

# **ANÁLISIS MATEMÁTICO I**

## **GUÍA DE SITUACIONES APLICADAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**2021**

## Prólogo

En la presente Guía de Situaciones Aplicadas, el estudiante de Ingeniería encontrará una serie de planteos en donde aplicará diversos conceptos del Análisis Matemático 1 a través de un enfoque basado en el desarrollo de Competencias. Las situaciones planteadas constituyen aproximaciones y simplificaciones de problemas provenientes del ámbito disciplinar y/o laboral de las carreras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo. Por ende, su resolución será guiada por los docentes de la cátedra, teniendo en cuenta los objetivos y resultados esperados. Esto resulta fundamental ya que algunas de las situaciones planteadas pueden tener formas de resolución alternativas o no adecuadas para el nivel del curso.

El objetivo fundamental de la Guía es que el estudiante estimule y acreciente su capacidad de abstracción, analice diversos factores y variables en un determinado fenómeno o situación problemática, construya modelos matemáticos sencillos y, finalmente, aplique las técnicas aprendidas en el curso de Análisis Matemático 1 para resolver el problema planteado, evaluando con espíritu crítico sus conclusiones y resultados. Así, se mostrará al estudiante algunas de las muy diversas aplicaciones de los conceptos, métodos, técnicas y procedimientos adquiridos en Análisis Matemático.

Por último, los autores desean agradecer a las autoridades de la Facultad de Ingeniería por el apoyo brindado.

Dr. Pablo Ochoa  
Dra. Mercedes Larriqueta  
Prof. Noemí Vega  
Lic. Martín Matons  
Ing. Paula Acosta  
Dra. Dalía Bertoldi  
Dra. Stella Donato  
Dr. Hernán Garrido  
Ing. Julián Martínez  
Lic. Verónica Nodaro

## Una Guía enfocada en el desarrollo de Competencias<sup>1</sup>

Hasta hace algún tiempo, la gran discusión en la enseñanza de las ingenierías estaba centrada en

### Competencias Sí versus Competencias No.

Sin embargo, a partir de la aprobación de la Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de las Carreras de Ingeniería por el Consejo Federal de Decanos de ingeniería (CONFEDI) en 2018, las grandes discusiones deben enfocarse en *cómo* adecuar e implementar los Planes de Estudio de las distintas carreras de Ingeniería al nuevo contexto.

Uno de los pilares fundamentales del nuevo proceso de enseñanza es el siguiente:

La Formación por Competencias no es un destino, es un *Camino*.

Es decir, la Formación por Competencias consiste en una mejora continua del Proceso de Enseñanza, en busca de la excelencia. Para enfatizar este aspecto, tomamos a continuación la definición de Ingeniería como profesión realizada por el CONFEDI:

***Ingeniería** es la profesión en la que el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales adquiridas mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se emplea con buen juicio a fin de desarrollar modos en que se puedan utilizar, de manera óptima, materiales, conocimiento, y las fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad, en el contexto de condiciones éticas, físicas, económicas, ambientales, humanas, políticas, legales, históricas y culturales.*

*La Práctica de la Ingeniería comprende el estudio de factibilidad técnico-económica, investigación, desarrollo e innovación, diseño, proyecto, modelación, construcción, pruebas, optimización, evaluación, gerenciamiento, dirección y operación de todo tipo de componentes, equipos, máquinas, instalaciones, edificios, obras civiles, sistemas y procesos. Las cuestiones relativas a la seguridad y la preservación del medio ambiente constituyen aspectos fundamentales que la práctica de la ingeniería debe observar.*

*La definición de Ingeniería y Práctica de la Ingeniería brindan la descripción conceptual de las características del graduado y constituyen la base para el análisis de las cuestiones atinentes a su formación. Esto lleva a la necesidad de proponer un currículo con un*

<sup>1</sup>El marco conceptual de esta sección ha sido extraído del material del curso de posgrado 'Formación por competencias, aprendizaje centrado en el estudiante y estándares de acreditación de segunda generación para Ingeniería', cuyos autores son V. Kowalski, D. Morano, I. Erck, S. Cirimelo y H. Enríquez'.

*balance equilibrado de competencias y conocimientos académicos, científicos, tecnológicos y de gestión, con formación humanística.*

*Los graduados de carreras de ingeniería deben tener una adecuada formación general, que les permita adquirir los nuevos conocimientos y herramientas derivados del avance de la ciencia y tecnología. Además, deberán completar y actualizar permanentemente su formación a lo largo de la vida laboral, en el marco informal o en el formal a través del postgrado. (Libro Rojo, CONFEDI, 2018).*

Así, la Universidad cuando forma profesionales lo hace buscando que éstos puedan resolver los problemas de la sociedad que se encuentran dentro de su campo de actuación. Entonces ser Competente como profesional tiene que tener como norte resolver Problemas Profesionales, o Situaciones Profesionales, si se lo quiere poner en términos de la definición de Competencia de CONFEDI que citamos a continuación:

Competencia: es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales (CONFEDI, 2006).

A modo de síntesis, la definición de Competencia dada por el CONFEDI, y también por diversos autores, presentan las siguientes características:

- ◇ El fin último está en la resolución de problemas profesionales;
- ◇ Los problemas de índole profesional implican situaciones complejas con un contexto específico;
- ◇ La competencia adquirida se demuestra a través de la actuación, movilización y articulación de saberes y tiene un carácter finalizado;
- ◇ Poseer una competencia implica los ámbitos cognitivo, motriz, social, político y actitudinal;
- ◇ La competencia debe ser evaluable, directa o indirectamente, y de forma gradual;
- ◇ En la formación del ingeniero, debe haber situaciones de integración programadas.

Como se mencionó anteriormente, una de las facetas de la Competencia es la de movilizar y articular saberes para resolver un determinado problema. Así, ser competente significa, entre otras cosas, movilizar recursos, y para ello debe haber una razón para hacerlo. Los saberes y recursos se movilizan porque hay una necesidad, un problema o situación que necesita ser resuelta. Entonces, la competencia se demuestra a través de la actuación, y es por ello que tiene un carácter finalizado.

En la cátedra de Análisis Matemático I proponemos contribuir a las competencias que el estudiante de Ingeniería debe desarrollar, siguiendo los lineamientos planteados anteriormente. Entre las competencias, genéricas y específicas, detalladas en el Libro Rojo del CONFEDI a las que contribuye la presente Guía de Situaciones y el proceso de evaluación asociado, mencionamos:

**Competencias genéricas:**

- ◇ Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- ◇ Utilizar de manera efectiva técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería.
- ◇ Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.
- ◇ Comunicarse con efectividad.
- ◇ Aprender de forma continua y autónoma.

**Competencias específicas de las carreras de Ingeniería Civil, Industrial y Petróleo:**

- ◇ **Medir, calcular** y representar obras construidas y por construirse.
- ◇ Planificar, diseñar, **calcular** y proyectar obras e instalaciones para almacenamiento, captación, tratamiento y distribución de sólidos, líquidos y gases.
- ◇ Diseñar, proyectar, **calcular, modelar** y planificar las operaciones y procesos de producción, distribución y comercialización de productos.
- ◇ Diseñar, proyectar, **calcular, modelar** y planificar las instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos.
- ◇ Diseñar, gestionar, **optimizar**, controlar y mantener las operaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos.

**Competencias específicas de las carreras de Ingeniería Civil, Industrial y Petróleo:**

- ◇ Identificar, **formular y resolver** problemas relacionados a la exploración y explotación de yacimientos de petróleo y gas analizando alternativas y concibiendo soluciones tecnológicamente adecuadas utilizando diseños experimentales, modelos matemáticos y/o cálculos.
- ◇ Diseñar, **calcular** y proyectar instalaciones de tratamiento, transporte, almacenaje de petróleo y gas aplicando principios de cálculo, diseño y simulaciones para valorar y optimizar con sentido crítico e innovador, con responsabilidad profesional, compromiso social y ética.
- ◇ **Estimar** y evaluar recursos y reservas de hidrocarburos para su certificación utilizando software y datos.

El objetivo de la Guía es presentar problemas o situaciones significativas para el estudiante, con el fin de que movilice y articule saberes y recursos estudiados durante el cuatrimestre en la asignatura. La premisa fundamental es la siguiente:

Solamente se determinará si alguien es competente una vez que haya actuado.

La visión que compartimos en la cátedra es que los saberes (en sus distintas facetas de Ser, Hacer y Conocer) constituyen recursos o herramientas, los cuales tiene un valor reducido si el futuro profesional, hoy estudiante, no logra articularlos y movilizarlos para resolver situaciones complejas. Así, se busca contribuir a que el estudiante ponga en práctica una combinación apropiada de recursos (conocimientos, saberes hacer, habilidades, razonamientos, comportamientos, etc.) para iniciar su camino hacia un futuro profesional competente.

La presente Guía constituye una instancia programada que necesariamente involucra la integración de recursos. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que por el lugar inicial que ocupa la asignatura en el trayecto de las carreras, las situaciones de integración planteadas en la Guía son versiones simplificadas de problemas ingenieriles que pueden presentarse en el ámbito profesional. Finalizamos recordamos la siguiente máxima de la Ingeniería:

Ingeniería es Verbo.

## Índice de Situaciones Aplicadas

TRABAJO REALIZADO POR UN GAS .....	9
CONCENTRACIÓN DE DESINFECTANTES .....	12
RADIACIÓN DE ANTENA DE TELEFONÍA CELULAR .....	15
SELECCIÓN DE UN SENSOR PARA INICIAR SU COMPRA .....	18
FLEXIÓN DE UNA VIGA EN VOLADIZO.....	20
FLUJO EN UN CANAL ABIERTO .....	23
EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO.....	25
MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE UNA PELOTA DE TENIS EN EL SAQUE.....	28
SELECCIÓN DEL MEJOR POZO PARA EXTRACCIÓN DE HIDROCARBUROS .....	30
FÓRMULAS PARA ESTIMAR LA INFLACIÓN.....	33
ACCIDENTE EN EL ENSAYO DE LA FIESTA DE LA VENDIMIA 2017.....	35
ORDEN DE COMPLEJIDAD DE UN ALGORITMO.....	37
INSPECCIÓN EN LÍNEA DE ENSAMBLE.....	40
INTEGRACIÓN NUMÉRICA .....	42
CUANDO UN MARTILLO Y UNA PLUMA VIAJARON A LA LUNA .....	46
EFICIENCIA DE UN MOTOR.....	49
AJUSTE ITERATIVO DE UN EQUIPO DE FABRICACIÓN ADITIVA .....	53
TENSIÓN NOMINAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DOMÉSTICO EN ARGENTINA .....	57
CÁLCULOS EN PRESAS.....	59

## Situación 1: Trabajo realizado por un gas

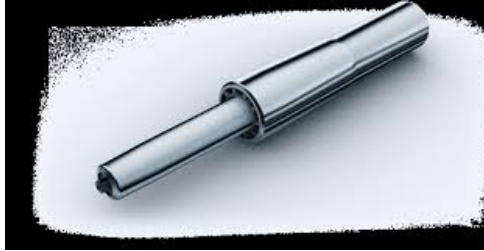


Figura 1: Pistón de silla con gas en su interior

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Integral definida y aplicaciones
- ◇ Interpretación de la integral definida
- ◇ Antiderivadas

Se tiene un gas encerrado en un pistón móvil como se muestra en la Figura 2. Se considera que la temperatura del gas permanece constante durante el proceso que se va a describir (proceso isotérmico).

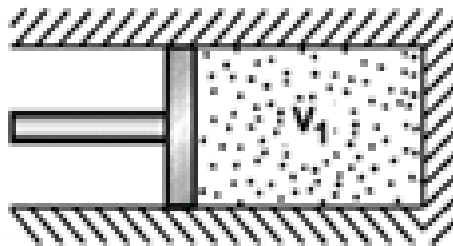


Figura 2: Gas expandiéndose en un pistón.

Las moléculas del gas golpean la superficie móvil del pistón, ejerciendo una fuerza sobre ésta. Como resultado de este fenómeno, se produce un cambio del volumen ocupado por el gas en el interior del pistón y el gas realiza un trabajo  $W$ . Si el volumen del gas cambia de



un volumen inicial  $V_i$  hasta un volumen final  $V_f$ , entonces el trabajo efectuado  $W$  puede calcularse como:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P(V) dV,$$

donde  $P$  es la presión ejercida por el gas en la cara interna móvil del pistón. Recordar que la presión se mide en pascuales (Pa).

1. Calcule el trabajo realizado por el gas en expansión de  $2 \text{ m}^3$  a  $5 \text{ m}^3$  si este proceso se define mediante la ecuación  $PV^2 = 2 \text{ J}$  (siendo  $\text{m}^3$  metro cúbico y J joule).
2.
  - a) Calcule el trabajo desarrollado por el gas en una expansión isotérmica donde ahora el proceso se define como se muestra en la Figura 3.
  - b) Explique qué representa gráficamente el número calculado en el ítem a).
  - c) Sin realizar cálculos, indique si el trabajo calculado en el ítem a) es mayor, menor o igual que el trabajo que realizaría este gas al cambiar de un volumen de  $2 \text{ m}^3$  a  $8 \text{ m}^3$ . Explique su razonamiento.

