PA = 3\,200 \text{ kg/cm} \cdot 6.03 \text{ cm}$$

$$Pa = 19\,296 \text{ kg}$$

**Paso 6:** Calculamos el peso máximo.

$$P_{\max} = Pa + Ph$$

$$P_{\max} = 19\,296 + 193\,928.3879$$

$$P_{\max} = 213\,224.3879 \text{ kg}$$

### Comprobación

$$\text{Acero} = \frac{19\,296 \text{ kg} \cdot 400}{2.1 \times 10^6 \cdot 6.03 \text{ cm}}$$

$$\text{Acero} = \frac{7\,838\,400}{12\,663\,000} = 0.61$$

$$\text{Acero} = 0.61$$

$$\text{Hormigón} = \frac{193\,928 \text{ kg} \cdot 400}{2.1 \times 10^5 \cdot 606.03 \text{ cm}}$$

$$\text{Hormigón} = \frac{77\,571\,355.16}{127\,266\,300} = 0.61$$

$$\text{Hormigón} = 0.61$$

**Respuesta**  $P_{\max} = 213\,224.3879 \text{ kg}$

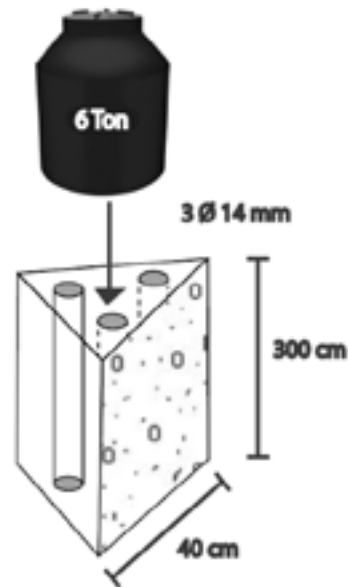
### Ejercicio 19

Se requiere diseñar una columna de hormigón armado con sección triangular, destinado a soportar un tanque elevado. El tanque ejerce una carga puntual de 6 t en el eje vertical de la columna.

**Datos:**

$$f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Calculamos áreas.

$$A_{Sec} = \frac{l^2 * \sqrt{3}}{4}$$

$$A_{Sec} = \frac{40^2 * \sqrt{3}}{4}$$

$$A_{Sec} = 692.82 \text{ cm}^2$$

$$A_C = A_{sec} - A_S$$

$$A_C = 692.82 \text{ cm}^2 - 4.61 \text{ cm}^2$$

$$A_C = 688.21 \text{ cm}^2$$

$$A_S = \frac{\pi * (D)^2}{4} * (n.^\circ \text{ varrilla})$$

$$A_S = \frac{\pi * (1.4 \text{ cm})^2}{4} \quad (3)$$

$$A_S = 4.61 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Encontramos PC.

$$\sigma_S = \frac{P_S}{A_S} \quad 4200 \text{ kg/cm}^2 = \frac{P_S}{A_S}$$

$$\frac{4\,200 \text{ kg/cm}^2}{2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_C}{2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 688.2 \text{ cm}^2}$$

$$0.002 = \frac{P_C}{144\,524\,100 \text{ kg}}$$

$$P_C = 0.002 * 144\,524\,100 \text{ kg}$$

$$P_C = 289\,048.2 \text{ kg}$$

**Paso 3:** Encontramos  $P_s$  y  $\sigma_c$ .

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{289\,048.2\text{ kg}}{688.21\text{ cm}^2}$$

$$\sigma_c = 420\text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = \sigma_s * A_s$$

$$P_s = 4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 4.61\text{ cm}^2$$

$$P_s = 19\,362\text{ kg}$$

**Paso 4:** Encontramos la deformación del acero y del hormigón.

$$\Delta s = \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s}$$

$$\Delta s = \frac{19\,362\text{ kg} * 300\text{ cm}}{2.1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2 * 4.61\text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.6\text{ cm}$$

**Paso 5:** Encontramos la fuerza total que puede absorber la columna.

$$P_T = P_s + P_c$$

$$P_T = 19\,362\text{ kg} + 289\,048.2\text{ kg}$$

$$P_T = 308\,410.2\text{ kg}$$

**Respuesta**  $P_T = 308\,410.2\text{ kg}$

### Ejercicio 20

Se diseña una columna con sección circular para sostener un anuncio publicitario con una carga de 9 t. El diámetro de la columna es de 30 cm.

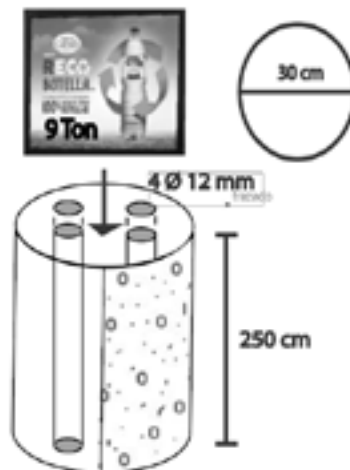
**Datos:**

Tracción:

$$f_y = 4\,200\text{ kg/cm}^2$$

Compresión:

$$f'_c = 280\text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Calculamos áreas.

$$A_{Sec} = \frac{\pi * (D)^2}{4}$$

$$A_{Sec} = \frac{\pi * (30)^2}{4}$$

$$A_{Sec} = 706.85 \text{ cm}^2$$

$$A_S = \frac{\pi * (D)^2}{4} * (n.^\circ \text{ varrilla})$$

$$A_S = \frac{\pi * (1.2 \text{ cm})^2}{4} \quad (4)$$

$$A_S = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$A_C = A_{Sec} - A_S$$

$$A_C = 706.85 \text{ cm}^2 - 4.52 \text{ cm}^2$$

$$A_C = 702.33 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Encontrar  $P_C$ .

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{E_s} = \frac{P_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{2 * 10^6 \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 702.33 \text{ cm}^2}$$

$$0.002 = \frac{P_c}{147489300 \text{ kg}}$$

$$P_c = 0.002 * 147489300 \text{ kg}$$

$$P_c = 294978.6 \text{ kg}$$

**Paso 3:** Encontramos  $P_s$  y  $\sigma_c$ .

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = \sigma_s * A_s$$

$$P_s = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 4.52 \text{ cm}^2$$

$$P_s = 18984 \text{ kg}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{294978.6 \text{ kg}}{702.33 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_c = 420 \text{ kg/cm}^2$$

**Paso 4:** Encontramos la deformación del acero y del hormigón.

$$\Delta s = \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s}$$

$$\Delta s = \frac{18\,984 \text{ kg} * 250 \text{ cm}}{2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 * 4.52 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.5 \text{ cm}$$

$$\Delta c = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta s = \frac{294\,978.6 \text{ kg} * 250 \text{ cm}}{2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 * 702.33 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.5 \text{ cm}$$

**Paso 5:** Encontramos el peso total.

**Respuesta:** La deformación axial es de 0.5 cm. El peso máximo de la columna es de 313.96 t; por lo tanto, sí soporta el peso del anuncio publicitario.

$$PT = P_s + P_c$$

$$PT = 18\,984 \text{ kg} + 294\,978.6 \text{ kg}$$

$$PT = 313\,962.6 \text{ kg}$$

**Respuesta**  $PT = 313\,962.6 \text{ kg}$

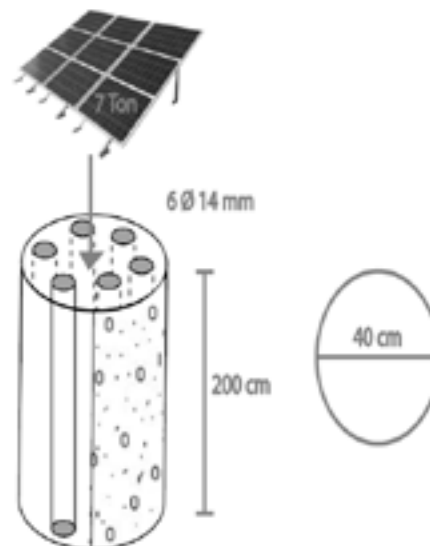
### Ejercicio 21

Se diseña una columna de sección circular para sostener un grupo de paneles solares. La carga es de 7 t y el diámetro de la sección es de 40 cm.

**Datos:**

$$f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Calculamos áreas.

$$A_{Sec} = \frac{\pi * (40 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_{Sec} = 1\,256.63 \text{ cm}^2$$

$$AS = \frac{\pi * (D)^2}{4} * (n.^\circ \text{ varrilla})$$

$$AS = \frac{\pi * (1.4 \text{ cm})^2}{4} (6)$$

$$AS = 9.23 \text{ cm}^2$$

$$AC = A_{sec} - A_S$$

$$AC = 1\,256.63\text{ cm}^2 - 9.23\text{ cm}^2$$

$$AC = 1\,247.40\text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Encontramos  $P_C$ .

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{4\,200\text{ kg/cm}^2}{2.1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1\,247.40\text{ cm}^2}$$

$$0.002 = \frac{P_c}{261\,954\,000\text{ kg}}$$

$$P_c = 0.002 * 261\,954\,000\text{ kg}$$

$$P_c = 523\,908\text{ kg}$$

**Paso 3:** Encontramos  $P_s$  y  $\sigma_c$ .

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{523\,908\text{ kg}}{1\,247.40\text{ cm}^2}$$

$$\sigma_c = 420\text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = \sigma_s * A_s$$

$$P_s = 4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 9.23\text{ cm}^2$$

$$P_s = 38\,766\text{ kg}$$

**Paso 4:** Encontramos la deformación del acero y del hormigón.

$$\Delta s = \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s}$$

$$\Delta s = \frac{38\,766\text{ kg} * 200\text{ cm}}{2.1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2 * 9.23\text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.4\text{ cm}$$

$$\Delta c = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta c = \frac{523\,908\text{ kg} * 200\text{ cm}}{2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1\,247.40\text{ cm}^2}$$

$$\Delta c = 0.4\text{ cm}$$

**Paso 5:** Encontrar el peso total.

$$PT = P_s + P_c$$

$$PT = 38\,766\text{ kg} + 523\,908\text{ kg}$$

$$PT = 562\,674\text{ kg}$$

**Respuesta**

$$PT = 562\,674\text{ kg}$$

## Ejercicio 22

Se está diseñando una columna con sección cuadrada para sostener un techo con una carga de 4 t.