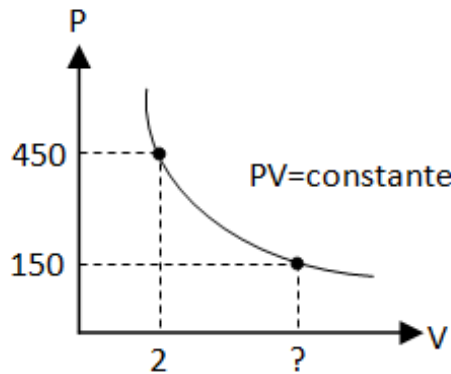


Figura 3: Expansión isotérmica del gas en el pistón.

3. Los siguientes gráficos muestran curvas que representan la relación entre volumen y presión para expansiones isotérmicas. Considere para los tres gráficos los mismos valores de  $V_i, V_f, P_i, P_f$ . ¿Cuál es la expansión que realiza más trabajo? Explique su razonamiento.

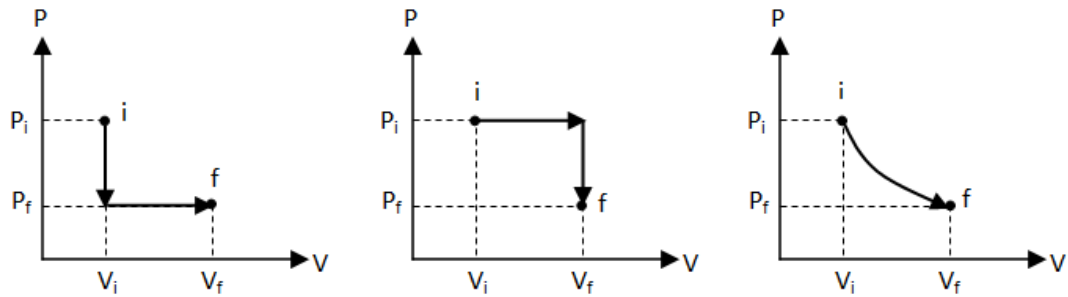


Figura 4: Distintas expansiones de un gas a temperatura constante

**Referencia**

-Freeman, R. y Young, H. *Física universitaria*, 2009, Ed. Addison Wesley, 12da edición.

## Situación 2: Concentración de desinfectantes

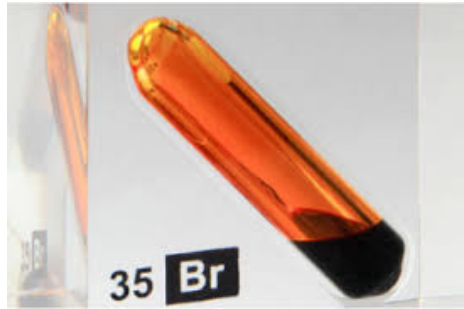


Figura 5: Elemento químico Bromo

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Tasas de cambio
- ◇ Derivadas
- ◇ Cambio exponencial
- ◇ Integrales definidas

El bromo (Br) y sus compuestos se usan como agentes desinfectantes en piscinas y en depósitos de agua potable. Los compuestos del bromo son más seguros que los conformados por cloro por la persistencia residual de estos últimos.

En disoluciones acuosas, el bromo molecular ( $\text{Br}_2$ ) reacciona con el ácido fórmico. A medida que progresa la reacción, la concentración de bromo (denotada por  $[\text{Br}]$ ) disminuye rápidamente y su color se desvanece. La medición de la variación de la concentración del bromo, desde un tiempo inicial  $t_0$  hasta un tiempo final  $t_f$ , permite determinar la rapidez promedio de la reacción durante ese intervalo:

$$\text{rapidez promedio de la reacción } \text{Br}_2\text{-ácido fórmico} = -\frac{[\text{Br}_2]_f - [\text{Br}_2]_0}{t_f - t_0}. \quad (1)$$

Utilizando un espectrofotómetro, se puede determinar la concentración del bromo molecular en función del tiempo. La concentración se mide en cantidad de moles.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>El mol es la unidad con que se mide la cantidad de sustancia y es una magnitud física fundamental en el Sistema Internacional de Unidades. Dada cualquier sustancia y considerando un tipo de entidades elementales que la componen (que pueden ser átomos, molecular, iones, etc.), un mol de sustancia equivale a  $6,022 \times 10^{23}$  de esas entidades elementales. Este número se conoce como el número de Avogadro.

La siguiente tabla muestra algunas mediciones de la concentración de bromo molecular en una disolución acuosa para distintos momentos:

Tiempo $t$ (s)	$[\text{Br}_2]$ (en moles)
0	0,012
50	0,0101
100	0,00846
150	0,0071
200	0,00596
250	0,005
300	0,0042
350	0,00353
400	0,00296

Tabla 1: Valores de la concentración  $[\text{Br}_2]$  para distintos momentos

Para responder las siguientes consignas utilice los datos suministrados en la Tabla 1.

1. Eligiendo escalas apropiadas, represente gráficamente la concentración  $[\text{Br}_2]$  en función del tiempo  $t$ .
2. Calcule la rapidez promedio (1) en los intervalos de tiempo  $[0, 50]$ ,  $[100, 200]$  y  $[0, 400]$ .
3. En base a las respuestas anteriores, indique si la rapidez promedio de la reacción entre  $\text{Br}_2$  y ácido fórmico es constante para cualesquiera de los intervalos de tiempo de la Tabla 1.

A continuación va a determinar qué tipo de variación o cambio presenta la concentración  $[\text{Br}_2]$  como función del tiempo. Para ello deberá responder algunas preguntas teniendo en cuenta la relación (1) y la información suministrada en la siguiente tabla:

Tiempo (s)	$[\text{Br}_2]$ (mol)	Rapidez instantánea de la reacción (mol/s)	$k = \frac{\text{rapidez}}{[\text{Br}_2]} (1/s)$
0	0,012	$4,20 \times 10^{-5}$	
50	0,0101	$3,52 \times 10^{-5}$	
100	0,00846	$2,96 \times 10^{-5}$	
150	0,0071	$2,49 \times 10^{-5}$	
200	0,00596	$2,09 \times 10^{-5}$	
250	0,005	$1,75 \times 10^{-5}$	
300	0,0042	$1,48 \times 10^{-5}$	
350	0,00353	$1,23 \times 10^{-5}$	
400	0,00296	$1,04 \times 10^{-5}$	

TABLA 2. Valores de rapidez instantánea para la reacción  $\text{Br}_2$ -ácido fórmico.

4. Calcule la constante  $k$  para cada intervalo de tiempo. A partir de estos valores de  $k$ , ¿qué conclusión puede sacar acerca de la relación entre la rapidez de la reacción y  $[\text{Br}_2]$ ?
5. En términos de derivadas, ¿qué expresión obtiene cuando hace:

$$t_f \rightarrow t_0$$

en el lado derecho de (1)?

6. De la información obtenida en los dos ítem anteriores, deduzca la relación:

$$-\frac{d[\text{Br}_2]}{dt} = k[\text{Br}_2] \quad (2)$$

El lado izquierdo de (2) (con el signo negativo incluido) se denomina rapidez de la reacción.

7. En base al inciso anterior, ¿la concentración  $[\text{Br}_2]$  presenta un cambio exponencial con respecto al tiempo? Justifique su respuesta.
8. Divida ambos miembros de (2) por  $[\text{Br}_2]$ , e intégreles con respecto al tiempo en el intervalo  $[0, t]$  para obtener una expresión de  $[\text{Br}_2]$  como función de  $t$ . Considere que para  $t = 0$ , la concentración del bromo molecular es un cierto valor inicial  $[\text{Br}_2]_0$ .
9. ¿Qué sucede con la concentración de bromo molecular a largo plazo?
10. En el análisis de reacciones químicas, un criterio para identificar si una reacción es de primer orden (es decir, la rapidez de la reacción es directamente proporcional a la concentración del reactivo) es representar el logaritmo natural de la concentración con respecto al tiempo. Observar que a partir de (2), sabemos que la reacción bromo molecular-ácido fórmico es una reacción de primer orden. Utilice la expresión de  $[\text{Br}_2]$  obtenida en el inciso 8 para representar  $\ln[\text{Br}_2]$  como función de  $t$ . ¿Qué curva obtiene? ¿Cuál es la pendiente de la curva? En general, ¿qué tipo de curva espera obtener cuando represente el logaritmo de la concentración con respecto al tiempo en reacciones de primer orden?

### Referencias

-Chang, R. y College, W. *Química*, 2002, Mc Graw Hill, 7a edición.

### Situación 3: Radiación de antenas de telefonía celular



Figura 6: Antena de telefonía

#### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Derivada y regla de la cadena
- ◇ Optimización
- ◇ Extremos absolutos

Existe la creencia popular de que las antenas de telefonía celular son perjudiciales para la salud de las personas que viven cerca de ellas. Más allá del hecho de que no deberíamos preocuparnos, pues su fabricación está normalizada y su instalación sumamente regulada, suelen darse las siguientes argumentaciones.

Muchas personas dicen que mientras más cerca viven de una antena más potencia reciben de ella, pues la potencia recibida decae con el cuadrado de la distancia. Esto es cierto.

Por otro lado, algunos ingenieros dicen que el teléfono transmite con más potencia si se encuentra lejos de la antena que si se encuentra cerca (para economizar batería). Además, como la persona siempre está más cerca de su teléfono que de la antena, alejarse de la antena podría llevarla a recibir más potencia. Esto también es cierto.

Suponga que una unión vecinal, que se niega a dejar instalar una antena en el barrio, lo contrata a usted para conciliar estos dos argumentos *aparentemente* contradictorios pero *verdaderamente* ciertos. Le proporcionan los siguientes valores para los parámetros del problema:

- ◇ Cantidad de comunicaciones simultáneas de la antena:  $N = 100$ .
- ◇ Tasa de uso del teléfono:  $t_{ut} = 1/(24 \cdot 60)$  (1 minuto por día).

- ◇ Tasa de uso de la antena:  $t_{ua} = 16/24$  (16 horas por día).
- ◇ Distancia entre la persona y el teléfono:  $d_p = 0,10$  m.
- ◇ Alcance de la antena:  $d_{máx} = 10000$  m.
- ◇ Distancia mínima entre la persona y la antena (altura de la torre):  $d_{mín} = 30$  m.

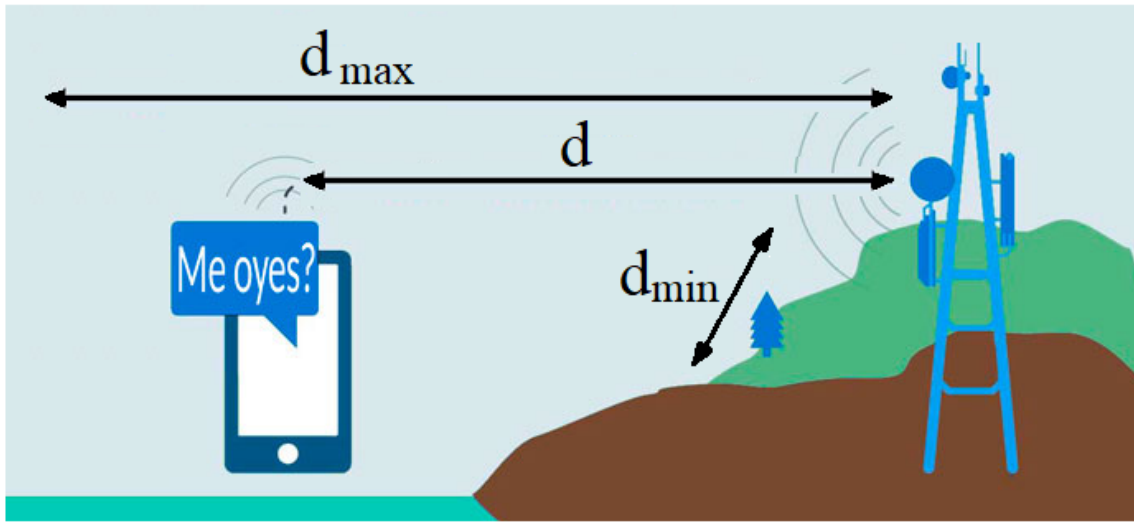


Figura 7: Esquema de torre, antena y teléfono celular.

Además, usted ha recopilado la siguiente información:

- ◇ La antena transmite siempre con la misma potencia ( $P_{Ta}$ ).
- ◇ El teléfono transmite con una potencia variable ( $P_{Tt}$ ) tal que la antena recibe una potencia ( $P_{Ra}$ ) igual a la que recibiría el teléfono si este estuviese alejado de la antena una distancia igual al alcance de la antena ( $d_{máx}$ ).
- ◇ La potencia recibida por la antena ( $P_{Ra}$ ) es inversamente proporcional al cuadrado de distancia entre el teléfono y la antena ( $d$ ), y directamente proporcional a la potencia transmitida por el teléfono ( $P_{Tt}$ ); es decir, es proporcional al cociente  $\frac{P_{Tt}}{d^2}$ .
- ◇ La potencia recibida por el teléfono ( $P_{Rt}$ ) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el teléfono y la antena ( $d$ ), y directamente proporcional a la potencia transmitida por la antena ( $P_{Ta}$ ).
- ◇ La potencia media recibida por la persona ( $P$ ) es la suma de dos términos ( $P_1$  y  $P_2$ ).
- ◇ El término  $P_1$  es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el teléfono y la antena ( $d$ ), directamente proporcional a la potencia transmitida por la antena ( $P_{Ta}$ ), directamente proporcional al número de comunicaciones simultáneas de la antena ( $N$ ), y directamente proporcional a la tasa de uso de la antena ( $t_{ua}$ ).

- ◇ El término  $P_2$  es inversamente proporcional al cuadrado de distancia entre el teléfono y la persona ( $d_p$ ), directamente proporcional a la potencia transmitida por el teléfono ( $P_{Tt}$ ), y directamente proporcional a la tasa de uso del teléfono ( $t_{ut}$ ).
- ◇ Existe una distancia mínima a la que una persona puede estar de la antena ( $d_{\min}$ ), la cual corresponde a la altura de la torre.

Utilizando la misma constante  $k$  para todas las relaciones de proporcionalidad mencionadas anteriormente, aborde las siguientes consignas:

1. Construya la función potencia transmitida por el teléfono  $P_{Tt} = g(d)$ , donde  $d$  es la distancia entre el teléfono y la antena.
2. Construya las funciones  $P_1 = P_1(d)$  y  $P_2 = P_2(d)$ , y gráfíquelas considerando que su dominio es  $[d_{\min}, d_{\max}]$ .
3. Construya la función  $P = P(d)$  y gráfíquela considerando que su dominio es  $[d_{\min}, d_{\max}]$ .
4. Encuentre los extremos absolutos de  $P$  en el intervalo dado y explique qué significan en el contexto del problema.
5. Compare  $P(d_{\max})$  y  $P(d_{\min})$  con el mínimo global de  $P$ .
6. ¿Qué tiene para decirle a quienes lo contrataron? Tenga en cuenta que tiene que explicar sus conclusiones a personas que pueden no saber Análisis Matemático.

### Referencias

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_network).
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile>



## Situación 4: Selección de un sensor para iniciar su compra

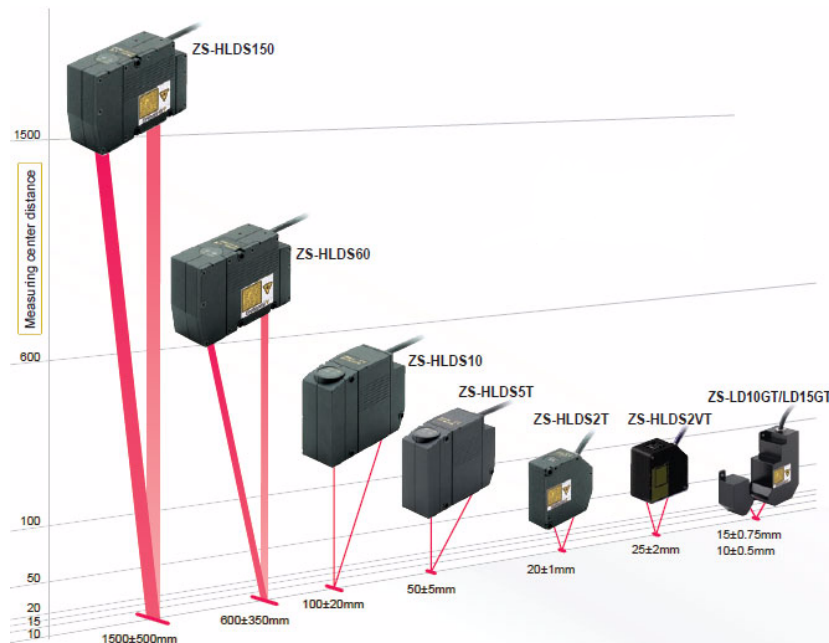


Figura 8: Sensores para medir desplazamientos

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Funciones trigonométricas
- ◇ Derivación

Suponga que tiene que comprar un sensor de desplazamiento para medir la vibración de una máquina. Si elige un sensor con un rango muy pequeño, puede que la medición se sature (sobrepase el rango del sensor). Si, por el contrario, elige un sensor con rango muy amplio, puede que la medición sea tan pequeña que el ruido la enmascare. Por lo tanto, debe elegir el sensor con el rango más pequeño posible que cubra el rango de la medición de desplazamiento.

Desafortunadamente, usted no cuenta con mediciones previas del desplazamiento, pues aún no compran el sensor. Sin embargo, cuenta con una medición de aceleración (sí disponen de un acelerómetro en la empresa), la cual se muestra en la Figura 9. Este patrón se repite indefinidamente.

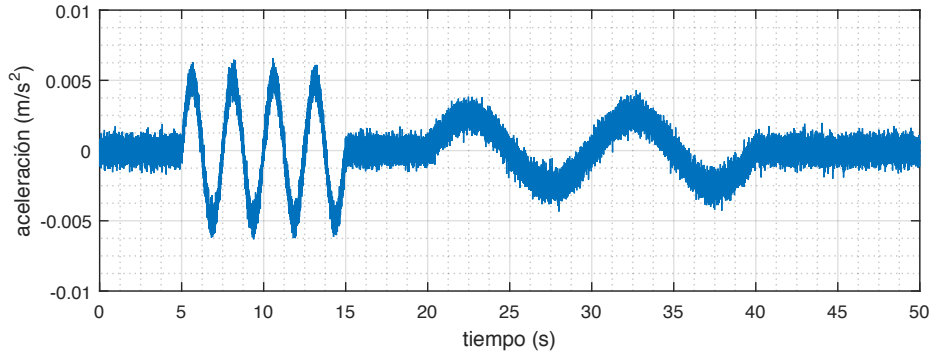


Figura 9: Registro de aceleraciones medidas.

Los sensores que puede comprar, y sus rangos correspondientes, son los que se encuentran en la Figura 8. Note que los rangos de desplazamientos (expresados en milímetros) son:  $[-500, 500]$ ,  $[-350, 350]$ ,  $[-20, 20]$ ,  $[-5, 5]$ ,  $[-1, 1]$ ,  $[-2, 2]$ ,  $[-0,75, 0,75]$  y  $[-0,05, 0,05]$ , respectivamente. Para seleccionar el sensor, tenga en cuenta lo siguiente:

1. La medición de la aceleración ya tomada es aproximadamente sinusoidal de a tramos y puede escribirse, en cada tramo, en la forma

$$a(t) = A_{\text{máx}} \text{sen}(\omega t),$$

donde  $\omega = 2\pi f$ ,  $f = 1/T$ ,  $T$  es el periodo de la oscilación y  $A_{\text{máx}}$  es la amplitud máxima de la aceleración en el tramo considerado.

2. Debido a otras consideraciones, se sabe que la medición de desplazamiento a tomar también será aproximadamente sinusoidal de a tramos y puede modelarse, en cada tramo, como  $d(t) = -D_{\text{máx}} \text{sen}(\omega t)$ , donde  $D_{\text{máx}}$  es el desplazamiento máximo del tramo estudiado.

### Referencia

-Thomas, G. *Cálculo, una variable*, 2010. PEARSON, 12a edición.

## Situación 5: Flexión de una viga en voladizo



Figura 10: Viga en voladizo

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Derivada y regla de la cadena
- ◇ Diferenciales
- ◇ Integrales indefinidas
- ◇ Polinomios de Taylor

En una obra en construcción se quiere armar un elevador de carga usando de apoyo una viga horizontal empotrada en un solo extremo, tal como se muestra en la Figura 11 (a). La fuerza ( $F$ ) aplicada en el extremo libre provocará la flexión de la viga. Para cuantificar esta deformación, es necesario relacionar el desplazamiento ( $y$ ) de la viga con el momento flector ( $M$ ) causado por  $F$ . En la Figura 11 (b) se muestra la flexión que sufre un punto  $P$  que se encuentra a una distancia  $x$  del empotramiento de la viga. La cantidad  $ds$  es la longitud del arco de viga asociado a los incrementos  $dx$  y  $dy$ .

El radio de curvatura ( $\rho$ ) en  $P$  se define trazando rectas tangentes y normales en puntos de la viga flexionada correspondientes a  $P$  y a un punto ubicado en  $x+dx$ , tal como se muestra en la Figura 12. Observar que las rectas normales se cortan en un punto  $C$  (usualmente llamado centro de curvatura en  $P$ ). Para incrementos  $dx$  pequeños, la distancia entre  $C$  y cada punto del tramo de viga considerado es aproximadamente la misma. Esta distancia constituye el radio de curvatura  $\rho$  en  $P$  ( $\rho(x)$ ). Como  $d\theta$  es el ángulo entre las normales

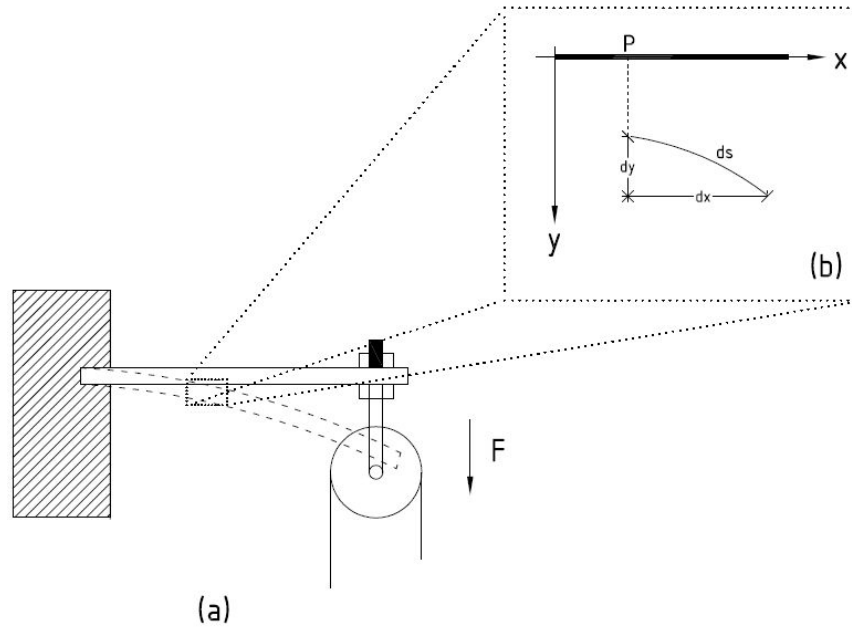


Figura 11: Flexión de la viga y punto  $P$ .

y está medido en radianes, se tiene

$$\rho(x) = \frac{ds}{d\theta}. \quad (3)$$

1. Use la fórmula (3) de  $\rho$  y aproxime  $ds$  con la hipotenusa del triángulo rectángulo (línea punteada) para deducir la conocida fórmula del radio de curvatura:

$$\rho(x) = \frac{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}} \quad (4)$$

Observe que la pendiente de la recta tangente a la curva en  $(x, y(x))$  es la tangente del ángulo de inclinación  $\theta$ , por lo que  $y'(x) = \tan \theta$  y por lo tanto  $d\theta = d(\arctan y'(x))$ . En el procedimiento, deberá además usar la definición de diferencial.

2. Aproxime  $\tan \theta$  con el polinomio de Taylor de orden uno (centrado en cero). Luego, teniendo en cuenta que  $y'(x) = \tan \theta$  determine por qué puede considerarse que  $1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \simeq 1$  si las deformaciones son pequeñas. Finalmente, reescriba la ecuación (4) bajo esta suposición.
3. Por la expresión de Euler-Bernoulli, se sabe que el radio de curvatura y el momento flector están relacionados por la ecuación:

$$\rho(x) = \frac{EI}{M(x)} \quad (5)$$

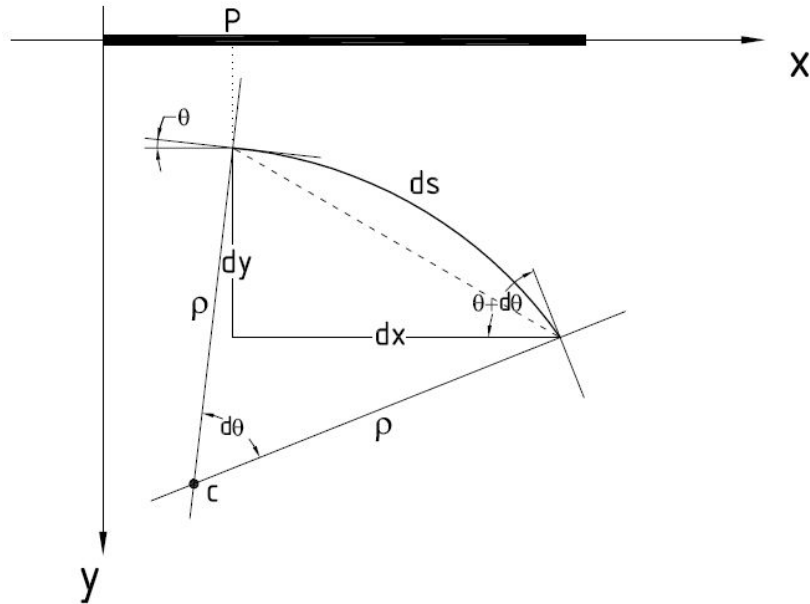


Figura 12: Flexión de la viga y punto  $P$ .

donde  $E$  es el módulo de Young del material y  $I$  el momento de inercia de la sección transversal de la viga. Obtenga una ecuación para el desplazamiento  $y$  de la viga en función de  $M$  cuando las deformaciones son pequeñas. Trate a  $I$  y  $E$  como constantes pero recuerde que  $M$  es función de  $x$ .

**Referencia**

-Raffo, C. *Introducción a la estática y la resistencia de materiales*, 2002, Ed. Alsina, 10a edición.