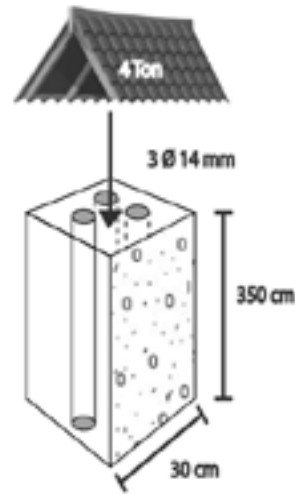
### Datos:

Tracción:

$$f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

Compresión:

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Calculamos áreas.

$$A_{Sec} = l^2$$

$$A_{Sec} = (30 \text{ cm})^2$$

$$A_{Sec} = 900 \text{ cm}^2$$

$$A_C = A_{sec} - A_S$$

$$A_C = 900 \text{ cm}^2 - 4.61 \text{ cm}^2$$

$$A_C = 895.39 \text{ cm}^2$$

$$A_S = \frac{\pi * (D)^2}{4} * (n.^\circ \text{ varrilla})$$

$$A_S = \frac{\pi * (1.4 \text{ cm})^2}{4} \quad (3)$$

$$A_S = 4.61 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Encontramos  $P_C$ .

$$\Delta s = \Delta c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{E_s} = \frac{P_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 895.39 \text{ cm}^2}$$

$$0.002 = \frac{P_c}{1\,880\,031\,900 \text{ kg}}$$

$$P_c = 0.002 * 1\,880\,031\,900 \text{ kg}$$

$$P_c = 376\,063.8 \text{ kg}$$

**Paso 3:** Encontramos  $P_s$  y  $\sigma_c$ .

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = \sigma_s * A_s$$

$$P_s = 4\,200 \frac{kg}{cm^2} * 4.61 \text{ cm}^2$$

$$P_s = 19\,362 \text{ kg}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma_c = \frac{376\,063.8 \text{ kg}}{895.39 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_c = 420 \text{ kg/cm}^2$$

**Paso 4:** Encontramos la deformación del acero y del hormigón.

$$\Delta s = \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s}$$

$$\Delta s = \frac{19\,362 \text{ kg} * 350 \text{ cm}}{2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2 * 4.61 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.7 \text{ cm}$$

$$\Delta c = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta c = \frac{376\,063.8 \text{ kg} * 350 \text{ cm}}{2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2 * 895.39 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta c = 0.7 \text{ cm}$$

**Paso 5:** Encontramos el peso total.

$$P_T = P_s + P_c$$

$$P_T = 19\,362 \text{ kg} + 376\,063.8 \text{ kg}$$

$$P_T = 395\,425.8 \text{ kg}$$

**Respuesta** La deformación axial es de 0.7 cm. El peso máximo es de 395.42 t; por lo tanto, sí soporta el techo.

### Ejercicio 23

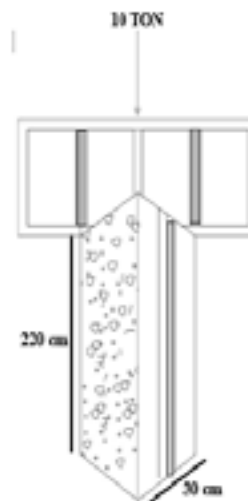
Se necesita calcular una columna triangular para soportar un rótulo con un peso de 10 t. Calcule la deformación de sus materiales y la máxima fuerza que puede soportar dicha columna.

**Datos:**

$$E_H = 2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_A = 2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = 4\,200 \text{ kg}$$



**Paso 1:** Calculamos las área de sección.

$$A_{sec} = \frac{L^2 * \sqrt{3}}{2}$$

$$A_{sec} = \frac{(30 \text{ cm})^2 * \sqrt{3}}{2}$$

$$A_{sec} = 779.42 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi (d)^2}{4}$$

$$A_s = \frac{\pi (1 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_s = 2.35 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{sec} - A_s$$

$$A_c = 779.42 \text{ cm}^2 - 2.35 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 777.07 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos según la Ley de Hooke.

$$\Delta_s = \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \Delta_c = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{4\ 200}{\left(2.1 * 10^6 \frac{kg}{cm^2}\right)} = \frac{P_c}{\left(2.1 * 10^5 \frac{kg}{cm^2}\right) (777.07 \text{ cm}^2)}$$

$$0.002 = \frac{P_c}{163\ 184\ 700 \text{ kg}}$$

$$P_c = 0.002 * 163\ 184\ 700$$

$$P_c = 326\ 369.4 \text{ kg}$$

**Paso 3:** Encontramos el esfuerzo de fluencia del concreto.

$$\sigma = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma = \frac{326\ 369.4 \text{ kg}}{777.07 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 420 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = A_s * \sigma$$

$$P_s = 2.35 * 4\ 200$$

$$P_s = 9\ 870 \text{ kg/cm}^2$$

Comprobación

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{9\,870 \frac{kg}{cm^2} \times 220\,cm}{\left(2.1 * 10^6 \frac{kg}{cm^2}\right) (2.35\,cm^2)} = \frac{3\,263\,694\,kg/cm^2 \times 220\,cm}{\left(2.1 * 10^5 \frac{kg}{cm^2}\right) (777.07\,cm^2)}$$

$$0.44\,cm = 0.44\,cm$$

Calculamos la fuerza total que puede soportar la columna.

$$P_{max} = P_c + P_s$$

$$P_{max} = 326\,369.4\,kg + 9\,870\,kg$$

$$P_{max} = 336\,239.4\,kg$$

**Respuesta**  $P_{max} = 336\,239.4\,kg$

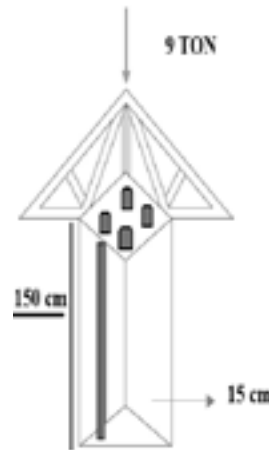
#### Ejercicio 24

Una columna de hormigón que tiene una  $f'c$  de  $180\,kg/cm^2$  debe soportar una carga de una cubierta de acero que tiene un peso de  $9\,t$ . ¿La columna lo logrará?

#### Datos:

$f'c$  de  $180\,kg/cm^2$

$4\,\emptyset\,10\,mm$



**Paso 1:** Calculamos el módulo de elasticidad.

$$E_H = 2.1 * 10^5\,kg/cm^2$$

$$E_A = 2.1 * 10^6\,kg/cm^2$$

$$\sigma_s = 4\,200\,kg$$

**Paso 2:** Calculamos el módulo de la columna y de los materiales que constituyen la columna.

$$A_{sec} = b \times h$$

$$A_{sec} = 15\,cm \times 15\,cm$$

$$A_{sec} = 225\,cm^2$$

$$A_s = \frac{\pi (d)^2}{4} \times 4$$

$$A_s = \frac{\pi (1\,cm)^2}{4} \times 4$$

$$A_s = 3.14\,cm^2$$

$$A_c = A_{sec} - A_s$$

$$A_c = 225\,cm^2 - 3.14\,cm^2$$

$$A_c = 221.86\,cm^2$$

**Paso 3:** Igualamos deformaciones para calcular la fuerza que absorbe el concreto.

$$\Delta_s = \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \Delta_c = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{4\,200\text{ kg}}{\left(2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)} = \frac{P_c}{\left(2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (221.86\text{ cm}^2)}$$

$$0.002 = \frac{P_c}{46\,590\,600\text{ kg}}$$

$$P_c = 0.002 \times 46\,590\,600\text{ kg}$$

$$P_c = 93\,181.2\text{ kg/cm}^2$$

**Paso 4:** Calculamos el esfuerzo de fluencia del concreto.

$$\sigma = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma = \frac{93\,181.2\text{ kg}}{221.86\text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 420 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = A_s \times \sigma_s$$

$$P_s = 3.14 \times 4\,200$$

$$P_s = 13\,188\text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{13\,188 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 150\text{ cm}}{\left(2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (3.14\text{ cm}^2)} = \frac{166\,681.2\text{ kg/cm}^2 \times 150\text{ cm}}{\left(2.1 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (221.86\text{ cm}^2)}$$

$$0.30\text{ cm} = 0.30\text{ cm}$$

$$P_{max} = P_c + P_s$$

$$P_{max} = 13\,188\text{ kg} + 93\,181.2\text{ kg}$$

$$P_{max} = 106\,369.2\text{ kg}$$

**Respuesta:** La columna sí soporta el peso de la cubierta.

### Ejercicio 25

Una columna de hormigón  $f_c$  210  $kg/cm^2$  va a soportar una carga de un monumento que tiene por nombre Rumiñahui y su peso es de 7 000 kg. ¿La columna soporta el peso del monumento?

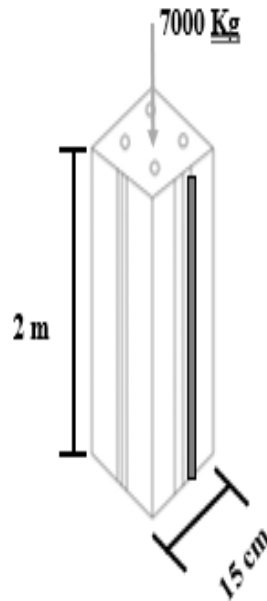
**Datos:**

$$E_H = 2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_A = 2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = 4\ 200 \text{ kg}$$

$$4 \ \varnothing \ 10 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Calculamos el módulo de la columna y de los materiales que la constituyen.

$$A_{sec} = b \times h$$

$$A_{sec} = 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$$

$$A_{sec} = 225 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi (d)^2}{4} \times 4$$

$$A_s = \frac{\pi (1 \text{ cm})^2}{4} \times 4$$

$$A_s = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{sec} - A_s$$

$$A_c = 225 \text{ cm}^2 - 3.14 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 221.86 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Igualamos deformaciones para calcular la fuerza que absorbe el concreto.

$$\Delta_s = \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \Delta_c = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{4\ 200 \text{ kg}}{\left(2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)} = \frac{P_c}{\left(2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (221.86 \text{ cm}^2)}$$

$$0.002 = \frac{P_c}{46\ 590\ 600 \text{ kg}}$$

$$P_c = 0.002 \times 46\ 590\ 600 \text{ kg}$$

$$P_c = 93\ 181.2 \text{ kg/cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos el esfuerzo de fluencia del concreto.

$$\sigma = \frac{P_c}{A_c}$$

$$\sigma = \frac{93\,181.2\text{ kg}}{221.86\text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 420 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma = \frac{P_s}{A_s}$$

$$P_s = A_s \times \sigma_s$$

$$P_s = 3.14 \times 4\,200$$

$$P_s = 13\,188\text{ kg/cm}^2$$

**Paso 4:** Comprobamos las deformaciones.

$$\Delta_s = \Delta_c$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c}$$

$$\frac{13\,188 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 200\text{ cm}}{\left(2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (3.14\text{ cm}^2)} = \frac{166\,681.2\text{ kg/cm}^2 \times 200\text{ cm}}{\left(2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (221.86\text{ cm}^2)}$$

$$0.40\text{ cm} = 0.40\text{ cm}$$

**Paso 5:** Calculamos la fuerza máxima que puede soportar la columna.

$$P_{max} = P_c + P_s$$

$$P_{max} = 13\,188\text{ kg} + 93\,181.2\text{ kg}$$

$$P_{max} = 106\,369.2\text{ kg}$$

**Respuesta** La columna sí soporta el peso del monumento que tiene por nombre Rumiñahui y que pesa 7 000 kg.

### Ejercicio 26

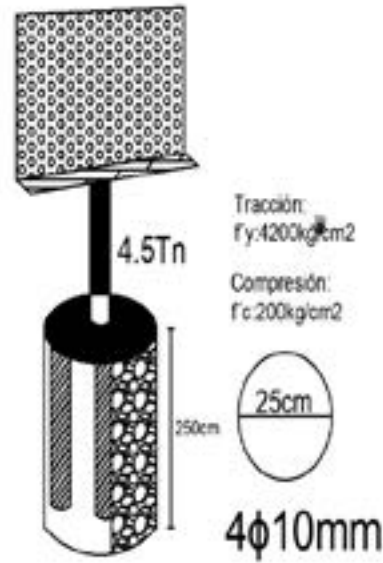
Se tiene una columna circular que va a soportar una pantalla LED con un peso de 4.5 t.