## Situación 6: Flujo en un canal abierto



Figura 13: Construcción de un canal para riego

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Derivada y regla de la cadena
- ◇ Valores extremos de funciones

Se quiere construir un canal de riego para viñedos de una importante bodega (Figura 14). Como el canal es abierto, se sabe que el flujo puede darse en tres regímenes: crítico, subcrítico (lento y tranquilo) y supercrítico (rápido y torrencial). El régimen crítico es un estado inestable poco recomendado para el diseño de estructuras hidráulicas. Es por tanto necesario obtener una ecuación característica de este régimen que permita reconocerlo y evitarlo. Posteriormente, es conveniente determinar las variables posibles de controlar con el diseño del canal para que el régimen del flujo sea supercrítico y el agua fluya rápidamente.

Si el canal funciona en régimen constante, la velocidad media del agua está dada por el cociente entre su caudal ( $Q$ ) y el área de la sección transversal del canal ( $A$ ):

$$v(y) = \frac{Q}{A(y)}, \quad (6)$$

donde  $y$  es la distancia desde el fondo del canal a la superficie del agua. Un concepto clave para la resolución del problema es que en el régimen crítico la energía específica ( $E$ ) es mínima (cantidad de energía por unidad de peso de líquido, medida a partir del fondo del

canal) y se calcula como:

$$E(y) = y + \frac{v^2(y)}{2g}, \quad (7)$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad. Reemplazando (6) en (7) se tiene:

$$E(y) = y + \frac{Q^2}{2gA^2(y)}.$$

1. Teniendo esto en cuenta y considerando el caudal constante, obtenga la velocidad del régimen crítico.
2. Posteriormente, suponga que  $dA/dy$  es constante y determine qué variables puede controlar para que el flujo sea supercrítico, es decir, para que la velocidad del agua sea superior a la del régimen crítico.
3. Observe la Figura 14 y determine qué geometrías del canal son posibles bajo la suposición que  $dA/dy$  sea constante. Justifique su respuesta.

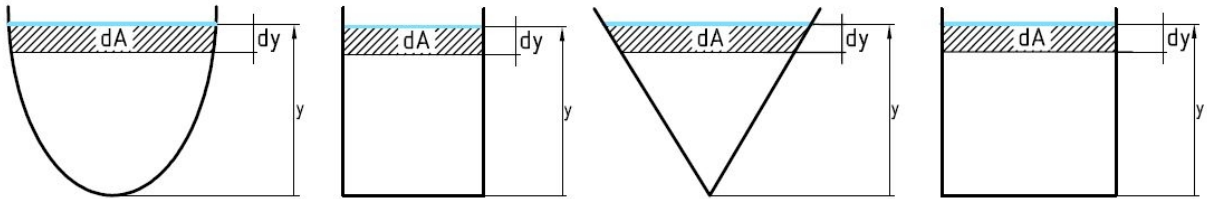


Figura 14: Secciones transversales de diferentes canales de riego

### Referencias

- Silvestre, P. *Fundamentos de hidráulica general*, 1983, Ed. Limusa, 1ra edición.
- Cadavid, J. *Hidráulica de canales, fundamentos*, 2006, Ed. Universidad EAFIT, 20 edición.

## Situación 7: Emplazamiento de un parque eólico



Figura 15: Parque eólico

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Funciones definidas por partes
- ◇ Integral definida
- ◇ Antiderivadas
- ◇ Integrales impropias

Un ingeniero está interesado en el estudio de la velocidad del viento en un lugar geográfico determinado donde se emplazará un parque eólico. Su variable de interés es:

$X$ : velocidad del viento en km/h.

Observar que  $X$  puede tener distintas realizaciones o valores numéricos. La variable  $X$  es un ejemplo de variable aleatoria. Las variables aleatorias son funciones y pueden ser discretas (cuando se pueden enumerar los valores que arroja la función, como edades, número de artículos defectuosos, etc.) o continuas (cuando la imagen de la función es un intervalo de la recta real, como peso, densidad, etc.).

Lo primero que debe responder el ingeniero es si la variable  $X$  es discreta o continua.

Un concepto muy importante asociado a las variables aleatorias continuas es el de función densidad  $f$ . Esta función proporciona un medio para determinar la probabilidad  $P$  de que los valores  $x$  de la variable bajo estudio se encuentren en un intervalo seleccionado. Esta



probabilidad es el área encerrada entre la curva de la densidad y el eje  $x$ . Así:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx.$$

Para que una función  $f$  sea una densidad debe cumplir:

- ◇  $f(x) \geq 0$  para todo valor  $x \in \mathbb{R}$ , y
- ◇  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$ .

Para determinar la función densidad que se ajusta mejor a la velocidad del viento, el ingeniero ha utilizado los datos de un año completo, proporcionados por la estación meteorológica más cercana, obteniendo así las frecuencias para cada valor de velocidad del viento registrado. Este procedimiento ha dado por resultado una representación decreciente a medida que la velocidad del viento es mayor. Basado en métodos estadísticos, el ingeniero descubre que los datos pueden modelarse mediante la distribución exponencial. La ecuación matemática de su función densidad es:

$$f(x) = \begin{cases} ke^{-\frac{x}{\beta}}, & \text{si } x \geq 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{en cualquier otro caso,} \end{cases} \quad (8)$$

donde  $k > 0$ . Al parámetro  $\beta$  se lo conoce como la media de la variable. En la siguiente figura puede observar distintas gráficas de (8) para diferentes valores de  $\beta$ .

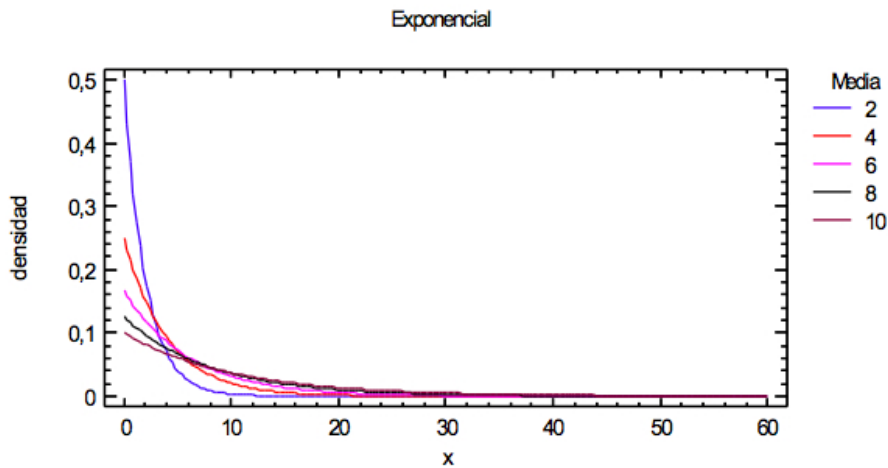


Figura 16: Distribución exponencial para distintos valores de su media  $\beta$ .

Usualmente se introduce el parámetro  $\lambda = 1/\beta$  y entonces la función (8) puede escribirse como:

$$f(x) = \begin{cases} ke^{-\lambda x}, & \text{si } x \geq 0, \lambda > 0 \\ 0, & \text{en cualquier otro caso.} \end{cases} \quad (9)$$

1. Encuentre la relación entre  $k$  y  $\lambda$  para que  $f$  sea una función densidad. Reescriba la función  $f$  utilizando la relación encontrada.
2. Estime el valor del parámetro  $\lambda$  si los registros indican que la probabilidad de que la velocidad del viento no supere los 70 km/h en la región es 0,90. En base al inciso anterior y al valor de  $\lambda$  encontrado, ¿qué expresión obtiene para  $f$  en (9)?
3. Utilizando la información del inciso 1, determine la función  $F$  de distribución acumulada de la velocidad del viento:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt.$$

Observe que la función distribución acumulada  $F$  es la integral de  $f$  entre el mínimo valor de la variable  $X$  (en este caso cero) y cualquier valor  $x$  de ella. La función  $F$  se interpreta como la probabilidad de observar valores de la variable hasta uno en particular, en este caso, hasta  $x$ . En símbolos:

$$P(X \leq x) = F(x).$$

Como resultado se obtiene una función  $F$  que permite calcular probabilidades sin necesidad de volver a realizar la integración de  $f$  en cada ocasión.

4. Represente gráficamente la función densidad (9) y la función de distribución acumulada encontradas en los incisos 1 y 3.
5. Teniendo en cuenta que el valor esperado o media de  $X$  se define como:

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx,$$

encuentre la velocidad media anual del viento en la región. A continuación, verifique la relación  $\lambda = 1/\beta$  explicitada anteriormente.

6. Los generadores de energía están diseñados para operar con velocidades del viento iniciales de 14,4 km/h y llegan a la máxima producción a los 50,4 km/h. Si la operación se vuelve rentable entre los 15 y 70 km/h, ¿cuál es la probabilidad de que los generadores sean rentables?

### Referencia

-Canavos, G. *Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos*, 1988, Ed. McGRAW-HILL, 1ra edición.

## Situación 8: Medición de la velocidad de una pelota de tenis en el saque



Figura 17: Equipo de medición de velocidad

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Tasa de cambio promedio
- ◇ Optimización

Suponga que lo contratan para configurar un equipo de medición de velocidad basado en imágenes. La configuración consiste simplemente en setear el valor de un parámetro llamado  $h$ .

El equipo toma una imagen de la pelota de tenis un tiempo antes de que se despegue de la raqueta ( $t = t_0 + h$ , con  $h < 0$ ), una imagen justo en el momento en que se despegue ( $t = t_0$ ) y otra más un tiempo después de que se despegue ( $t = t_0 + h$ , con  $h > 0$ ). Ver Figura 20.

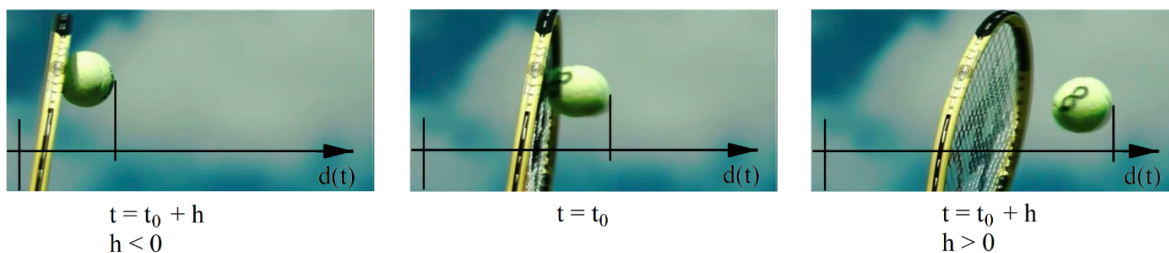


Figura 18: Imágenes de antes, durante y después de que la pelota se despegue de la raqueta.

A partir de estas imágenes el equipo obtiene el desplazamiento  $d(t)$  de la pelota con una resolución que se obtiene dividiendo el espacio horizontal cubierto por la cámara (1 m) por la cantidad de píxeles con los cuales lo cubre (1000 píxeles).

La raqueta modifica la velocidad de la pelota de 0 m/s a 60 m/s (aproximadamente) en 0,005 s. En el tiempo  $t_0$  (momento en que la pelota se despega de la raqueta), la velocidad de la pelota es de 60 m/s. A partir de este momento, la velocidad disminuye en 1 s de 60 m/s a un 90 % de esa velocidad.

Podemos suponer que la aceleración (que le produce la raqueta a la pelota) y la desaceleración (que le produce el aire) son aproximadamente constantes.

El manual del dispositivo especifica que éste aproxima la velocidad con la siguiente fórmula:

$$v(t_0) \approx \frac{d(t_0 + h) - d(t_0)}{h},$$

y que dicha aproximación tiene un error cuya cota superior es:

$$e(h) = \frac{|d''(c)h|}{2} + \left| \frac{r}{h} \right|; \quad (10)$$

donde  $d''(t)$  es la aceleración en función del tiempo,  $c$  es algún número perteneciente al intervalo  $[t_0, t_0 + h]$  (o  $[t_0 + h, t_0]$  si  $h < 0$ ) y  $r$  es la resolución espacial ( $t$ ,  $t_0$ ,  $h$  y  $c$  se miden en s;  $v(t)$  y  $e(h)$  en m/s; y  $d(t)$  y  $r$  en m).

Para configurar el equipo usted tiene que tomar dos decisiones:

1. ¿Debería usar  $h < 0$ , es decir medir la velocidad justo antes de que la pelota se despegue de la raqueta; o usar  $h > 0$ , es decir medir la velocidad justo después de que la pelota se despegó de la raqueta?
2. Para el caso elegido, ¿cuál conviene que sea el valor de  $h$ ?

### Referencias

- Burden, R. y Faires, J. *Numerical Analysis*, 2011, Brooks/Cole, 9a edición.
- <https://www.marca.com/2015/07/01/tenis/1435714847.html>.

## Situación 9: Selección del mejor pozo para extracción de hidrocarburos.



Figura 19: Equipo de bombeo de petróleo

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Sumas de Riemann
- ◇ Integral definida y aplicaciones

Una importante empresa petrolera está interesada en incorporar la explotación de un nuevo yacimiento. No obstante, tiene un presupuesto limitado y tres pozos candidatos (A, B y C) de una misma unidad estratigráfica. Es por tanto necesario determinar cuál tendría mejor producción, para esto es necesario establecer con qué capacidad puede fluir el hidrocarburo en cada pozo. Un método para determinar la distribución de la capacidad de flujo es el coeficiente de Lorenz el cual requiere el cálculo del área bajo la curva de la fracción de capacidad de flujo total ( $f_F$ ) versus la fracción de volumen total ( $f_V$ ), donde  $f_F$  está dado por el producto de la permeabilidad del suelo y la profundidad del pozo, y  $f_V$  por el producto de la porosidad del suelo y la profundidad del pozo. Cuanto menor sea el coeficiente de Lorenz, menor será la heterogeneidad del pozo y mayor es el interés por explotar dicho pozo.

En la Tabla 3 se muestran los resultados correspondientes al pozo A.

1. Usando los datos suministrados, grafique la distribución de  $f_F$  versus  $f_V$ .

2. Utilice la información dada para tomar particiones que den origen a  $n$  subintervalos, elija como puntos muestra los extremos derechos de cada subintervalo. Luego obtenga la suma de Riemann correspondiente.
3. El coeficiente de Lorenz ( $CL$ ) se define de la siguiente forma:

$$CL = \frac{\text{Área entre la curva } f_F \text{ versus } f_V \text{ y la recta identidad}}{\text{Área bajo la recta identidad}}$$

Calcule el coeficiente de Lorenz aproximando el área de la curva  $f_F$  versus  $f_V$  con la suma de Riemann obtenida en el punto 2. Tenga en cuenta que las variables están definidas sobre el intervalo  $[0,1]$ .

$f_V$	$f_F$	$f_V$	$f_F$
0.0114	0.0309	0.4887	0.8827
0.0229	0.0645	0.5186	0.8982
0.0343	0.1032	0.5394	0.9112
0.0481	0.1367	0.5601	0.9215
0.0572	0.1625	0.5831	0.9293
0.0687	0.1961	0.5969	0.9345
0.0778	0.2270	0.6153	0.9423
0.0915	0.2657	0.6453	0.9553
0.1099	0.3121	0.6637	0.9579
0.1282	0.3456	0.6959	0.9657
0.1443	0.3921	0.7143	0.9735
0.1603	0.4359	0.7351	0.9761
0.1832	0.4747	0.7627	0.9813
0.2085	0.5289	0.7811	0.9891
0.2222	0.5727	0.7996	0.9892
0.2428	0.6011	0.8249	0.9944
0.2727	0.6450	0.8456	0.9944
0.2933	0.6889	0.8756	0.9945
0.3232	0.7302	0.9078	0.9956
0.3462	0.7560	0.9263	0.9972
0.3715	0.7767	0.9470	0.9989
0.3968	0.8026	0.9608	0.9998
0.4198	0.8207	0.9746	0.9999
0.4497	0.8465	0.9885	0.9999
0.4704	0.8620	0.9954	0.9999

TABLA 3. Fracción de capacidad de flujo total versus fracción de volumen total para el pozo A

4. Finalmente, sabiendo que los coeficientes de Lorenz de los pozos B y C son 0.8886 y 0.7540, respectivamente, ¿qué pozo recomendaría Ud. explotar?

**Referencia**

-Martínez C. y Manuel O. *Elaboración de un algoritmo para generar mapas de heterogeneidad a partir de datos petrofísicos de un yacimiento*, 2003, Trabajo Especial de grado para optar al título de Ingeniero Geofísico. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

## Situación 10: Fórmulas para estimar la inflación



Figura 20: Imagen ilustrativa de la inflación

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Linealización y aproximación

Para preparar presupuestos, un ingeniero estadounidense solía estimar la inflación anual  $i_a$  (medida en porcentaje (%)) de incremento de precios por año) utilizando la siguiente fórmula:

$$i_a = 12i_m, \quad (11)$$

donde  $i_m$  es la inflación mensual (también medida en porcentaje de incremento de precios por mes). Así, por ejemplo, si la inflación mensual es del 0.1 %, la inflación anual resulta ser, estimativamente, del 1.2 %.

Cuando este ingeniero comienza a trabajar en una empresa de un país donde la inflación mensual es superior al 1 %, su fórmula presenta mucho error. Sus compañeros le indican que ellos usan la siguiente fórmula:

$$i_a = 100 \left[ \left( \frac{i_m}{100} + 1 \right)^{12} - 1 \right]. \quad (12)$$

En base a mediciones económicas en diversos países, se concluye que la expresión (12) estima satisfactoriamente la inflación anual.

1. Explique por qué la fórmula (11) también podría ser utilizada en países con inflación mensual  $i_m \ll 1$  %, pero no es recomendable en lugares con inflación mensual elevada.
2. Para  $i_m = 2$  %: ¿la fórmula (11) comete un error por defecto o por exceso? ¿Esto es así para cualquier valor de  $i_m$ ? ¿Por qué?



### Referencias

-[http://financeformulas.net/Rate\\_of\\_inflation.html](http://financeformulas.net/Rate_of_inflation.html)

-[https://en.wikipedia.org/wiki/Fisher\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Fisher_equation)

## Situación 11: Accidente en el ensayo de la Fiesta de la Vendimia 2017



Figura 21: Fotografía del ensayo de la Fiesta de la Vendimia 2017.

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Funciones y límites
- ◇ Asíntotas
- ◇ Linealización y aproximación

Suponga que, siendo ingeniero, usted es contratado como perito en el accidente ocurrido el 2 de marzo de 2017 en el Teatro Griego Frank Romero Day, cuando una grúa colapsó sobre las gradas y la carga que sostenía cayó sobre el escenario.

En el ensayo de la Fiesta de la Vendimia de 2017, como en años anteriores, se sostenía un peso  $P$  mediante dos grúas con sendos cables como se muestra en la Figura 21.

Suponga que la altura de las grúas es  $H$  y que están separadas por una distancia  $D$ . Además, asuma que las grúas y los cables son iguales y que la disposición es simétrica (Figura 22).

1. Determine una expresión de la magnitud  $f$  de la fuerza  $\vec{f}$  ejercida por cada grúa (en la dirección de su respectivo cable) en términos de:
  - a) el ángulo  $x$  que forma cada cable con la horizontal (es decir,  $f = g(x)$ ),
  - b) la altura  $h$  del peso (es decir,  $f = k(h)$ ).
2. Encuentre los dominios de las funciones  $g$  y  $k$ . En el contexto del problema estudiado, ¿cuáles son realmente los dominios a considerar de estas funciones?

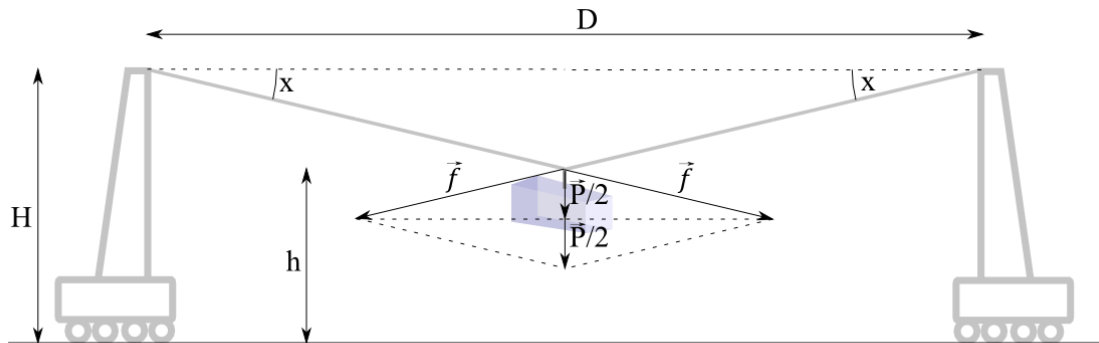


Figura 22: Esquema simplificado de fuerzas.

3. Grafique las funciones encontradas, y a partir de esto, emita un juicio criterioso sobre el riesgo de colapso de las grúas.
4. A partir de la función  $f = k(h)$  y la definición de límite infinito, explique que no importa la capacidad  $F$  del tipo de grúa utilizada, siempre puede hallar una altura  $h$  que haga que vuelque. Si bien no utilizará la siguiente información, se menciona que la capacidad  $F$  viene dada por el peso propio de la grúa, patas, ruedas, anclajes, el largo del brazo y la proyección ortogonal de la fuerza  $\vec{f}$  sobre el brazo.
5. Suponga que un colega le propone linealizar  $f = k(h)$ , para que se pueda seguir utilizando el mismo montaje en próximos eventos, y el operario de la grúa disponga de una fórmula simple para estimar si es seguro llegar hasta cierta altura. ¿Se comete un error por exceso o por defecto? ¿Esto es así para cualquier valor de  $h$ ? Diga si le parece o no una buena idea usar la linealización.

### Referencia

-Freeman, R. y Young, H. *Física universitaria*, 2009, Ed. Addison Wesley, 12da edición.

## Situación 12: Orden de complejidad de un algoritmo



Figura 23: Código de un algoritmo

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Sucesiones
- ◇ Notación  $O$

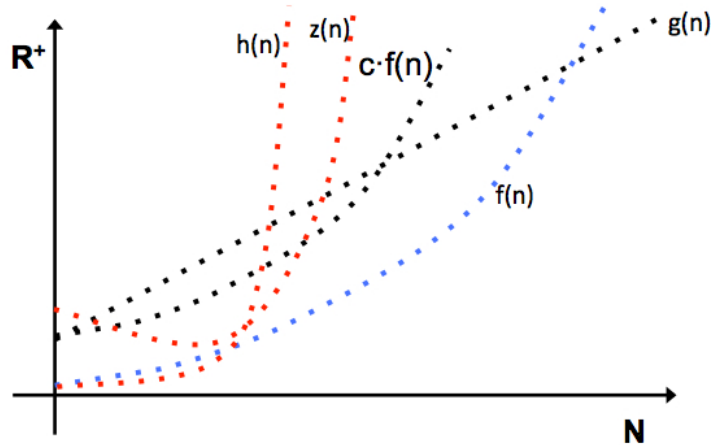
Un algoritmo es un método que se implementa en un dispositivo para resolver determinados problemas. Una vez que se dispone de un algoritmo, se definen criterios para medir su rendimiento. Estos criterios se centran en la simplicidad y en el uso eficiente de los recursos. Respecto al uso eficiente de los recursos, éste suele medirse en función de dos parámetros: la memoria que utiliza el algoritmo y lo que tarda en ejecutarse. Ambos representan los costos que supone encontrar la solución al problema mediante un algoritmo. Dichos parámetros van a servir además para comparar algoritmos entre sí, permitiendo determinar el más adecuado.

El tiempo de ejecución ( $T$ ) de un algoritmo va a depender del número de operaciones elementales que realiza (operaciones aritméticas básicas, asignaciones a variables, comparaciones lógicas, etc) para un tamaño de entrada dado ( $n$ ). El tamaño de entrada es el número de componentes sobre los que se va a ejecutar el algoritmo (por ejemplo, número de componentes de un vector, tamaño de matrices, etc.). Una vez que se tiene  $T$ , se puede utilizar la siguiente clase de funciones para comparar la eficiencia de algoritmos: dada  $f : \mathbb{N} \rightarrow [0, \infty)$ , el conjunto de funciones de orden  $O$  (Omicron) de  $f$  es:

$$O(f) = \{g : \mathbb{N} \rightarrow [0, \infty) : \text{existen } c > 0 \text{ y } n_0 \in \mathbb{N} \text{ tales que } g(n) \leq cf(n) \text{ para todo } n \geq n_0\}.$$

En lenguaje de algoritmos y estructura de datos, la notación  $O(f)$  se llama orden de complejidad de  $f$ .

1. Considere el siguiente gráfico:



- a) Indique en la figura un  $n_0 \in \mathbb{N}$  tal que  $g(n) \leq c f(n)$  para todo  $n \geq n_0$ .
  - b) ¿Las funciones  $h$  y  $z$  pertenecen a  $O(f)$ ? Justifique.
2. Pruebe las siguientes propiedades de  $O$ :
- a) Si  $f \in O(g)$ , entonces  $O(f) \subset O(g)$ .
  - b) Si  $f \in O(g)$  y  $g \in O(h)$ , entonces  $f \in O(h)$ .

La siguiente ecuación recurrente representa un caso típico del tiempo de ejecución de un algoritmo recursivo:

$$T(n) = \begin{cases} 2n^k, & \text{si } 1 \leq n \leq 2 \\ T(n-2) + 2n^k, & \text{si } n > 2 \end{cases}$$

donde  $k$  es un número natural fijo y  $n = 1, 2, \dots$

3. ¿Por qué se dice que  $T$  representa un algoritmo recursivo?
4. Pruebe que  $T(n) = O(n^{k+1})$ . Para ello, encuentre una expresión de  $T(n)$  aplicando el siguiente procedimiento (su expresión de  $T(n)$  va a quedar en términos de constantes  $C_i$  y  $D_i$  que no es necesario determinar para resolver el problema):

En general, si:

$$a_0 T(n) + a_1 T(n-1) + a_2 T(n-2) = b^n P(n),$$

donde  $P(n)$  es un polinomio de grado  $d$ , entonces primero se encuentran las soluciones  $r_1$  y  $r_2$  de la ecuación:

$$a_0 x^2 + a_1 x + a_2 = 0.$$

Si  $r_1$  y  $r_2$  son reales, distintas y además  $r_1 \neq b$  y  $r_2 \neq b$ , entonces:

$$T(n) = C_1 r_1^n + C_2 r_2^n + D_0 b^n + D_1 n b^n + \dots + D_d n^d b^n.$$

Si  $r_1$  y  $r_2$  son reales y distintas pero alguna de las dos raíces (por ejemplo  $r_2$ ) es igual a  $b$ , entonces:

$$T(n) = C_1 r_1^n + D_0 b^n + D_1 n b^n + \dots + D_d n^d b^n + D_{d+1} n^{d+1} b^n.$$

Las constantes  $C_i$  y  $D_i$  se determinan en base a los primeros valores de  $T(n)$ .