#### Datos:

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$



**Paso 1:** Calculamos áreas.

$$A_{sec} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_{sec} = \frac{\pi * (25 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_{sec} = 490.87 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4} * 4$$

$$A_s = \frac{\pi * (1 \text{ cm})^2}{4} * 4$$

$$A_s = 0.785 \text{ cm}^2 * 4$$

$$A_s = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$A_h = A_{sec} - A_s$$

$$A_h = (490.87 - 3.14) \text{ cm}^2$$

$$A_h = 487.73 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos fuerzas.

$$P_{max} = P_s + P_h$$

$$P_{max} = (13\,188 + 204\,846.6) \text{ kg}$$

$$P_{max} = 218\,034.6 \text{ kg}$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h * L_h}{E_s * A_s}$$

$$\frac{P_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h}{E_s * A_s} \quad \text{simplificamos las longitudes}$$

Reemplazamos  $\sigma$  en la fórmula

$$\frac{4\,200}{2.1 * 10^6} = \frac{P_h}{2.1 * 10^5 * 487.73 \text{ cm}^2}$$

$$2.1 * 10^{-3} = \frac{P_h}{2.1 * 10^5 * 487.73 \text{ cm}^2}$$

$$P_h = 2.1 * 10^{-3} (102\,423\,300)$$

$$P_h = 204\,846.6 \text{ kg}$$

Comprobación

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h * L_h}{E_s * A_s}$$

$$\frac{13\ 188\ kg * 250\ cm}{2.1 * 10^6 * 3.14\ cm^2} = \frac{204\ 846.6\ kg * 250\ cm}{2.1 * 10^5 * 487.73\ cm^2}$$

$$0.50 = 0.50$$

$$\Delta_s = \Delta_c$$

**Respuesta**  $P_h = 204\ 846.6\ kg$

### Ejercicio 27

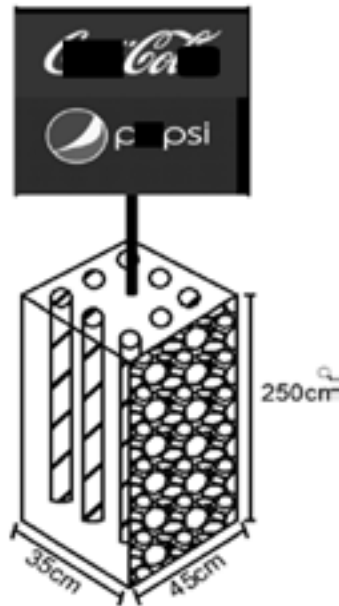
Se tiene una columna rectangular que va a soportar 2 pantallas LED con un peso de 6 t cada una. El hormigón que se utilizó es de  $f'c = 200\ kg/cm^2$ .

**Datos:**

$$f'c = 200\ kg/cm^2$$

$$f'y = 2\ 530\ kg/cm^2$$

$$\sigma = ?$$



**Paso 1:** Calculamos las áreas.

$$A_{sec} = b * h$$

$$A_{sec} = 35\ cm * 45\ cm$$

$$A_{sec} = 1\ 575\ cm^2$$

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4} * 8$$

$$A_s = \frac{\pi * (1.4\ cm)^2}{4} * 8$$

$$A_s = 1.53\ cm^2 * 8$$

$$A_s = 12.32\ cm^2$$

$$A_h = A_{sec} - A_s$$

$$A_h = (1\ 575 - 12.32)\ cm^2$$

$$A_h = 1\ 562.68\ cm^2$$

**Paso 2:** Calculamos las fuerzas.

$$P_{\max} = P_s + P_h$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$P = \sigma * A$$

$$P_s = 2\,530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 12.32 \text{ cm}^2$$

$$P_s = 31\,169.6 \text{ kg}$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h * L_h}{E_s * A_s}$$

$$\frac{P_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h}{E_s * A_s} \quad \text{simplificamos las longitudes}$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

**Paso 3:** Reemplazamos  $\sigma$  en la fórmula.

$$\frac{2\,530}{2.1 * 10^6} = \frac{P_h}{2.1 * 10^5 * 156\,268 \text{ cm}^2}$$

$$1.2 * 10^{-3} = \frac{P_h}{2.1 * 10^5 * 1\,562.68 \text{ cm}^2}$$

$$P_h = 1.2 * 10^{-3} (328\,162\,800)$$

$$P_h = 393\,795.36 \text{ kg}$$

$$P_{\max} = (31\,169.6 + 393\,795.36) \text{ kg}$$

$$P_{\max} = 424\,964.96 \text{ kg}$$

Comprobación

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h * L_h}{E_s * A_s}$$

$$\frac{31\,169.6 \text{ kg} * 350 \text{ cm}}{2.1 * 10^6 * 12.32 \text{ cm}^2} = \frac{393\,795.36 \text{ kg} * 350 \text{ cm}}{2.1 * 10^5 * 1\,562.68 \text{ cm}^2}$$

$$0.42 = 0.42$$

$$\Delta_s = \Delta_c$$

**Respuesta**

$$0.42 = 0.42$$

### Ejercicio 28

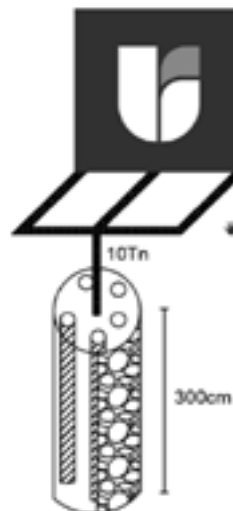
Se tiene una columna circular que soportará unas letras publicitarias en la ciudad de Ambato; tiene un peso de 10 t; el hormigón que se utiliza es de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

**Datos:**

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_y = 4\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = 30 \text{ cm}$$



**Paso 1:** Calculamos áreas.

$$A_{sec} = \frac{\pi * (30 \text{ cm})^2}{4} * 5$$

$$A_{sec} = 706.86 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4} * 5$$

$$A_s = \frac{\pi * (1.4 \text{ cm})^2}{4} * 5$$

$$A_s = 7.7 \text{ cm}^2$$

$$A_h = A_{sec} - A_s$$

$$A_h = (706.86 - 7.7) \text{ cm}^2$$

$$A_h = 699.16 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos fuerzas.

$$P_{max} = P_s + P_h$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$P = \sigma * A$$

$$P_s = \frac{4 \text{ 200 kg}}{\text{cm}^2} * 7.7 \text{ cm}^2$$

$$P_s = 30 \text{ 800 kg}$$

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h * L_h}{E_s * A_s}$$

$$\frac{P_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h}{E_s * A_s} \quad \text{simplificamos las longitudes}$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

**Paso 3:** Reemplazamos  $\sigma$  en la fórmula.

$$\frac{4 \text{ 000}}{2.1 * 10^6} = \frac{P_h}{2.1 * 10^5 * 699.16 \text{ cm}^2}$$

$$1.9 * 10^{-3} = \frac{P_h}{2.1 * 10^5 * 699.16 \text{ cm}^2}$$

$$P_h = 1.9 * 10^{-3} (146 \text{ 823 600})$$

$$P_h = 278 \text{ 964.84 kg}$$

$$P_{max} = (30 \text{ 800} + 278 \text{ 964.84}) \text{ kg}$$

$$P_{max} = 309 \text{ 764.84 kg}$$

Comprobación

$$\frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} = \frac{P_h * L_h}{E_s * A_s}$$

$$\frac{30800 \text{ kg} * 300 \text{ cm}}{2.1 * 10^6 * 7.7 \text{ cm}^2} = \frac{278 \text{ 964.84 kg} * 300 \text{ cm}}{2.1 * 10^5 * 699.16 \text{ cm}^2}$$

$$0.57 = 0.57$$

$$\Delta_s = \Delta_c$$

**Respuesta**  $P_{max} = 309 \text{ 764.84 kg}$

### Ejercicio 29

Se tiene una columna circular que va a soportar una pantalla de publicidad (2 t). El hormigón que se ha de colocar es de resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Calcule si soportará la pantalla de publicidad.

#### Datos:

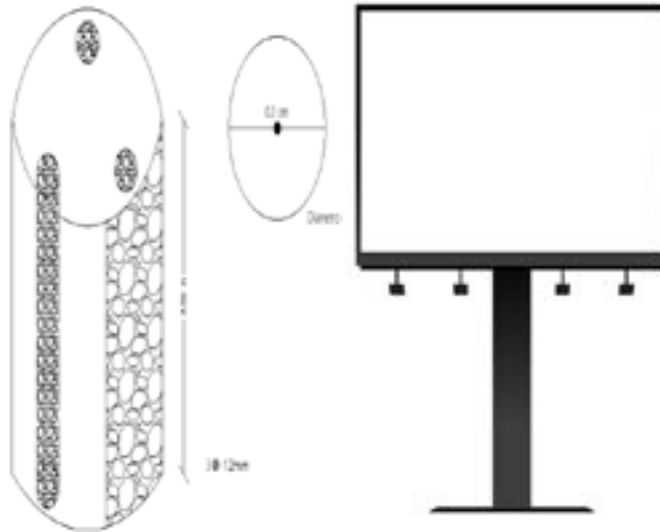
$$f'y = 1\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_S = 3.39 \text{ cm}^2$$

$$A_H = 310.76 \text{ cm}^2$$

$$LH = LS = 350 \text{ cm}$$



Módulo de elasticidad

$$E_H = 2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_A = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

**Paso 1:** Desarrollamos las conversiones.

$$3.50 \text{ m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 350 \text{ cm}$$

$$12 \text{ mm} * \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 1.2 \text{ cm}$$

**Paso 2:** Calculamos el área de sección.

$$A_{SC} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_{SC} = \frac{\pi * (20 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_{SC} = 314.15 \text{ cm}^2$$

$$A_S = \frac{\pi * d^2}{4} * 3 \text{ varrillas}$$

$$A_S = \frac{\pi * (1.2 \text{ cm})^2}{4} * 3 \text{ varrillas}$$

$$A_S = 3.39 \text{ cm}^2$$

$$A_H = A_{SC} - A_S$$

$$A_H = 314.15 \text{ cm}^2 - 3.39 \text{ cm}^2$$

$$A_H = 310.76 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Área total}$$

Resolución

$$\Delta s = \Delta C$$

$$\frac{P_S * L_S}{E_S * A_S} = \frac{P_H * L_H}{E_H * A_H}$$

$$\frac{1\ 200\ kg/cm^2}{2.1 \times 10^6\ kg/cm^2} = \frac{P_H}{2.1 \times 10^5\ kg/cm^2 * 310.76\ cm^2}$$

$$0.000571428 = \frac{P_H}{65\ 259\ 600\ kg}$$

$$P_H = 0.000571428 * 65\ 259\ 600\ kg$$

$$P_H = 37\ 291.16271\ kg \rightarrow \text{Peso del hormigón}$$

$$\sigma_s = \frac{P_S}{A_S}$$

$$P_S = 1\ 200\ kg/cm^2 * 3.39\ cm^2$$

$$P_S = 4\ 068\ kg \rightarrow \text{Peso del acero}$$

$$\sigma_H = \frac{P_H}{A_H}$$

$$\sigma_H = \frac{37\ 291.16271\ kg}{310.76\ cm^2}$$

$$\sigma_H = 119.99988\ kg/cm^2$$

$$\Delta s = \Delta C$$

$$\frac{P_S * L_S}{E_S * A_S} = \frac{P_H * L_H}{E_H * A_H}$$

**Datos:**

$$A_S = 3.39\ cm^2$$

$$A_H = 310.76\ cm^2$$

$$L_H = L_S = 350\ cm$$

$$\frac{4\ 068\ kg * 350\ cm}{2.1 \times 10^6\ kg/cm^2 * 3.39\ cm^2} = \frac{3\ 729.16271\ kg * 350\ cm}{2.1 \times 10^5\ kg/cm^2 * 310.76\ cm^2}$$

$$0.2\ cm = 0.2\ cm$$

$$P = P_H + P_S$$

$$P = 4\ 068\ kg + 37\ 291.16271\ kg$$

$$P = 7\ 797.1627\ kg$$

La columna sí soportará una carga máxima, sin exceder los esfuerzos admisibles del hormigón y acero.