Finalmente, tenga en cuenta la definición del conjunto  $O$  para probar que  $T(n) = O(n^{k+1})$ .

5. Utilizando el procedimiento del ejercicio anterior, compruebe que el algoritmo:

$$T(n) = \begin{cases} 2n^k, & \text{si } 1 \leq n \leq 2 \\ \frac{1}{2}T(n-2) + 2n^k, & \text{si } n > 2 \end{cases}$$

satisface  $T(n) = O(n^k)$ .

### Referencia

-Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R. y Stein, C. *Introduction to algorithms*, 2009. MIT Press, 3ra edición.

## Situación 13: Inspección en línea de ensamble



FIGURA 24. Línea de ensamble

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación matemática
- ◇ Sucesiones, series numéricas y criterios de convergencia
- ◇ Series de Taylor

Como ingeniero que aplica control estadístico de calidad a una operación industrial, usted inspecciona artículos que toma al azar de la línea de ensamble y los clasifica como 'defectuoso' o 'no defectuoso'. Si la probabilidad de que un artículo sea no defectuoso es  $p$  y de que sea defectuoso es  $q = 1 - p$ , la probabilidad de que el primer artículo defectuoso sea encontrado en el  $n$ -ésimo artículo inspeccionado es  $p^{n-1}q$ . Además, el número promedio de artículos inspeccionados hasta (e incluyendo) el primero defectuoso es

$$\sum_{n=1}^{\infty} np^{n-1}q.$$

Suponga  $0 < p < 1$ .

1. Demuestre que la serie  $\sum_{n=1}^{\infty} np^{n-1}q$  converge.
2. Utilice el desarrollo en serie de Taylor centrado en 0 de la función:

$$f(x) = 1/(1 - x)^2$$

para calcular el valor de  $\sum_{n=1}^{\infty} np^{n-1}q$ .

3. Si en una línea de ensamble se obtienen, en promedio, 100 artículos no defectuosos hasta obtener el primero defectuoso (no incluido en los 100), ¿cuál es la probabilidad de que un artículo sea defectuoso?

4. Si se sabe que la probabilidad de encontrar un artículo defectuoso está comprendida en el intervalo  $[0, 2; 0, 4]$ , ¿cuál es el número promedio máximo de artículos inspeccionados hasta (e incluyendo) el primero defectuoso?

**Referencia**

-Thomas, G. *Cálculo, una variable*, 2010. PEARSON, 12a edición.



## Situación 14: Integración numérica



FIGURA 25. Represa

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación Matemática
- ◇ Continuidad
- ◇ Integral definida
- ◇ Órdenes de magnitud
- ◇ Longitud de curva

En ocasiones se presentan en las aplicaciones integrales de funciones que no poseen antiderivada con una expresión sencilla. En tales casos es útil resolver la integral numéricamente.

El **Método de Trapecios Simple** (Figura 26), que verá con detalle en la asignatura Cálculo Numérico y Computación, propone aproximar la integral de  $f$  sobre el intervalo  $[x_0, x_1]$  de longitud  $h = x_1 - x_0$  de la siguiente manera:

$$I = \int_{x_0}^{x_1} f(x) dx = \frac{h}{2}(f(x_0) + f(x_1)) + \left(-\frac{1}{12}\right)h^3 f''(\theta),$$

donde se aproxima el valor exacto de la integral  $I$  por el valor aproximado  $I_T$ :

$$I \approx I_T := \frac{h}{2}(f(x_0) + f(x_1)),$$

y el error que se comete es  $Error = \left(-\frac{1}{12}\right)h^3 f''(\theta)$ , donde  $\theta$  es cierto valor que cumple  $\theta \in (x_0, x_1)$ .

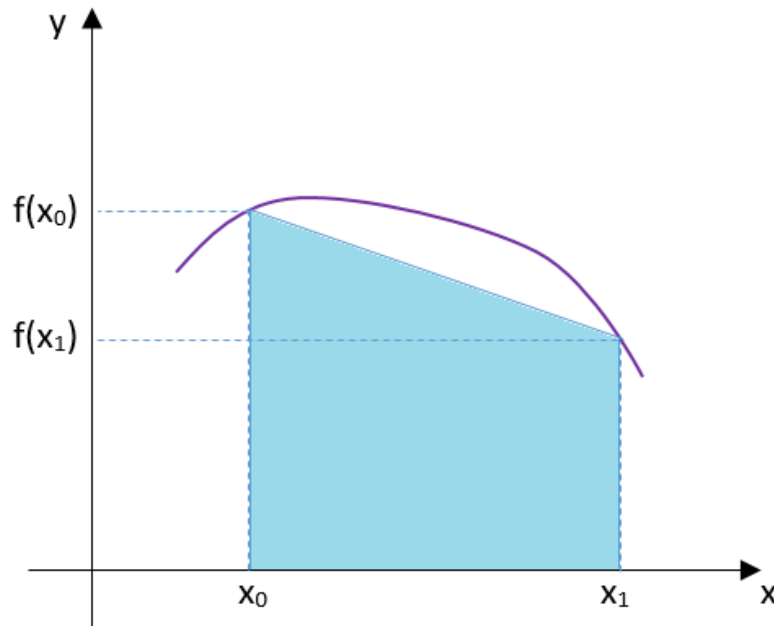


FIGURA 26. Regla de Trapecios Simple

- Interprete geoméricamente el valor  $I_T = \frac{h}{2}(f(x_0) + f(x_1))$ .
- Dé dos ejemplos de integrales definidas: uno en el que  $I_T$  aproxime a  $I$  por exceso y otro, donde la aproximación sea por defecto. Analice en cada uno de ellos el signo del término de error de la fórmula,  $(-\frac{1}{12})h^3 f''(\theta)$ .
- ¿Para qué tipo de funciones se puede asegurar que el error al aproximar  $I$  por  $I_T$  será nulo?

### Método de Trapecios Compuesto

Para resolver

$$I = \int_{x_0}^{x_1} f(x) dx \quad (13)$$

numéricamente, el **método de trapecios compuesto** propone subdividir el intervalo de integración en  $n$  subintervalos  $[x_0, x_0 + h]$ ,  $[x_0 + h, x_0 + 2h]$ , ...,  $[x_0 + (n - 1)h, x_0 + nh]^3$ , donde

$$x_0 + nh = x_1, \quad (14)$$

<sup>3</sup>La longitud de estos intervalos no necesita ser la misma, pero lo planteamos así por simplicidad.

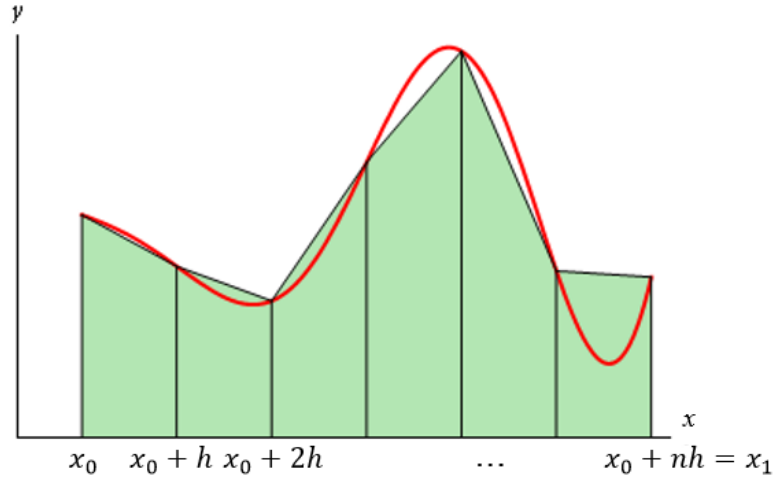


FIGURA 27. Regla de Trapecios Compuesta

y aproximar el valor de la integral (13) por la suma de las áreas de los *trapezios rectángulos* cuyas bases (ubicadas verticalmente) tienen longitudes  $f(x_0), f(x_0 + h), \dots, f(x_0 + (n - 1)h)$  y  $f(x_0 + nh)$ , y sus alturas (ubicadas horizontalmente) tienen todas ellas longitudes  $h$  (Figura 27).

Así, se aproxima el valor de  $I$  en (13) por el de  $I_{TC}$  dado por

$$I_{TC} = \frac{f(x_0) + f(x_0 + h)}{2}h + \frac{f(x_0 + h) + f(x_0 + 2h)}{2}h + \dots \quad (15)$$

$$+ \frac{f(x_0 + (n - 2)h) + f(x_0 + (n - 1)h)}{2}h + \frac{f(x_0 + (n - 1)h) + f(x_0 + nh)}{2}h \quad (16)$$

- d) A partir de la expresión (15), utilizando la notación sigma, halle una fórmula para hallar el valor  $I_{TC}$ .

Debe notarse que no se atraviesa ningún proceso de límite, sino que sólo se hace el cálculo aproximado. Al hacer esta aproximación, se comete un error, que se puede medir.

Igual que en el caso de la regla de trapezios simple, se puede probar que el error admite una expresión en términos de un punto  $\xi$  interior al intervalo  $(x_0, x_1)$  y del paso  $h$  elegido. Para hallar esta expresión, realice los siguientes pasos:

- e) Sume los  $n$  errores provenientes de aplicar la regla de Trapezios Simple  $n$  veces, una vez en cada intervalo  $[x_0 + (i - 1)h, x_0 + ih]$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Observe que cada uno de estos errores contiene en su expresión un valor  $\theta_i \in (x_0 + (i - 1)h, x_0 + ih)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .
- f) Justifique, indicando las condiciones que debe cumplir  $f''$ , que

$$\frac{1}{n} (f''(\theta_1) + f''(\theta_2) + \dots + f''(\theta_n))$$

es un valor que cumple

$$\min_{[x_0, x_1]} f''(x) \leq \frac{1}{n} (f''(\theta_1) + f''(\theta_2) + \dots + f''(\theta_n)) \leq \max_{[x_0, x_1]} f''(x).$$

- g) Justifique, indicando las condiciones que debe cumplir  $f''$ , que existe un valor  $\xi$  entre  $x_0$  y  $x_1$  tal que

$$f''(\xi) = \frac{1}{n} (f''(\theta_1) + f''(\theta_2) + \dots + f''(\theta_n)). \quad (17)$$

- h) En la expresión que Ud. ha obtenido para el error en (c), haga sustituciones a partir de (17) y de (14), de manera de eliminar el factor  $\frac{1}{n}$  en el error y así obtener una expresión que permita hallar el orden del error.
- i) ¿Qué condiciones deben cumplirse para que este error sea un  $O(h^2)$ ?
- j) Finalmente, sin calcular el valor exacto de  $I$ , halle un valor  $h$  tal que el error al aplicar la fórmula que usted desarrolló en el ítem (d), para calcular la integral de la función  $f(x) = 3 - x^2$  entre  $x = 0$  y  $x = 1$ , no supere el 0.01 %, es decir, para que

$$\left| \frac{I - I_{TC}}{I_{TC}} \right| \leq 10^{-4}.$$

### Aplicación: longitud del borde de una represa

- k) El borde de una represa (ver Figura 25) es el arco de la elipse de ecuación

$$\frac{x^2}{400^2} + \frac{y^2}{100^2} = 1$$

para el cual  $-100 \leq x \leq 100$ , donde  $x$  e  $y$  se miden en metros. Se debe comprar materiales (en metros), en función de la longitud del arco. Haga una recomendación de cuántos metros de material se debe comprar en este caso, usando para ello un paso  $h = 25\text{m}$ , y gráficos de la función que debe integrar junto con los trapecios correspondientes al método (puede trabajar, por ejemplo, con Wolfram Alpha).

## Situación 15: Cuando un martillo y una pluma viajaron a la Luna



FIGURA 28. Ilustración del comandante David Scott soltando una pluma y un martillo en la superficie lunar.

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación Matemática
- ◇ Integrales indefinidas
- ◇ Derivadas
- ◇ Problemas de valor inicial
- ◇ Cálculo de asíntotas
- ◇ Análisis y gráfica de funciones

En 1971, el comandante David Scott, durante la misión Apolo 15 en la superficie lunar, grabó un experimento en el que dejó caer, de una misma altura, un martillo de 1,32 kilogramos y una pluma de halcón de 30 gramos. Como era de esperarse, ambos objetos cayeron al suelo simultáneamente.

La experiencia fue en homenaje a Galileo Galilei quien, tres siglos antes, había postulado que, en ausencia de la resistencia del aire, los objetos caen al mismo tiempo, independientemente de su peso. Este postulado, no fue aceptado fácilmente en su época, entre otras cosas, por la dificultad de crear condiciones de vacío.

En el informe de la misión, Scott explicó, en tono de humor, que haber observado la comprobación era algo “tranquilizador” dado que el viaje de regreso estaba basado en la validez de esta teoría.

Con las herramientas de Análisis Matemático I y las Leyes de Newton, es posible verificar este postulado de Galileo Galilei, sin necesidad de viajes espaciales.

En primer lugar, suponga que un objeto de masa  $m$  con velocidad inicial  $v_0$  se deja caer bajo la influencia de la gravedad en la superficie terrestre. En este caso, hay dos fuerzas que actúan de forma opuesta sobre el objeto:

- ◊ la fuerza gravitatoria, dada por la expresión  $F_1 = mg$ , donde  $g$  es la aceleración debida a la gravedad;
- ◊ la fuerza causada por la resistencia del aire que es proporcional a la velocidad  $v$  del objeto y está dada por  $F_2 = -bv(t)$ , donde  $b$  es una constante positiva.