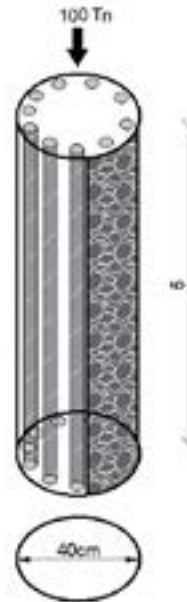
### Ejercicio 30

Calcular la deformación longitudinal de cada material de la siguiente columna con las siguientes características.

#### Datos:

$$EH = 2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$EA = 2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Desarrollamos las conversiones.

$$100 \text{ t} * \frac{100 \text{ kg}}{1 \text{ t}} = 100\,000 \text{ kg}$$

$$5 \text{ m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 500 \text{ cm}$$

$$14 \text{ mm} * \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 1.4 \text{ cm}$$

$$12 \text{ mm} * \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 1.2 \text{ cm}$$

**Paso 2:** Calculamos áreas.

$$AA1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * 8 = \frac{\pi \cdot (1.4 \text{ cm})^2}{4} * 8 = 12.31 \text{ cm}^2$$

$$AA2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * 2 = \frac{\pi \cdot (1.2 \text{ cm})^2}{4} * 2 = 2.62 \text{ cm}^2$$

$$AT = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (40 \text{ cm})^2}{4} = 1256.63 \text{ cm}^2$$

$$AH = AT - AA = 1256.63 - 14.93 = 1242.06 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Aplicamos la fórmula.

$$PT = PA + PH$$

$$100\,000\text{ kg} = PA + PH$$

$$PA = 100\,000 - PH$$

**Paso 4:** Igualamos.

$$\Delta A = \Delta H$$

$$\frac{PA * LA}{EA * AA} = \frac{PH * LH}{EH * AH}$$

$$\frac{100\,000\text{ kg} - PH}{2.1 * 10^6\text{ kg/cm}^2 * 14.57\text{ cm}^2} = \frac{PH}{2.1 * 10^5\text{ kg/cm}^2 * 1242.06\text{ cm}^2}$$

$$\frac{100\,000 - PH}{3\,059\,700} = \frac{PH}{260\,832\,600\text{ kg}}$$

$$\frac{100\,000 - PH}{1} = \frac{PH * 3\,059\,700}{260\,832\,600\text{ kg}}$$

$$100\,000 - PH = 0.117 PH$$

$$10\,000 = 0.117 PH + PH$$

$$100\,000 = 1.117 PH$$

$$89\,501.066\text{ kg} = PH$$

**Paso 5:** Reemplazamos en la fórmula.

$$PT = PA + PH$$

$$100\,000 = PA + 89\,501.066 PH$$

$$10\,498.93\text{ kg} = PA$$

**Paso 6:** Calculamos las deformaciones del acero y hormigón.

$$\Delta A = \frac{PA * LA}{EA * AA} \quad \Delta H = \frac{PH * LH}{EH * AH}$$

$$\Delta A = \frac{10\,498.93\text{ kg} * 500\text{ cm}}{2.1 * \frac{10^6\text{ kg}}{\text{cm}^2} * 14.57\text{ cm}^2} \quad \Delta H = \frac{89\,501.066\text{ kg} * 500\text{ cm}}{2.1 * 10^5\text{ kg/cm}^2 * 1242.06\text{ cm}^2}$$

$$\Delta A = 0.17\text{ cm} \quad \Delta H = 0.17$$

**Respuesta**  $\Delta A = 0.17 \text{ cm}$   $\Delta H = 0.17$

**Ejercicio 31**

Calcular la deformación longitudinal de cada material de la columna con las siguientes características.

**Datos:**

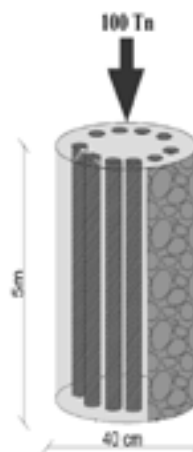
$P = 100 \text{ t}$

$d1 = 12 \text{ mm}$

$d2 = 14 \text{ mm}$

$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$E_h = 2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$



**Paso 1:** Realizamos las conversión de unidades.

$$L = 5 \text{ m} \left| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right|$$

$$L = 500 \text{ cm}$$

$$P = 100 \text{ t} \left| \frac{1 \text{ 000 kgf}}{1 \text{ t}} \right|$$

$$P = 100 \text{ 000 kgf}$$

**Paso 2:** Calculamos áreas.

Área de la sección transversal

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (40 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 1 \text{ 256.64 cm}^2$$

Área del acero 1

$$d1 = 1.2 \text{ cm}$$

$$As_1 = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$As_1 = \frac{\pi * (1.2 \text{ cm})^2}{4} * 2$$

$$As_1 = 2.26 \text{ cm}^2$$

Área del acero 2

$$d2 = 1.4 \text{ cm}$$

$$As_2 = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$As_1 = \frac{\pi * (1.4 \text{ cm})^2}{4} * 8$$

$$As_1 = 12.31 \text{ cm}^2$$

Área total del acero

$$Ats = 2.26 \text{ cm}^2 + 12.31 \text{ cm}^2$$

$$Ats = 14.57 \text{ cm}^2$$

Área del hormigón

$$\begin{aligned}A_c &= A_t - A_{ts} \\A_c &= 1\,256.64 \text{ cm}^2 - 14.57 \text{ cm}^2 \\A_c &= 1\,242.07 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

**Paso 3:** Calculamos el peso del acero.

$$\begin{aligned}P_T &= P_s + P_c \\1\,000 \text{ kg} &= P_s + P_c \\P_s &= 100\,000 \text{ kg} - P_c\end{aligned}$$

**Paso 4:** Calculamos el peso del hormigón.

$$\begin{aligned}\Delta_s &= \Delta_c \\ \frac{P_s * L_s}{E_s * A_s} &= \frac{P_c * L_c}{E_c * A_c} \\ \frac{100\,000 - P_c}{(2.1 * 10^6) * 14.57} &= \frac{P_c}{(2.1 * 10^5) * 1\,242.07} \\ \frac{100\,000 - P_c}{3\,059\,700} &= \frac{P_c}{260\,834\,700} \\ 100\,000 - P_c &= P_c \frac{3\,059\,700}{260\,834\,700}\end{aligned}$$

$$100\,000 = P_c 0.1173041777 + P_c$$

$$100\,000 = 1.1173041777 P_c$$

$$P_c = \frac{100\,000}{1.1173041777}$$

$$P_c = 89\,501.14 \text{ kgf}$$

**Paso 3:** Calculamos el peso del acero.

$$A_s = 100\,000 \text{ kg} - 89\,501.14$$

**Paso 4:** Calculamos deformaciones.

$$\begin{aligned}\Delta_s &= \frac{10\,498.86 \text{ kg} * 500 \text{ cm}}{\left(2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 14.57 \text{ cm}^2} \\ \Delta_s &= 0.17 \text{ cm} \\ \Delta_c &= \frac{89\,501.14 \text{ kg} * 500 \text{ cm}}{\left(2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 14\,242.07 \text{ cm}^2} \\ \Delta_c &= 0.17 \text{ cm}\end{aligned}$$

**Respuesta**

$$\Delta_s = 0.17 \text{ cm}$$

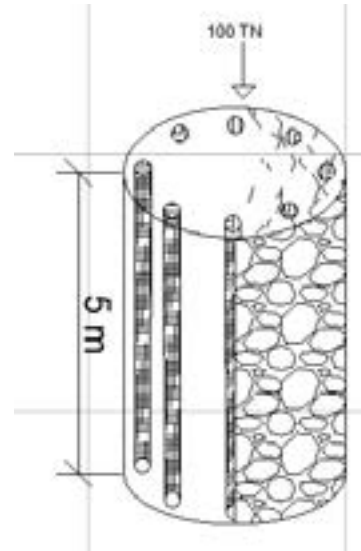
### Ejercicio 32

Calcular las deformaciones del hormigón y el acero e identificar si es un material homogéneo del siguiente elemento estructural.

**Datos:**

$$P = 100 \text{ t}$$

$$L = 5 \text{ m}$$



Módulo de elasticidad

$$E_H: 2.1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_A: 2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

**Paso 1:** Calculamos áreas.

$$A_T = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 1256.64 \text{ cm}^2$$

$$A_{A1} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1.4^2}{4} = 12.31 \text{ cm}^2$$

$$A_{A2} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1.2^2}{4} = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$A_{AT} = A_{A1} + A_{A2}$$

$$A_{AT} = 12.31 \text{ cm}^2 + 2.26 \text{ cm}^2$$

$$A_{AT} = 14.57 \text{ cm}^2$$

$$A_H = A_T + A_{AT}$$

$$A_H = 1256.64 \text{ cm}^2 + 14.57 \text{ cm}^2$$

$$A_H = 1271.21 \text{ cm}^2$$

**Paso 2:** Planteamos la fórmula e igualamos.

$$\Delta_A = \frac{P_A \cdot L_A}{E_A \cdot A_{AT}}$$

$$\Delta_H = \frac{P_H \cdot L_H}{E_H \cdot A_H}$$

$$\Delta_A = \Delta_H$$

**Paso 3:** Planteamos la ecuación de la fuerza total que soporta la columna.

$$P_T = P_A + P_H$$

$$100\,000 \text{ kgf} = P_A + P_H$$

$$100\,000 \text{ kgf} - P_A = P_H$$

**Paso 4:** Igualamos deformaciones.

$$\Delta_A = \Delta_H$$
$$\frac{P_A \cdot L_A}{E_A \cdot A_{AT}} = \frac{P_H \cdot L_H}{E_H \cdot A_H}$$

$$\frac{P_A}{(2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(14.57 \text{ cm}^2)} = \frac{100\,000 \text{ kgf} - P_A}{(2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(1\,242.07 \text{ cm}^2)}$$

$$\frac{P_A}{30\,597\,000} = \frac{100\,000 \text{ kgf} - P_A}{260\,834\,700}$$

$$\frac{260\,834\,700 P_A}{30\,597\,000} = 100\,000 \text{ kgf} - P_A$$

$$8.52 P_A = 100\,000 \text{ kgf} - P_A$$

$$8.52 P_A + P_A = 100\,000 \text{ kgf}$$

$$9.52 P_A = 100\,000 \text{ kgf}$$

$$P_A = \frac{100\,000 \text{ kgf}}{9.52}$$

$$P_A = 10\,498.85 \text{ kgf}$$

**Paso 5:** Encontramos la fuerza que soporta el concreto.

$$P_T = P_A + P_H$$

$$100\,000 \text{ kgf} = 10\,498.85 \text{ kgf} + P_H$$

$$89\,501.14 \text{ kgf} = P_H$$

**Paso 6:** Calculamos las deformaciones.

$$\Delta_A = \frac{P_A \cdot L_A}{E_A \cdot A_{AT}}$$

$$\Delta_A = \frac{10\,499.85 \text{ kg} \cdot 500 \text{ cm}}{(2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(14.57 \text{ cm}^2)}$$

$$\Delta_A = 0.17 \text{ cm}^2$$

$$\Delta_H = \frac{P_H \cdot L_H}{E_H \cdot A_H}$$

$$\Delta_h = \frac{89\,501.14 \text{ kgf} \cdot 500 \text{ cm}}{(2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(1\,242.07 \text{ cm}^2)}$$

$$\Delta_H = 0.17 \text{ cm}^2$$

**Respuesta**  $\Delta_H = 0.17 \text{ cm}^2$

### Ejercicio 33

Calcular la deformación longitudinal de cada material de la columna con las siguientes características.

**Datos:**

$$h = 5 \text{ m}$$

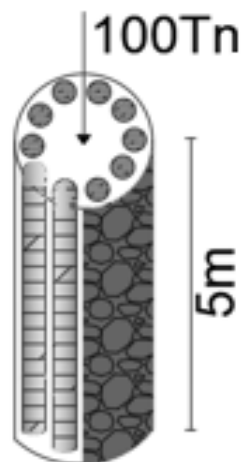
$$P = 10 \text{ t}$$

$$D1 = 14 \text{ mm}$$

$$D2 = 12 \text{ mm}$$

$$2 \text{ Mc } 12 \text{ mm}$$

$$8 \text{ Mc } 14 \text{ mm}$$



**Paso 1:** Transformamos.

$$100 \text{ t} \times \frac{1\,000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} = 100\,000 \text{ kg}$$

$$5 \text{ m} \times \frac{1\,000 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 500 \text{ cm}$$

$$14 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ cm}}{1 \text{ mm}} = 1.4 \text{ cm}$$

$$12 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ cm}}{1 \text{ mm}} = 1.2 \text{ cm}$$

**Paso 2:** Sacamos áreas.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_{a1} = \frac{\pi \cdot (1.4 \text{ cm})^2}{4} \cdot 8 = 12.31 \text{ cm}^2$$

$$A_{a2} = \frac{\pi \cdot (1.2 \text{ cm})^2}{4} \cdot 2 = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1} + A_{a2} = 14.47 \text{ cm}^2$$

$$A_t = \frac{\pi \cdot (40 \text{ cm})^2}{4} = 1\,256.63 \text{ cm}^2$$

$$A_h = A_t - A_a$$

$$A_h = 1\,256.63 + 14.57$$

$$A_h = 1\,242.06 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Aplicamos la fórmula de la fuerza total.

$$P_T = P_A + P_H$$

$$100\,000 \text{ kg} = P_A + P_H$$

$$P_A = 100\,000 - P_H$$

$$\Delta A = \Delta H$$

$$\Delta A = \frac{P_A \cdot L_A}{E_A \cdot A_A} \quad \Delta H = \frac{P_H \cdot L_H}{E_H \cdot A_H}$$

$$\frac{100\,000 - P_H}{2.1 \times 10^6 \cdot 14.57 \text{ cm}} = \frac{P_H}{2.1 \times 10^5 \cdot 1242.06 \text{ cm}}$$

$$\frac{100\,000 - P_H}{30\,597\,000} = \frac{P_H}{260\,832\,600 \text{ cm}}$$

$$100\,000 - P_H = \frac{260\,832\,600 \text{ cm}}{30\,597\,000} P_H$$

$$100\,000 - P_H = 0.117 P_H$$

$$100\,000 = 0.117 P_H + P_H$$

$$100\,000 = 1.17 P_H$$

$$89\,501.066 = P_H$$

**Paso 4:** Calculamos la fuerza soportada por el acero.

$$P_T = P_A + P_H$$

$$100\,000 \text{ kg} = P_A + 89\,501.066$$

$$P_A = 10\,498.93$$

**Paso 5:** Comprobamos.

$$\Delta A = \frac{P_A \cdot L_A}{E_A \cdot A_A} = \frac{10\,498 \cdot 500}{2.1 \times 10^6 \cdot 14.57}$$

$$\Delta A = 0.17 \text{ cm}^2$$

$$\Delta H = \frac{P_H \cdot L_H}{E_H \cdot A_H} = \frac{89\,501.066 \cdot 500}{2.1 \times 10^5 \cdot 1242.06}$$

$$\Delta H = 0.17 \text{ cm}^2$$

### Ejercicio 34

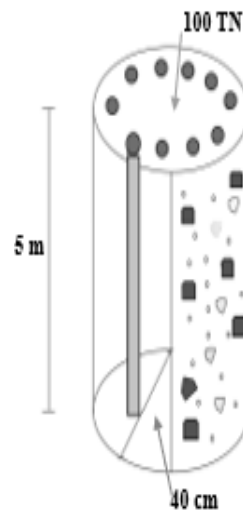
Calcular la deformación longitudinal de cada material de la columna con las siguientes características.

**Datos:**

$$P = 100 \text{ t}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

$$D = 40 \text{ cm}$$



**Paso 1:** Calculamos el módulo de elasticidad.

$$E_H = 2.1 * 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_A = 2.1 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

**Paso 2:** Calculamos las áreas.

$$A_T = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 40^2}{4} = 1256.64 \text{ cm}^2$$

$$A_{A1} = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) = \left( \frac{\pi * 1.4^2}{4} \right) * 8 = 12.31 \text{ cm}^2$$

$$A_{A2} = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) = \left( \frac{\pi * 1.4^2}{4} \right) * 2 = 2.26 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Realizamos la conversión.

$$\frac{14 \text{ mm}}{10 \text{ m}} \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ m}} = 1.4 \text{ cm}$$

$$\frac{12 \text{ mm}}{10 \text{ m}} \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ m}} = 1.4 \text{ cm}$$

$$\frac{5 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 500 \text{ cm}$$

$$\frac{100 \text{ t}}{1 \text{ t}} \frac{100 \text{ kgf}}{1 \text{ t}}$$

**Paso 4:** Aplicamos la fórmula.

$$\Delta_A = \frac{P_A * L_A}{E_A * A_{AT}} = \Delta_H = \frac{P_H * L_H}{E * A_H}$$

$$\Delta_A = \Delta_H$$

**Paso 5:** Despejamos una incógnita.

$$P_T = P_A + P_H$$

$$100\,000\text{ kgf} = P_A + P_H$$

$$100\,000\text{ kgf} - P_A = P_H$$

**Paso 6:** Reemplazamos la fórmula.

$$\Delta_A = \Delta_H$$

$$\Delta_A = \frac{P_A * L_A}{E_A * A_{AT}} = \Delta_H = \frac{P_H * L_H}{E * A_H}$$

$$\frac{P_A}{\left(2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (14.57\text{ cm}^2)} = \frac{100\,000\text{ kgf} * P_A}{\left(2.1 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (1\,242.07\text{ cm}^2)}$$

$$\frac{260\,834\,700 P_A}{30\,597\,000} = 100\,000\text{ kgf} - P_A$$

$$8.52 P_A = 100\,000\text{ kgf} - P_A$$

$$8.52 P_A + 1 P_A = 100\,000\text{ kgf}$$

$$9.52 P_A = 100\,000\text{ kgf}$$

$$P_A = \frac{10\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{9.52}$$

$$P_A = 10\,498.85\text{ kgf}$$

$$P_T = P_A + P_H$$

$$100\,000\text{ kgf} = 10\,498.85 + P_H$$

$$89\,501.14\text{ kgf} = P_H$$

**Paso 7:** Calculamos la deformación del hormigón y acero.

$$\Delta_A = \frac{P_A * L_A}{E_A * A_{AT}}$$

$$\Delta_A = \frac{10\,498.85\text{ kg} * 500\text{ cm}}{1.2 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 14.57\text{ cm}^2}$$

$$\Delta_A = 0.17\text{ cm}^2$$

$$\Delta_H = \frac{P_H * L_H}{E * A_H}$$

$$\Delta_A = \frac{89\,501.14\text{ kgf} * 500\text{ cm}}{1.2 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1\,242.07\text{ cm}^2}$$

$$\Delta_A = 0.17\text{ cm}^2$$

**Respuesta**  $\Delta_A = 0.17\text{ cm}^2$

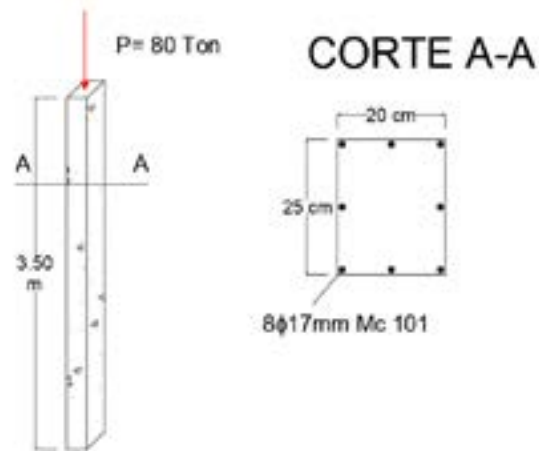
### Ejercicio 35

Resuelve el siguiente ejercicio de aplicación de deformación longitudinal.

**Datos:**

$$P = 80 \text{ t}$$

8 phi 17 mm Mc 101



**Paso 1:** Calcular el módulo de elasticidad del acero y hormigón.

$$E_c = 2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$E_s = 2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**Paso 2:** Convertimos unidades de áreas y fuerzas.

$$A_t = 20 \text{ cm} \cdot 25 \text{ cm}$$

$$A_t = 500 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot (1.7 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_s = 18.16 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_t - A_s$$

$$A_c = 500 \text{ cm}^2 - 18.16 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 481.84 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos la longitud del acero y del hormigón.

$$L = 3.5 \text{ m} \cdot \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 350 \text{ cm}$$

Fuerza que absorbe la columna

$$P_t = 80 \text{ t} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} = 80000 \text{ kg}$$

**Paso 4:** Igualamos la fórmula de la deformación longitudinal ( $\Delta$ ) del acero y hormigón.

$$\Delta_s = \Delta_c$$
$$\frac{P_s \cdot L_s}{E_s \cdot A_s} = \frac{P_c \cdot L_c}{E_c \cdot A_c}$$

**Paso 5:** Realizamos la sumatoria de peso total.

$$P_t = P_s - P_c$$

$$P_s = 80000 \text{ kg} - P_c$$

**Paso 6:** Despejamos la fuerza que soporta el hormigón ( $P_c$ ).

$$\frac{P_s \cdot L_s}{E_s \cdot A_s} = \frac{P_c \cdot L_c}{E_c \cdot A_c}$$

Como la longitud del acero y del hormigón son iguales, entonces se anulan.

$$\frac{P_s}{E_s \cdot A_s} = \frac{P_c}{E_c \cdot A_c}$$

$$\frac{80\,000\text{ kg} - P_c}{2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 18.16\text{ cm}^2} = \frac{P_c}{2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 481.84\text{ cm}^2}$$

$$\frac{80\,000\text{ kg} - P_c}{3.8136 \cdot 10^7\text{ kg}} = \frac{P_c}{1.011864 \cdot 10^8\text{ kg}}$$

$$80\,000\text{ kg} - P_c = 0.3768 \cdot P_c$$

$$P_c = 58\,105.75\text{ kg}$$

**Paso 7:** De la sumatoria del peso total, sustituimos la fuerza que le corresponde al hormigón ( $P_c$ ) y obtenemos la fuerza que le corresponde al acero ( $P_s$ ).

$$P_s = 80\,000\text{ kg} - P_c$$

$$P_s = 80\,000\text{ kg} - 58\,105.75\text{ kg}$$

$$P_s = 21\,894.25\text{ kg}$$

**Paso 8:** Obtenemos la deformación del acero y hormigón con su fórmula ( $\Delta$ ).

$$\Delta_s = \frac{P_s \cdot L_s}{E_s \cdot A_s}$$

$$\delta_s = \frac{21\,894.25\text{ kg} \cdot 350\text{ cm}}{2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 18.16\text{ cm}^2}$$

$$\Delta_s = 0.2\text{ cm}$$

$$\Delta_c = \frac{P_c \cdot L_c}{E_c \cdot A_c}$$

$$\Delta_c = \frac{58\,105.75\text{ kg} \cdot 350\text{ cm}}{2.1 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 481.84\text{ cm}^2}$$

$$\Delta_c = 0.2\text{ cm}$$

**Respuesta**  $\Delta_c = 0.2\text{ cm}$

### Ejercicio 36

Para la armadura de acero y las cargas mostradas, determine los esfuerzo y deformaciones de las barras AB y AD.