Por lo tanto, la fuerza neta sobre el objeto es:

$$F_1 + F_2 = mg - bv(t) \quad (18)$$

Teniendo en cuenta la segunda Ley de Newton ( $\sum_i F_i = m \frac{dv}{dt}$ ), se tiene que:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - bv \quad (19)$$

y la solución de esta ecuación diferencial (que aprenderá a resolver en Análisis Matemático II) es:

$$v(t) = \frac{mg}{b} + \left( v_0 - \frac{mg}{b} \right) e^{-bt/m} \quad (20)$$

que describe la velocidad del objeto en función del tiempo.

1. Verifique que la función (20) es efectivamente la solución de la Ec. (19) y determine la condición inicial.
2. Usando la información dada, obtenga ecuaciones para la posición  $x(t)$  y la aceleración  $a(t)$  del objeto en función del tiempo.
3. Determine analíticamente las asíntotas de  $v(t)$ .
4. Grafique  $v(t)$  y  $a(t)$  en función del tiempo.
5. Con los cálculos hechos, ¿puede saber cuál es la velocidad terminal (cuando  $t$  tiende a infinito) del objeto?, ¿cómo influye en ella la velocidad inicial?
6. Finalmente, determine si en presencia de fricción, los objetos más pesados caen o no más rápido que los livianos. Justifique la respuesta cuando  $t$  tiende a infinito y luego, usando herramientas de Análisis, generalícela para todo tiempo  $t$ .

Suponga ahora que el objeto de masa  $m$  se deja caer en la superficie lunar donde no hay resistencia del aire.

1. Reescriba la Ec. (19) para este caso y obtenga una expresión para la velocidad.
2. Grafique  $v(t)$  y  $a(t)$  en función del tiempo.
3. Determine si en ausencia de fricción los objetos realmente caen con la misma velocidad, independientemente de su masa.

## Situación 16: Eficiencia de un motor



FIGURA 29. Representación de un motor.

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación Matemática
- ◇ Integrales definidas y Teorema Fundamental del Cálculo
- ◇ Método de sustitución
- ◇ Límites
- ◇ Valores extremos de funciones

Un motor de combustión interna se usa para generar electricidad de emergencia de un hospital que sufre frecuentes cortes de energía. Sin embargo, se desconoce la eficiencia del motor. Una forma de estimarla, es modelar el ciclo del motor a través de un ciclo de Otto como el que se muestra en la Fig. 30.

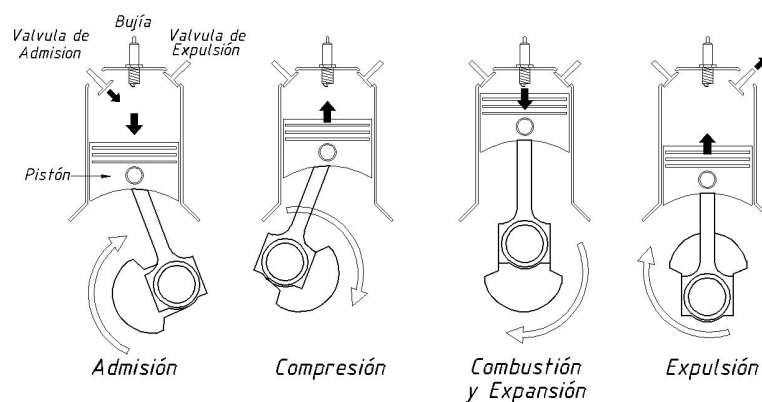


FIGURA 30. Ilustración del ciclo de cuatro tiempos de un motor de Otto.



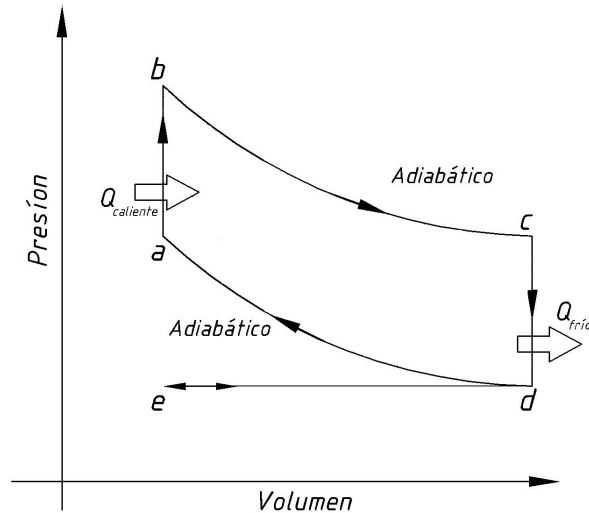


FIGURA 31. Diagrama presión (P)- volumen (V) con las distintas etapas del ciclo de Otto.

El ciclo de Otto consta de cuatro etapas:

- ◇ Etapa de admisión: La válvula de admisión se abre conforme el pistón se mueve hacia abajo, introduciendo una mezcla de combustible y aire en el cilindro. En el diagrama presión (P)-volumen (V) de la Fig. 31, es el tramo  $e \rightarrow d$  que se supone que tiene lugar a presión constante.
- ◇ Etapa de compresión: La válvula de admisión se cierra y la mezcla se comprime conforme el pistón se mueve hacia arriba. Es el tramo  $d \rightarrow a$  en la Fig. 31. La compresión ocurre tan rápidamente que no hay tiempo para que haya transferencia de calor entre el cilindro y el medio por lo que es un proceso adiabático (sin intercambio de calor).
- ◇ Etapa de combustión y expansión: Cuando el pistón ha alcanzado el punto más alto, la mezcla aire-combustible se inflama mediante una bujía y el rápido calentamiento que resulta del proceso de combustión hace que aumente la presión y el gas se expanda, empujando el pistón hacia abajo. La inflamación de la mezcla tiene lugar en  $a$  y el rápido aumento de presión ocurre prácticamente a volumen constante (tramo  $a \rightarrow b$ ). El pistonazo se modela como una expansión adiabática  $b \rightarrow c$ .
- ◇ Etapa de expulsión: Los productos de la combustión son forzados a salir del cilindro por un movimiento hacia arriba del pistón conforme se abre la válvula de expulsión. Esta etapa ocurre en dos fases, cuando el pistón está en su punto más bajo el volumen permanece constante y es el tramo  $c \rightarrow d$ . Cuando el pistón empuja el gas remanente hacia arriba se sigue la línea  $d \rightarrow e$  y el ciclo se cierra para comenzar de nuevo.

La eficiencia ( $\epsilon$ ) del ciclo se define como “lo que se obtiene” dividido “lo que cuesta obtenerlo”. En este caso, lo que se obtiene es el trabajo neto útil ( $W$ ) y lo que cuesta obtenerlo es el calor que se introduce por la combustión ( $Q_{caliente}$ ), es decir:

$$\epsilon = \frac{|W|}{|Q_{caliente}|} \quad (21)$$

Por lo tanto, para evaluar la eficiencia del motor, es necesario obtener expresiones para el trabajo neto del ciclo y el calor suministrado.

1. Calcule el trabajo neto del ciclo teniendo en cuenta que si el volumen más pequeño es  $V_i$  y el más grande es  $V_j$ , el trabajo de expansión se estima como:

$$W = - \int_{V_i}^{V_j} P(V)dV \quad (22)$$

Por el contrario, si el trabajo es compresivo se estima como:

$$W = \int_{V_i}^{V_j} P(V)dV \quad (23)$$

¿Se realiza trabajo en todas las etapas del ciclo? Interprete geoméricamente el trabajo neto en el ciclo de la Fig. 31.

2. Aplicando el Teorema fundamental del Cálculo, determine la derivada del trabajo con respecto a la temperatura ( $V(T)$ ):

$$W(V(T)) = \int_{V_i}^V P(V^*)dV^* \quad (24)$$

Luego, reescriba el trabajo neto obtenido en términos de  $T$ . Para ello tenga en cuenta que en los tramos adiabáticos (donde  $Q=0$ ) se cumple que  $dW/dT = C_V(T)$ , donde  $C_V$  es el calor específico.

3. Por otro lado, se sabe que el calor que se introduce por la combustión está dado por las temperaturas en los puntos  $a$  y  $b$  del ciclo por la forma:

$$Q_{caliente} = \int_{T_a}^{T_b} C_V(T)dT \quad (25)$$

Usando esta expresión y el trabajo neto obtenido, de una ecuación para la eficiencia del motor en términos de  $T$  y resuelva la integral suponiendo a  $C_V$  constante.

4. De relaciones termodinámicas se puede probar que las temperaturas y volúmenes de los segmentos adiabáticos están relacionados de la siguiente manera:

$$T_i V_i^{\gamma-1} = T_j V_j^{\gamma-1} \quad (26)$$

donde  $\gamma$  es una constante. Usando esta igualdad, pruebe que el rendimiento del motor puede escribirse como:

$$\epsilon = 1 - \frac{T_d}{T_a} \quad (27)$$

Posteriormente, analice e interprete las situaciones en que  $T_a \rightarrow \infty$  y  $T_d \rightarrow 0$ .

5. La temperatura de la mezcla al inicio del golpe de compresión es  $T_d = 300K$ , ¿cuál es la eficiencia máxima que puede tener el motor del hospital si  $T_a$  toma valores entre  $400K$  y  $600K$ ?

## Situación 17: Ajuste iterativo de un equipo de fabricación aditiva

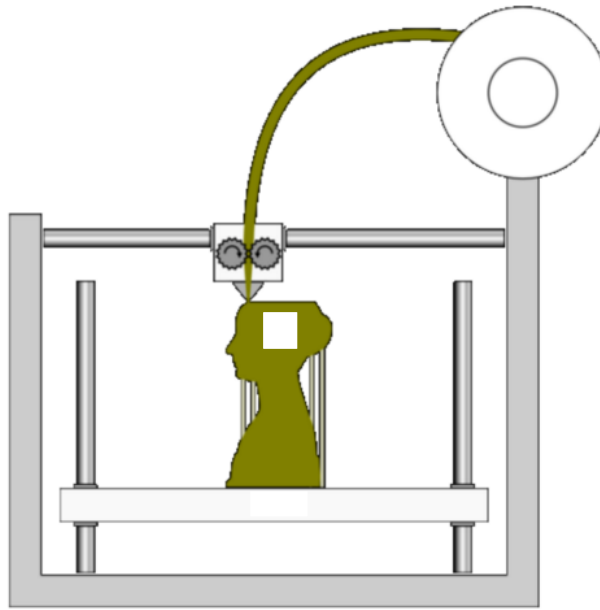


FIGURA 32. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D.

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación Matemática
- ◇ Sucesiones
- ◇ Series numéricas
- ◇ Análisis de funciones

Tres técnicos están poniendo a punto una nueva impresora 3D. Entre los parámetros que deben configurarse, se encuentra uno llamado compensación de flujo  $c$ . Este es un multiplicador que permite que el extrusor de la impresora aplique más volumen de material del que teóricamente debería (si  $c > 1$ ) o menos (si  $c < 1$ ). Idealmente, para que el volumen extruido  $V$  sea igual al objetivo buscado  $V^*$ , debería ajustarse  $c = 1$ .

Sin embargo, en la práctica existen incertidumbres, como el diámetro del filamento y resbalamiento en las ruedas del extrusor, que hacen que el valor de  $c$  necesario para que  $V = V^*$  sea algún número en el intervalo  $[0,5; 1,5]$ . Por ejemplo, si las ruedas no resbalan, y el diámetro del filamento es mayor a lo esperado, el extrusor aportará material de más, lo cual puede compensarse fijando un valor para  $c$  un poco menor a 1. Por el contrario, el resbalamiento de la rueda puede compensarse con un valor de  $c$  un poco mayor que 1. Lo

que se sabe es que  $V = f(c)$ , donde puede suponer que  $f$  es una función lineal que pasa por el origen con pendiente  $\alpha$ :  $f(c) = \alpha \cdot c$ .

Los tres técnicos coinciden en que hay que hacer un ajuste iterativo por prueba-y-error. Esto es:

1. Fijar un valor arbitrario para  $c_0$  e imprimir una pieza, la cual tendrá un volumen  $V_0$ .
2. Calcular el error correspondiente  $e_0 = V_0 - V^*$ .
3. Con ese error calcular el valor de  $c$  para la próxima iteración, es decir  $c_1$ .
4. Repetir esto sucesivamente para  $V_n, c_n, e_n = V_n - V^*$  (recordar  $V_n = \alpha \cdot c_n$ ), hasta que  $e_n$  sea lo suficientemente pequeño.

El problema es que cada técnico da una propuesta diferente para calcular  $c_{n+1}$  (paso 3).

1. Técnico 1 (control bang-bang):

$$c_{n+1} = c_n + a_n$$

$$a_n = \begin{cases} \beta & e_n \leq 0 \\ -\beta & e_n > 0, \end{cases}$$

con

$$\beta > 0.$$

2. Técnico 2 (control proporcional):

$$c_{n+1} = Q - \beta e_n,$$

donde

$$\beta > 0, Q > 0.$$

3. Técnico 3 (control proporcional-acumulativo):

$$c_{n+1} = c_n + a_n,$$

donde

$$a_n = -\beta e_n$$

y

$$\beta > 0.$$

Su tarea como ingeniero consiste en informar a los técnicos sobre las ventajas y desventajas de cada una de las propuestas. Para esto, debe estudiar la convergencia del error para cada una de ellas, según los valores que pueda tomar  $\beta$ ; es decir, encontrar los casos en que la sucesión del error converge y diverge. En caso de que para alguna/s propuesta/s el error converja o pueda converger, debe calcular su límite suponiendo que  $f(c) = \alpha.c$ . Para calcular este límite, conviene encontrar primero una expresión cerrada para  $e_n$  en función de  $e_0$  (donde no aparezca el símbolo de sumatoria). Puede ser de utilidad ejemplificar numéricamente. Puede usar Excel o similar.