**Datos:**

$$A_{AB} = 2\text{ cm}^2$$

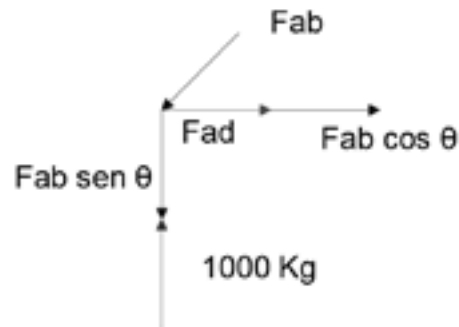
$$A_{AD} = 5\text{ cm}^2$$



**Paso 1:** Realizamos la sumatoria de momentos.

$$\begin{aligned}\Sigma M_C &= 0 \\ (-R_{ay} * 8 m) + (2\ 000\ kg * 4 m) &= 0 \\ R_{ay} &= 1\ 000\ kg\end{aligned}$$

**Paso 2:** Ocupamos método de nodos para definir cargas de  $F_{ab}$  y  $F_{ad}$ .



$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2.5}{4}\right) = 32$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{ad} - F_{ab} * \cos\theta = 0$$

$$F_{ad} = F_{ab} * \cos\theta$$

$$F_{ad} = 1\ 887\ kg * \cos 32$$

$$F_{ad} = 1\ 600\ kg\ a\ Tracción$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$1\ 000\ kg - F_{ab} \sin\theta = 0$$

$$F_{ab} = -1\ 887\ kg\ a\ Compresión$$

**Paso 3:** Calculamos la longitud de AB.

$$L_{AB} = \sqrt{4^2 + 2.5^2}$$

$$L_{AB} = 471\ cm$$

**Paso 4:** Calculamos el esfuerzo y la deformación de la barra AB.

$$\sigma_{AB} = \frac{1\ 887\ kg}{2\ cm^2}$$

$$\sigma_{AB} = 943.5\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$\Delta_{AB} = \frac{1\ 887\ kg \cdot 471\ cm}{2.1 * 10^6\ \frac{kg}{cm^2} \cdot 2\ cm^2}$$

$$\delta_{AB} = 0.21\ cm$$

**Paso 5:** Calculamos el esfuerzo y la deformación de la barra AD.

$$\sigma_{AD} = \frac{1\ 600\ kg}{5\ cm^2}$$

$$\sigma_{AD} = 320\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$\Delta_{AD} = \frac{1\ 600\ kg \cdot 400\ cm}{2.1 * 10^6\ \frac{kg}{cm^2} \cdot 5\ cm^2}$$

$$\Delta_{AD} = 0.06\ cm$$

**Respuesta**  $\Delta_{AD} = 0.06\ cm$

### Ejercicio 37

Calcular la deformación de la barra A y B y el movimiento del punto de aplicación de la carga denominada P.

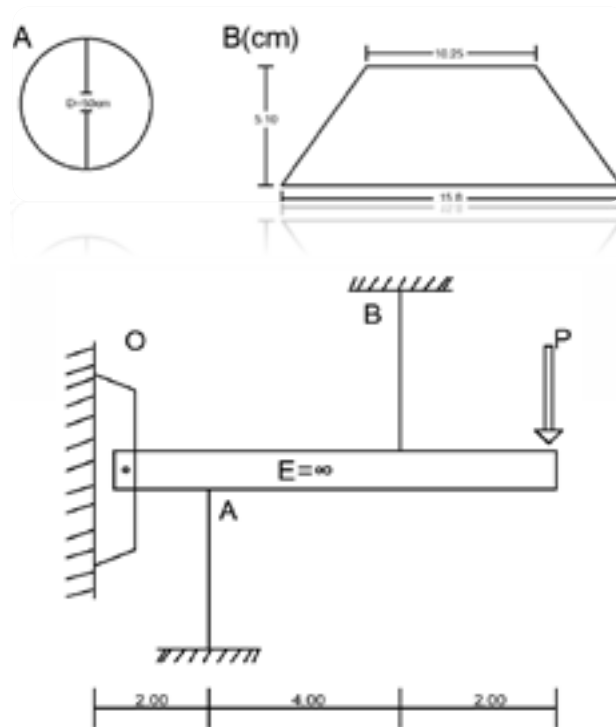
#### Datos:

$$P = 33\,000 \text{ lb}$$

$$L_A = 78.74 \text{ in}$$

$$L_B = 11.5 \text{ ft}$$

$$E_A = E_B = \text{Aluminio}$$



**Paso 1:** Realizamos la conversión de unidades.

$$L_A = 78.74 \text{ in} \quad \begin{matrix} 2.54 \text{ cm} \\ 1 \text{ in} \end{matrix} = 200 \text{ cm}$$

$$L_B = 11.5 \text{ ft} \quad \begin{matrix} 12 \text{ in} \\ 1 \text{ ft} \end{matrix} \quad \begin{matrix} 2.5 \text{ cm} \\ 1 \text{ in} \end{matrix} = 350.52 \text{ cm}$$

$$P = 33\,000 \text{ lb} \quad \begin{matrix} 1 \text{ kg} \\ 2.2 \text{ lb} \end{matrix} = 1\,500 \text{ kg}$$

**Paso 2:** Calculamos el área.

Barra A

$$A_A = \frac{\pi(d)^2}{4}$$

$$A_A = \frac{\pi(50 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_A = 1963.5 \text{ cm}^2$$

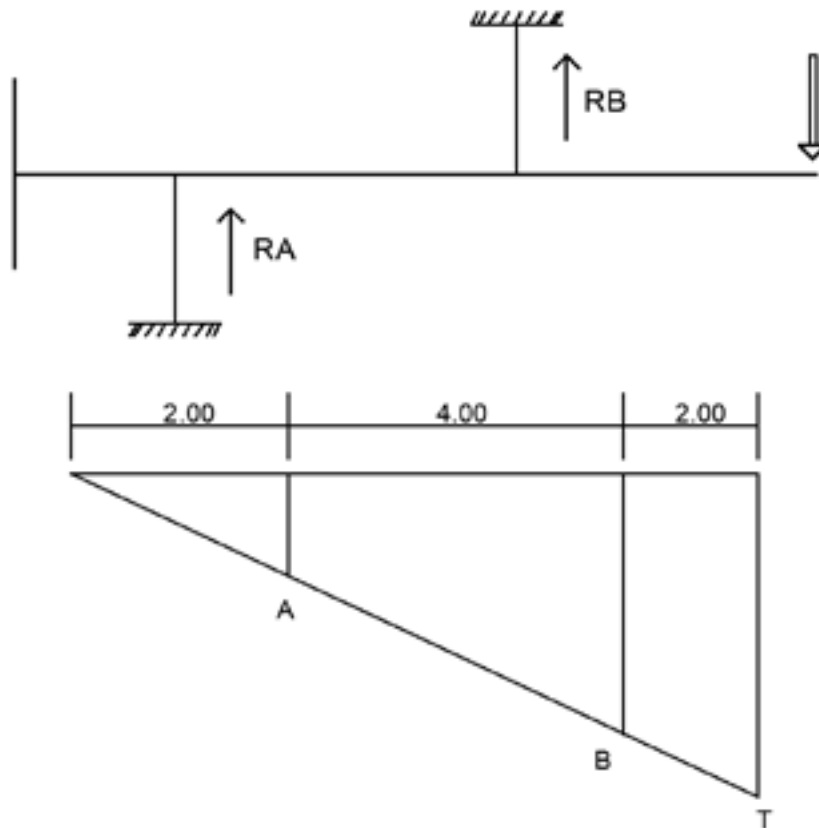
Barra B

$$A_B = \frac{B + b}{2} * h$$

$$A_B = \frac{18.8 + 10.25}{2} * 5.10$$

$$A_B = 66.43 \text{ cm}^2$$

**Paso 3:** Calculamos la deformación.



$$\frac{\Delta A}{2} = \frac{\Delta B}{6} = \frac{\Delta T}{8}$$

$$\frac{\Delta A}{2} = \frac{\Delta B}{6}$$

$$\Delta A = \frac{1}{3} \Delta B$$

**Paso 4:** Calculamos los momentos.

$$\sum M_{o+} = 0$$

$$R_A(2) + R_B(6) - 15\,000(8) = 0$$

$$2R_A + 6R_B = 120\,000 \text{ (Eci)}$$

**Paso 5:** Calculamos \$P\_A\$.

$$\Delta A = \Delta B$$

$$\frac{P_A L_A}{E_A A_A} = \frac{P_B L_B}{E_B A_B}$$

$$3 \left( \frac{R_A * 200 \text{ cm}}{7 * 10^5 * 1\,963.5 \text{ cm}} \right) = \frac{1}{3} \left( \frac{P_B * 350.52}{7 * 10^5 * 66.43} \right)$$

$$\frac{R_A * 200 \text{ cm}}{7 * 10^5 * 654.5} = \frac{P_B * 350.52}{7 * 10^5 * 66.43}$$

$$R_A * 200 \text{ cm} = \frac{P_B * 350.52}{7 * 10^5 * 66.43} * 7 * 10^5 * 654.5$$

$$R_A * 200 \text{ cm} = P_B * 3445.73$$

$$R_A = P_B \frac{3445.73}{200}$$

$$R_A = 17.22 R_B$$

**Paso 6:** Sustituimos en Eci.

$$2(17.22 P_B) + 6 P_B = 120\,000$$

$$40.44 R_B = 120\,000$$

$$P_B = 2\,967.36 \text{ kg}$$

$$R_A = 51\,097.94 \text{ kg}$$

**Paso 7:** Calculamos la deformación.

$$\Delta A = \frac{51\,097.94 \cdot 200 \text{ cm}}{7 \cdot 10^5 \cdot 1\,963.5}$$

$$\Delta A = 0.0074 \text{ cm}$$

$$\Delta B = \frac{2\,967.36 \cdot 354.52}{7 \cdot 10^5 \cdot 66.43}$$

$$\Delta A = \frac{1}{3} \Delta B$$

**Respuesta**  $\Delta A = \frac{1}{3} \Delta B$

### Ejercicio 38

Una barra horizontal rígida articulada en (o) cuelga de una barra de acero de 3 m de longitud y otra de acero de 1 m de longitud, con una sección transversal para la barra (A) igual a  $10 \text{ cm}^2$ ; y para la barra B igual a  $15 \text{ cm}^2$ . Determinar las reacciones y deformaciones de las barras.

**Datos:**

Barra A

$$L_A = 100 \text{ cm}$$

$$A_A = 10 \text{ cm}^2$$

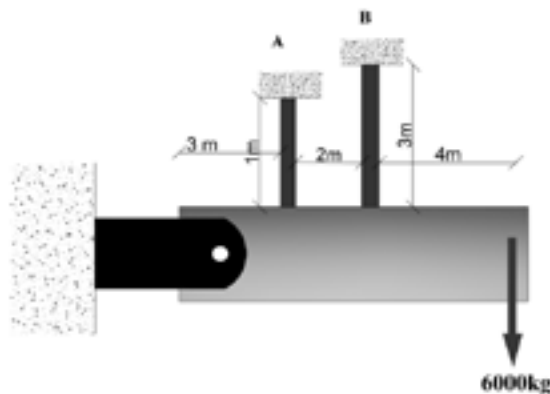
$$E_A = 2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Barra B

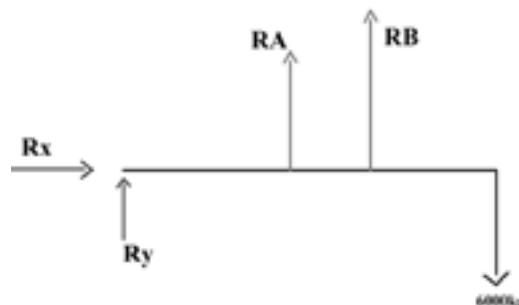
$$L_B = 300 \text{ cm}$$

$$A_B = 15 \text{ cm}^2$$

$$E_B = 2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$



**Paso 1:** Generamos un diagrama de cuerpo libre (DLC).



**Paso 2:** Resolvemos las ecuaciones de equilibrio.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_y + R_A + R_B - 6\,000 \text{ kg} = 0$$

$$R_y + R_A + R_B = 6\,000 \text{ kg}$$

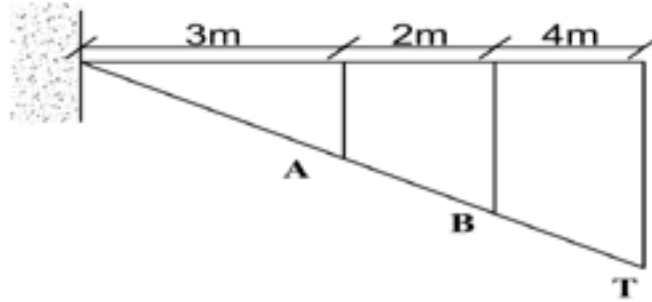
$$\sum M = 0$$

$$3R_A + 5R_B - 6\,000(9) = 0$$

$$3R_A + 5R_B - 54\,000 = 0$$

$$3R_A + 5R_B = 54\,000 \text{ kg}$$

**Paso 3:** Generamos un diagrama de deformación.



$$\frac{\Delta A}{3} = \frac{\Delta B}{5} = \frac{\Delta T}{9}$$

**Paso 4:** Igualamos deformaciones.

$$\frac{\Delta A}{3} = \frac{\Delta B}{5}$$

$$\Delta A = \frac{3}{5} \Delta B$$

$$\frac{P_A * L_A}{E_A * A_A} = \frac{3}{5} \left( \frac{P_B * L_B}{E_B * A_B} \right)$$

$$\frac{R_A * 100 \text{ cm}}{2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 10 \text{ cm}^2} = \frac{3}{5} \left( \frac{R_B * 3\,000 \text{ cm}}{2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 15 \text{ cm}^2} \right)$$

$$R_A = R_B \frac{(300 \text{ cm})(300 \text{ cm}) \left( 2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) (10 \text{ cm}^2)}{(300 \text{ cm}) \left( 2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) (15 \text{ cm}^2) (100 \text{ cm})}$$

$$R_A = \frac{900\,000}{750\,000} R_B$$

$$R_A = 1.2 R_B$$

**Paso 5:** Sustituimos en ecuación.

$$3 R_A + 5 R_B = 54\,000 \text{ kg}$$

$$3 R_A + 5 R_B = 5\,400 \text{ kg}$$

$$3(1.2 R_B) + 5 R_B = 5\,400$$

$$8.6 R_B = 5\,400$$

$$R_B = \frac{5\,400}{8.6 \text{ m}}$$

$$R_B = 627.91 \text{ kg}$$

**Paso 6:** Calculamos  $R_A$ .

$$R_A = 1.2 (627.91 \text{ kg})$$

$$R_A = 753.49 \text{ kg}$$

**Paso 7:** Calculamos deformaciones.

Deformación de la barra A

$$\Delta A = \frac{753.492 \text{ kg} * 100 \text{ cm}}{\left(2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 10 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.0035 \text{ cm}$$

Deformación de la barra B

$$\Delta B = \frac{627.91 \text{ kg} * 300 \text{ cm}}{\left(2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * 15 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta s = 0.0035 \text{ cm}$$

**Respuesta**  $\Delta s = 0.0035 \text{ cm}$

### Ejercicios por resolver

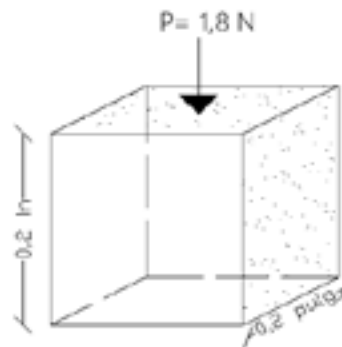
#### Ejercicio 1

Calcular el esfuerzo aplicado sobre la siguiente probeta de hormigón.

**Datos:**

$$A_{\square} = 3.0968 \text{ cm}^2$$

$$P = 1.80 \text{ N}$$



**Respuesta**  $\sigma = 0.059287 \text{ kgf/cm}^2$

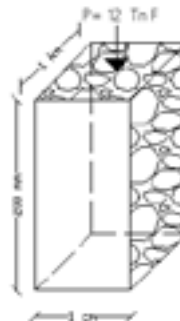
#### Ejercicio 2

Calcular el esfuerzo aplicado sobre la siguiente probeta de hormigón.

**Datos:**

$$A_p = 4\,200\,000 \text{ cm}^2$$

$$P = 112 \text{ tf}$$



**Respuesta:**  $\sigma = 0.0002857 \text{ kgf/cm}^2$

### Ejercicio 3

Un cilindro de acero tiene una sección transversal circular con un diámetro de 40 mm y P de 3 kg. Calcular el esfuerzo normal.

**Datos:**

$$P = 3 \text{ kg}$$

$$D = 40 \text{ mm}$$



**Respuesta:**  $\sigma = 0.23 \text{ cm}^2$

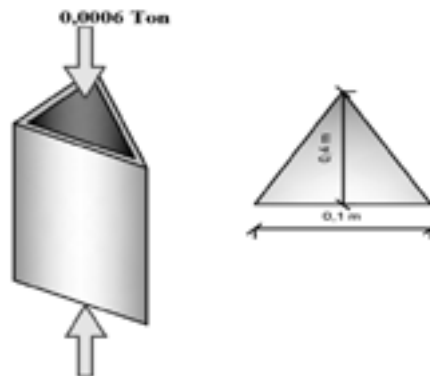
### Ejercicio 4

Un perfil triangular está sometido a una fuerza de compresión de 0.0006 t, que tiene las dimensiones de 0.1 m de base y una altura de 0.4 m. calcular el esfuerzo a compresión en unidades del Sistema Inglés.

**Datos:**

$$b = 0.1 \text{ m} \quad h = 0.4 \text{ m}$$

$$P = 0.0006 \text{ t}$$



**Respuesta:**  $\sigma = 0.042 \text{ Psi}$

### Ejercicio 5

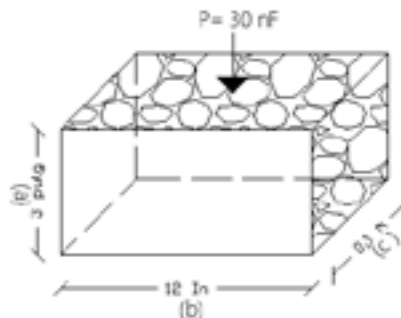
Calcular el esfuerzo aplicado sobre la siguiente probeta de hormigón.

**Datos:**

$$A_{\square} =$$

$$13\,041.7824 \text{ cm}^2$$

$$P = 30 \text{ nF}$$



**Respuesta:**  $\sigma = 0.000006520 \text{ kgf/cm}^2$

### Ejercicio 6

Sobre una columna circular se asienta un carro de 5 toneladas. Calcular si la columna lo soportará y sus deformaciones.

**Datos:**

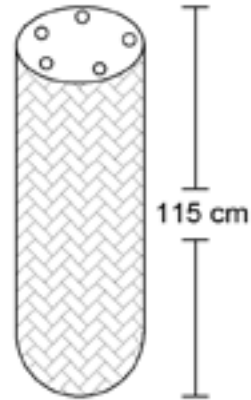
$$5\varnothing 10 \text{ mm}$$

$$D = 19 \text{ cm}$$

$$P = 5.8 \text{ t}$$

$$f'y = 1\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$$



**Respuesta** = 0.05 cm

### Ejercicio 7

Calcular si la presión total máxima supera las 10 t.

**Datos:**

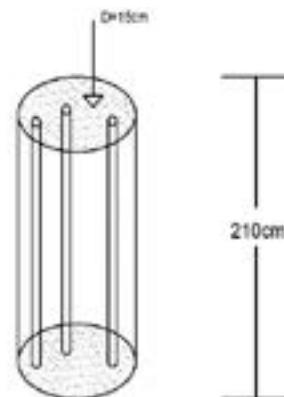
$$2\varnothing 10 \text{ mm}$$

$$P_s = 1\,000 * 4.62$$

$$P_s = 1\,620 \text{ kg}$$

$$f'y = 1\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$$



**Respuesta** = 0.46cm

### Ejercicio 8

Calcular si la siguiente columna circular se deforma más de 0.15 cm con su máxima presión.

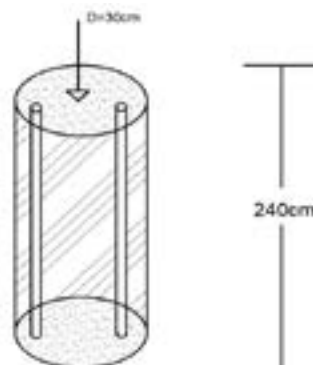
**Datos:**

$$f'y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_s = 4\,200 * 4.02$$

$$P_s = 16\,884 \text{ kg}$$



**Respuesta** = 0.48 cm

### Ejercicio 9

Se tiene una base de hormigón armado que soportará una torre de telecomunicaciones de 50 metros.

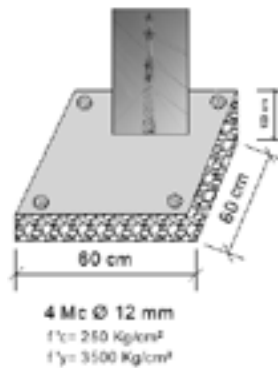
El peso de la torre es 12 t y la resistencia del hormigón es  $250 \text{ kg/cm}^2$ .

#### Datos:

4 Mc 12 mm

$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 3\,500 \text{ kg/cm}^2$



**Respuesta = 0.17 cm**

### Ejercicio 10

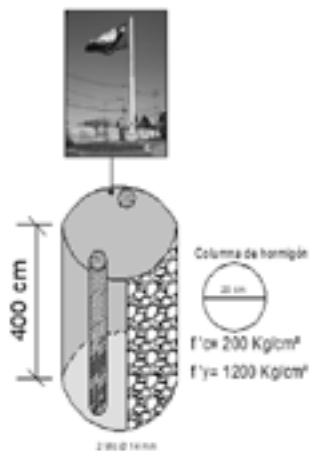
Un mástil de bandera de 20 metros será instalado en un parque. Su base estará soportada por una columna circular de hormigón; el peso del mástil 1.5 t y el hormigón para esta columna es de  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

#### Datos:

2 Mc 14 mm

$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 1\,200 \text{ kg/cm}^2$



**Respuesta = 0.228 cm**

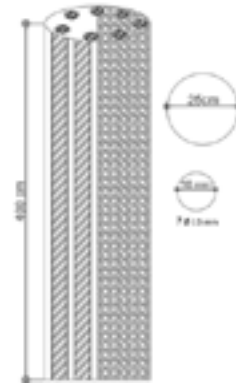
### Ejercicio 11

Se colgará una pancarta para una publicidad en la cima de la columna, por lo cual debe ser resistente. Calcular la deformación.

**Datos:**

$$f'y = 4\,200\text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210\text{ kg/cm}^2$$



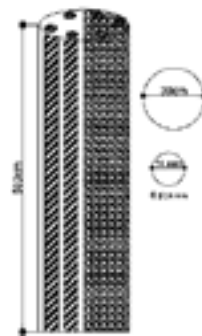
### Ejercicio 12

Se construye una columna circular para alcanzar una publicidad que tiene un peso de 2.5 t. ¿Soportará la columna?