Finalmente, tome la propuesta del Técnico 1 y además elija una de las dos propuestas restantes para desarrollarlas.

### Guía para la resolución

#### 1. Técnico 1:

- a) Primero, diga en qué intervalo puede encontrarse  $\alpha$ .
- b) Escriba  $c_n$  utilizando la notación sigma para sumas.
- c) Determine una expresión para  $e_n$  en términos de  $c_0$ ,  $V^*$  y los  $a_k$ .
- d) Analice la convergencia de los  $e_n$  cuando  $n \rightarrow \infty$ .

#### 2. Técnico 2:

- a) Diga en qué intervalo puede encontrarse  $\alpha$ .
- b) Llame  $r$  al producto  $\alpha\beta$ .
- c) Llame  $E$  a  $\alpha Q - V^*$ .
- d) Escriba  $c_1$  y  $e_1$  en función de  $e_0$ .
- e) Escriba  $c_2$  en función de  $e_1$  y luego en función de  $e_0$ .
- f) Escriba  $e_2$  en función de  $c_2$  y luego en función de  $e_0$ .
- g) Escriba  $c_3$  en función de  $e_2$  y luego en función de  $e_0$ .
- h) Escriba  $e_3$  en función de  $c_3$  y luego en función de  $e_0$ .
- i) Analice el patrón y escriba una posible fórmula para  $e_n$  como función de  $e_0$ . Note que uno de los términos es el  $n$ -ésimo elemento de una sucesión de sumas parciales.
- j) (Opcional) Escriba  $e_{n+1}$  en función de  $e_n$ , y utilice la expresión para demostrar por inducción matemática que es cierta la fórmula planteada en el inciso anterior.
- k) Calcule el límite de  $e_n$ , cuando  $n \rightarrow \infty$ , para distintos valores de  $Q$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ .
- l) Proponga un rango para  $\beta$  en función del volumen objetivo que asegure la convergencia de  $e_n$ .

#### 3. Técnico 3:

- a) Diga en qué intervalo puede encontrarse  $\alpha$ .

- b) Llame  $r$  a  $1 - \alpha\beta$ .
- c) Escriba  $e_{n+1}$  en función de  $e_n$ .
- d) Escriba  $e_1$ ,  $e_2$  y  $e_3$  en función de  $e_0$  (recuerde que  $e_0 = \alpha c_0 - V^*$ ).
- e) Analice el patrón y escriba una fórmula para  $e_n$  como función de  $e_0$ .
- f) (Opcional) Demuestre por inducción matemática que dicha fórmula es cierta.
- g) Calcule el límite de  $e_n$ , cuando  $n \rightarrow \infty$ , para distintos valores de  $\alpha$  y  $\beta$ .
- h) Proponga un rango para  $\beta$  en función del volumen objetivo que asegure la convergencia de  $e_n$ .

## Situación 18: Tensión nominal del sistema eléctrico doméstico (en Argentina)



FIGURA 33. Operario eléctrico.

### Bloques temáticos implicados en el problema

- ◇ Modelación Matemática
- ◇ Análisis de funciones
- ◇ Límites
- ◇ Integrales trigonométricas

Solemos decir que nuestro sistema eléctrico tiene una tensión de 220 V. Sin embargo la tensión  $v(t)$  es en realidad una función del tiempo  $t$  según:

$$v(t) = 311,13 \operatorname{sen}(2\pi 50t). \quad (28)$$

Una explicación física de esto es que una tensión variable  $v(t)$  como la dada por la ecuación (28), al conectarse a una resistencia de valor  $R$  durante un tiempo  $T$  muy grande, produce la misma potencia media calórica que una tensión constante  $v(t) = 220$  bajo las mismas condiciones.

Históricamente, tiene sentido utilizar el número 220, pues en los inicios se usaba corriente continua (constante) o alterna (variable) según el lugar. Además, muchos aparatos eléctricos de aquella época (que llevaban la inscripción AC/DC) funcionaban con ambas corrientes y entregaban la misma potencia útil (calórica, lumínica o motriz).

Ahora que conoce la explicación física e histórica del hecho de usar el número 220, complémentelas con una explicación matemática.



### Pistas para el planteo

1. La potencia es una función del tiempo que puede calcularse como:

$$p(t) = \frac{v(t)^2}{R}.$$

2. La potencia media generada en un tiempo  $T$  por una potencia  $p(t)$  es:

$$p_M(T) = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt.$$

3. Si  $p(t)$  se repite periódicamente en el tiempo con un periodo  $P$ , la potencia media puede calcularse de manera más sencilla como:

$$p_M(T) \approx \frac{1}{P} \int_0^P p(t) dt, \quad (29)$$

con un error que tiende a 0 si  $T$  tiende a ser mucho más grande que  $P$ .

### Pistas para la solución

1. Verifique la igualdad entre la potencia media generada por una tensión constante  $v(t) = 220$  con aquella generada por una tensión variable  $v(t) = 311,13 \sin(2\pi 50t)$ , durante un tiempo  $T$  muy grande.
2. Grafique  $v(t)^2$  para reconocer el periodo  $P$  con el que se repite  $p(t)$ . Finalmente, compruebe (29) cuando  $T$  es mucho más grande que  $P$ .

## Situación 18: Cálculos en presas



FIGURA 34. Presa de Agua del Toro.

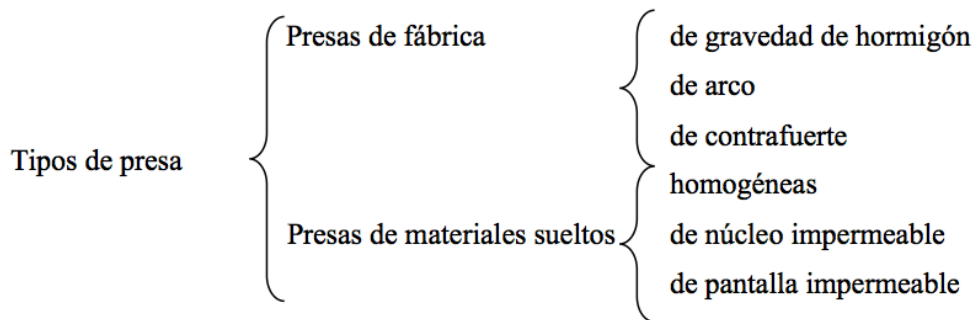
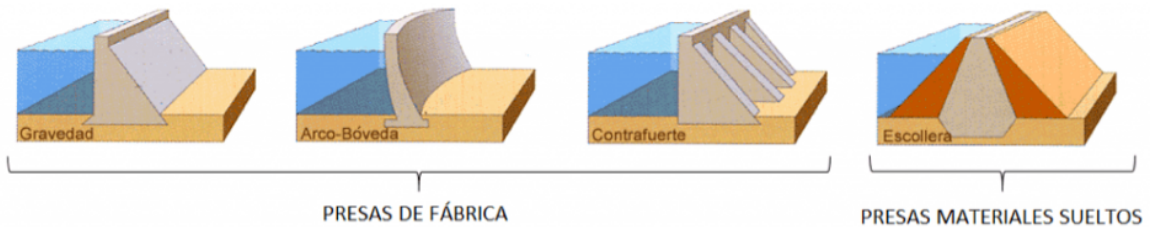
### Bloques tematicos implicados en el problema

- ◇ Modelación Matemática
- ◇ Análisis de funciones
- ◇ Integral definida
- ◇ Aplicaciones del Cálculo Integral a Áreas y Volúmenes
- ◇ Fuerza de fluidos sobre placas

En ingeniería se denomina presa o represa a una barrera fabricada de piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o arroyo. Tiene la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial con el objetivo de:

- ◇ Mantener la disponibilidad para consumo humano y/o riego.
- ◇ Generar energía hidroeléctrica: elevando el nivel del agua con el fin de convertir la energía potencial en cinética y luego en mecánica, al mover turbinas eléctricas.
- ◇ Contener aluviones y/o prevenir inundaciones, embalsando caudales excedentes y erogándolos en forma controlada.

**Tipos de presas**



Uno de los diseños empleados en la construcción de presas es la presa de arco. Suele utilizarse en cañones estrechos y se curva hacia el agua que contiene. La fuerza del agua presiona las paredes de la presa contra el cañón, de manera que la roca hace de soporte adicional para la estructura. Eso permite, ahorrar materiales en la construcción de la presa, por comparación con las de soporte vertical. Como dificultad, requieren gran capacidad resistente de los costados donde se apoya y que la sección transversal de esa sección del río debe cumplir con ciertas características geométricas, o de forma, cuanto más simétrica mejor.

En Mendoza contamos con un ejemplar de presa de arco y es la presa de Agua del Toro ubicada sobre el río Diamante (Fig. 34).

Una sección de una presa de arco típica sigue el modelo de la Figura a . Al girar esa sección en torno al eje y se forma la presa de arco. El número de grados que se gira y el ancho de la base varían de una a otra, dependiendo sobre todo de las variaciones que pueda sufrir el nivel del agua. Una posible configuración, con giro de 150° y radio de 150 pies medido a la base de la presa, se muestra en la Figura b:

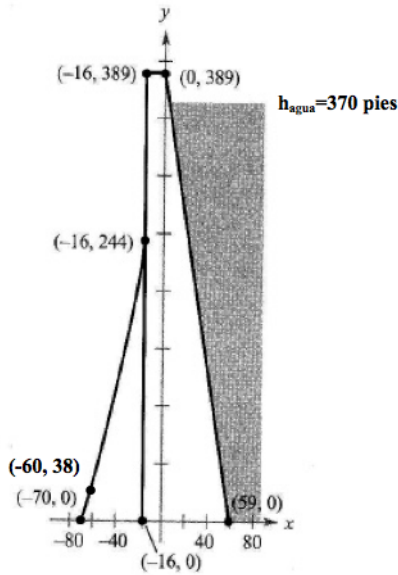


Figura a. Sección transversal tipo.

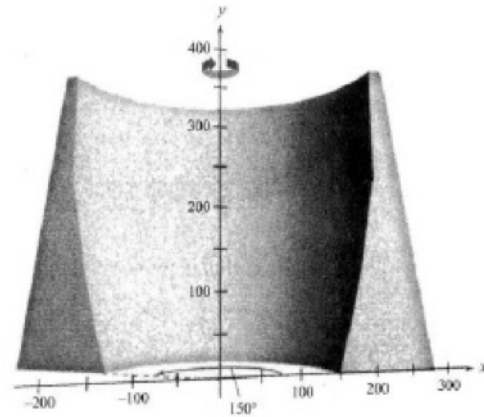


Figura b.

Para esta presa de arco:

1. Escriba la función por partes a la que responde el esquema de la figura a, sabiendo que en el intervalo de abscisas de -70 pies a -16 pies corresponde a un polinomio de segundo grado y de -16 pies a 60 pies todos los tramos están formado por polinomios de primer grado.
2. Calcule la cantidad de hormigón necesario para construir la presa.
3. Calcule el área de la superficie de la presa que está del lado del agua.
4. Estime la fuerza debida a la presión que ejerce el agua sobre una franja de 1m de ancho de la presa. En esa longitud se puede considerar la franja plana y no curva. Considere que el agua tiene un nivel de 370 pies. (rallado en la Figura c).

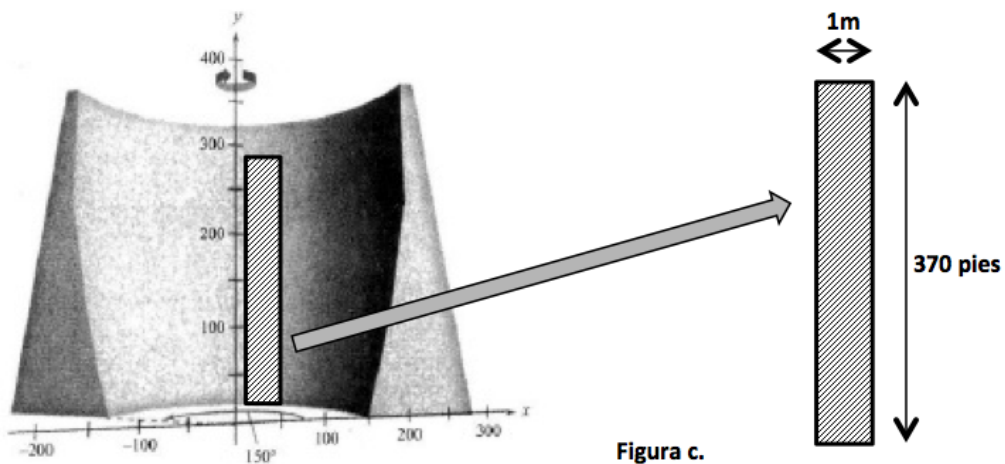


Figura c.

### Referencias

- [https://issuu.com/jr.econde/docs/proyectos\\_de\\_calculo\\_integral](https://issuu.com/jr.econde/docs/proyectos_de_calculo_integral)
- <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/>
- <https://www.argentina.gob.ar/orsep/registro-de-presas-fiscalizadas/regional-cuyo-centro/agua-del-toro>