**Datos:**

$$f'y = 1\,200\text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210\text{ kg/cm}^2$$



**Respuesta** = 0.28

### Ejercicio 13

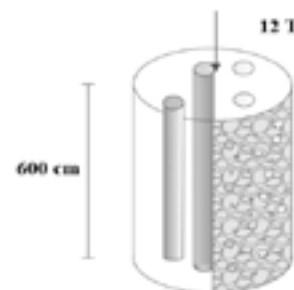
Una columna circular tiene un  $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$ . Vamos a comprobar si puede soportar el peso de una pancarta de publicidad su peso es de 12 t.

**Datos:**

$$4\phi 12\text{ m}$$

$$f'c = 210\text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 210\text{ kg/cm}^2$$



**Respuesta** = 1.2 cm

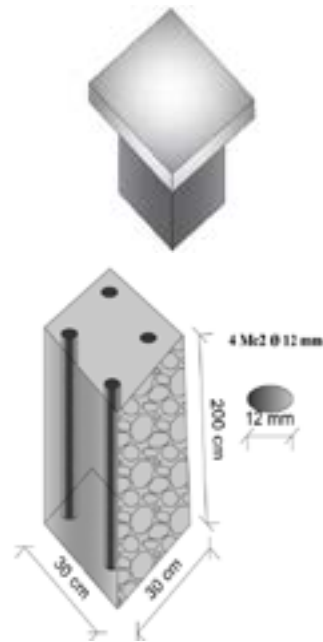
### Ejercicio 14

¿Cuál es la máxima carga de una columna diseñada para soportar una pequeña loseta? Sabiendo que debe estar en los esfuerzos admisibles, determinar la deformación del material.

**Datos:**

$$f'_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$



**Respuesta** = 0.4 cm

### Ejercicio 15

Se tiene una columna que apoya una señalización de tránsito de 4  $T_n$ . El hormigón que se usa es de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . ¿Soportará la carga axial?

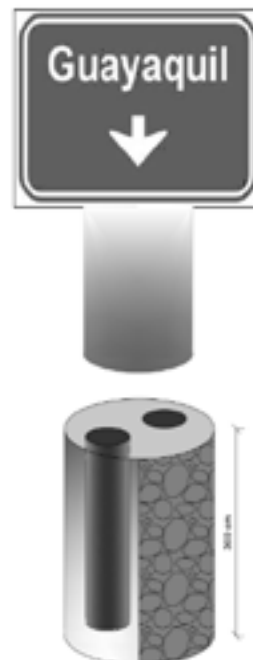
**Datos:**

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = 30 \text{ cm}$$

$$2 \text{ Mc } 12 \text{ mm}$$



**Respuesta** = 0.6 cm

## Referencias bibliográficas

- Adelca. (2025). Inicio. *Adelca*. <https://www.adelca.com/>
- Alibeigibeni, A., Stochino, F., Zucca, M., & Gayarre, F. L. (2025). Enhancing Concrete Sustainability: A Critical Review of the Performance of Recycled Concrete Aggregates (RCAs). *Structural Concrete. Buildings*, 15(8), 1361. <https://doi.org/10.3390/buildings15081361>
- Bachtiar, E., Martínez-Ramírez, S., & Nonat, A. (2023). Carbonation and sulfate attack mechanisms in cement-based materials: Coupled reactions and durability implications. *Cement and Concrete Research*, 170, 107237. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107237>
- Bayu Tefera, B., & Gebre Tarekegn, A. (2025). Non-destructive testing techniques for condition assessment of concrete structures: A review. *American Journal of Civil Engineering*, 13(1), 10-31. <https://doi.org/10.11648/j.ajce.20251301.12>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Ciencia e ingeniería de los materiales (10.ª ed.)*. Wiley. <https://www.oswaldoweb.com/wp-content/uploads/2016/04/ciencia-e-ingenieria-de-materiales-sexta-edicion3b3n.pdf>
- Habib, A., Al Hour, A., Al-Toubat, S., & Junaid, M. T. (2024). Conventional and non-conventional experimental techniques for evaluating the properties of construction materials. *Discover Civil Engineering*, 1, 142. <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00148-x>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2024). Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo – ENEMDU 2023 (Manual del encuestador). *INEC*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2023/Noviembre/202311\\_Manual\\_del\\_encuestador\\_ENEMDU\\_Noviembre\\_2023.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2023/Noviembre/202311_Manual_del_encuestador_ENEMDU_Noviembre_2023.pdf)
- International (2019). ASTM C1202-19: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. *International*. <https://www.astm.org/c1202-19.html>
- Jordán-Buenaño, N., Tipán Renjifo, D. M., Gualpa Naranjo, L. V., & Espinosa Pinos, C. A. (2023). Aplicación de la geometría como sustento al diseño arquitectónico en estudiantes de segundo nivel. *AlfaPublicaciones*, 5(2), 54-77. <https://doi.org/10.33262/ap.v5i2.205>
- Kareem, A., & Sahoo, D. K. (2024). Review on the Importance of Coarse Recycled Concrete Aggregates as Alternative Construction Materials. *Advanced Materials In Civil Engineering* (pp. 51-64).
- Ling, S., Du, C., Yao, Y., & Li, Y. (2024). Analysis and prediction of compressive and split-tensile strength of secondary steel-fiber-reinforced concrete based on an RBF fuzzy neural-network model. *PLOS ONE*, 19(2), e0299149. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299149>

- Machado Salazar, L. A., Correa Vallejo, M. B., Pineda Obando, S. M. P., Villafuerte Logroño, S. A., & Hernández Rodríguez, L. T. (2023). Influencia en el Diseño Estructural del Acero de Refuerzo Grado 80 y Hormigón de Alta Resistencia (55MPa) Frente al Acero de Refuerzo Convencional Grado 60 y Hormigón f'c 28MPa en un Edificio de Hormigón Armado de 18 pisos. *INGENIO*, 6(1), 93-106. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v6i1.4229>
- MIDUVI (2025). NEC-SE-AC: Estructuras de acero – guía básica para diseño. *Slideshare*. <https://es.slideshare.net/slideshow/nec-se-ac-estructuras-de-acero-guia-basica-para-diseno/276902361>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2015). Guía práctica para el diseño de estructuras de acero conforme a NEC-2015. *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. <https://id.scribd.com/document/612933369/Norma-Ecuatoriana-de-la-Construccion-NEC>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2017). NEC-SE-HM: Estructuras de hormigón armado. *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2022). Entidad rectora del Sistema Nacional del Transporte Multimodal. *Ministerio de Transporte y Obras Públicas*. <https://www.obraspublicas.gob.ec/>
- Ministerio del Trabajo del Ecuador. (2024). *Boletín Estadístico Anual del Mercado Laboral 2024*. Ministerio del Trabajo del Ecuador. <https://www.trabajo.gob.ec/>
- Muñoz Perez, S. P., Calderón Coronel, Á. A., Caruajulca Gonzáles, A. J. C., & Huaman Ticlla, O. R. (2021). Propiedades físicas y mecánicas del concreto fabricado con agregado reciclado: Una revisión literaria. *Respuestas*, 26(1). <https://doi.org/10.22463/0122820x.3081>
- Murugan, S. S. (2020). Mechanical Properties of Materials: Definition, Testing and Application. *International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering*, 6(2), 28-38. <http://doi.org/10.20431/2454-9711.0602003>
- Ochoa Jaramillo, C. D. (2023). Determinar el perfil profesional de los ingenieros civiles para el desarrollo de sistemas de infraestructura en el Ecuador (Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito). <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/12739>
- Oti, J., Adeleke, B. O., Rathnayake, M., Kinuthia, J. M., & Ekwulo, E. (2024). Strength and durability characterization of structural concrete made of recycled plastic. *Materials*, 17(8), 1841. <https://doi.org/10.3390/ma17081841>
- Picas Vidal, J., Álvarez, M., & Palacios, M. (2024). Advances in understanding C-S-H formation and nanostructure during cement hydration: A review. *Cement and Concrete Research*, 185, 107223. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107223>
- Pinto Almeida, C. D., Jordan-Buenaño, N., Cárdenas, A., Morales, N., & Mozo, A. (2025). Análisis comparativo de ensayos a compresión de cilindros de hormigón. *InnovaSciT*, 3(2). <https://doi.org/10.70577/innovascit.v3i2.63>
- SC UNESUM. (s. f.). Materiales de la construcción: composición química de los materiales. *Repositorio Digital UNESUM*. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2078/1/Materiales%20de%20Costruccion.pdf>
- Reyes-López, D., Medina, F., & Paredes, M. (2024). Chemical innovation and smart materials in sustainable construction: A review of emerging trends and applications. *Journal of Building Engineering*, 91, 108735. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108735>

- Rosete Fonseca, J. C., Díaz de León Santiago, V. M., & Levi González, A. (2018). *Mecánica de materiales: teoría y aplicaciones*. Grupo Editorial Patria. <https://elibro.net/es/ereader/utiec/40533?page=6>
- Scrivener, K., John, V. M., & Gartner, E. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
- Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2023). Incorporating coarse and fine recycled aggregates into concrete mixes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01834-1>
- Tang, J., Huang, B., & Zhao, Y. (2022). Life Cycle Assessment (LCA) of virgin and recycled aggregates in concrete. ArXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2501.10457>
- Trujillo, M. Á., Martínez-de Dios, J. R., Martín, C., Viguria, A., & Ollero, A. (2019). Novel Aerial Manipulator for Accurate and Robust Industrial NDT Contact Inspection: A New Tool for the Oil and Gas Inspection Industry. *Sensors*, 19(6), 1305. <https://doi.org/10.3390/s19061305>
- UCE – Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos. (s. f.). Laboratorio de ensayo de materiales: análisis físico-mecánicos y químicos. *Universidad Central del Ecuador*. <https://aka-cdn.uce.edu.ec/ares/w/facs/fing/imagenes%20y%20pdf/Ingenier%C3%ADa%20Civil/Laboratorios/Informacion%20Laboratorio%20de%20Ensayo%20de%20Materiales.compressed.pdf>
- Universidad Central del Ecuador (2021). Práctica 1: Determinación de la densidad del cemento. *Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-cent> ASTM
- Vila, P., y Pereyra, M. N. (2025). Propiedades físico-mecánicas de adoquines de hormigón producidos en Uruguay. *Revista Hormigón*, 68, 23–45. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s27189058/cbt83nkc2>







Comprender cómo y por qué fallan los materiales es tan importante como saber calcularlos. Este libro propone precisamente ese enfoque: una formación en mecánica de materiales que integra teoría, práctica y contexto para fortalecer la toma de decisiones técnicas en la ingeniería civil.

A lo largo de sus capítulos, Mecánica de materiales con enfoque en la Ingeniería Civil desarrolla de manera progresiva los principios mecánicos y químicos que rigen el comportamiento del hormigón, el acero, los polímeros y otros materiales de uso constructivo. El texto vincula fundamentos conceptuales con ejemplos reales, ensayos de laboratorio, casos aplicados y referencias normativas, adaptadas a la realidad ecuatoriana y latinoamericana.

La obra no se limita a la resolución de ejercicios, sino que promueve el razonamiento crítico, la prevención de fallas estructurales y una comprensión ética y sostenible del ejercicio profesional. Por ello, combina bases teóricas actualizadas con recursos didácticos que facilitan el aprendizaje significativo y contextualizado.

Dirigido a estudiantes de Ingeniería Civil, docentes universitarios y profesionales en formación, este libro se presenta como una herramienta académica sólida para comprender los materiales desde su comportamiento mecánico y químico, y para proyectar estructuras más seguras, durables y responsables.

