

Introducción:

Los procesamientos que comprende la industria de los alimentos se pueden analizar como una serie de operaciones y procesos unitarios comunes en la generalidad de los casos.

Descomponiendo la manufactura de alimentos en las mencionadas operaciones y procesos que intervienen resulta una secuencia que generalmente comprende el tratamiento de:

- La Recepción de las Materias Primas
- El acondicionamiento para la producción industrial
- El control de los procesos químicos
- El control de las operaciones físicas
- El manejo de los productos

La división del procesamiento, según la naturaleza de los principios científico tecnológicos que los define, da lugar a las “Operaciones Unitarias” (OU) cuando considera aquellas en las que solo se producen transformaciones físicas.

El concepto fue desarrollado en el (M.I.T.)¹ por el Dr. Little², para su aplicación en ingeniería.

Esta definición ha reducido la complejidad teórica en las elaboraciones industriales que se pueden dominar.

¹ *Massachussets Institute of Technology*

² *PhD. John Dutton Conant Little; 1915; Operational research.*

Cada OU tiene como objetivo la modificación física de una determinada cantidad de materia o energía de manera conveniente a la manipulación que se pretende realizar; y se entienden que operan de la siguiente manera:

- Modificando su masa o composición
- Modificando el nivel o tipo de energía en la aplicación
- Modificando sus condiciones de movimiento

Estos son los cambios físicos que puede aplicarse en un procesamiento industrial. Frecuentemente se clasifican las OU en función de alguna de estas propiedades (materia, energía o cantidad de movimiento) que resulte más relevante en la operación que se refiere en:

- Transferencia de materia
- Transmisión de energía
- Transmisión simultánea de masa y energía
- Transporte de cantidad de movimiento

No resulta razonable considerar que se domina una elaboración industrial si se desconocen los principios científicos y tecnológicos que se han desarrollado para su comprensión, por ello el manejo de los conceptos fundamentales de las OU es una competencia imprescindible del profesional que se dedica a la tecnología de los alimentos de manera suficientemente responsable y cabal.

Las OU se estudian en profundidad en las ingenierías, pues brindan elementos imprescindibles para el cálculo y diseño de máquinas, equipos e instalaciones y se encuentran descriptas con maestría en la literatura de rigor por Perry & Chilton, y Mc Cabe & Smith en los manuales de consulta escritos en especial para los ingenieros.

El presente texto responde a la necesidad de un enfoque adaptado a las competencias requeridas en la comprensión de la tecnología utilizada en la fabricación de los alimentos y de su manipulación como productos y pretende ofrecer un material que se pueda digerir sin requerir el soporte de algunos sistemas complejos de formación, en carreras que están orientados hacia áreas del conocimiento dirigidas específicamente. Es un acercamiento reducido a un grupo de poderosas herramientas, cuidando de abarcar los requisitos conceptuales mínimos necesarios para su comprensión y manejo dentro del conjunto de competencias profesionales dedicadas a la tecnología de los alimentos desde las actividades de elaboración y control.

El conocimiento considerado está dispuesto de manera de presentar el vocabulario específico para abordar problemas pertinentes de cada operación incluyendo el desarrollo de los conceptos que se han apreciado como fundamentales para su comprensión desde la metodología científico tecnológica, desde un abordaje educativo evaluativo orientado a la enseñanza aprendizaje de vocabulario, conceptos y problemas.

El enfoque industrial y el modelo científico

Hasta no hace mucho tiempo, por los años 1800, las manufacturas solo eran producidas por individuos que habían desarrollado cierta pericia en la tarea en particular, que se reconocía como oficio, y se desarrollaban casi exclusivamente dentro de estrictas tutorías, en un, muchas veces, sombrío sistema de aprendices y maestros. Con el crecimiento de los centros poblacionales, los oficios³ edificaron, internamente en éstos, estructuras sociales que las definen en su modo de ser, en la manera que los pueblos tienen de ganarse la vida, y surgieron las industrias⁴. Evidentemente las artes, oficios y las industrias mismas, que todavía persisten en ocupar a hombres y mujeres en su modo de subsistencia, no provienen de la ciencia, y en multitud de casos son largamente anteriores a los conceptos que las explican modernamente. Así es conocida la historia de las conservas, donde el tecnólogo confitero (Nicolas Apert) es anterior al científico (Louis Pasteur) en el desarrollo de los alimentos no perecederos; sin embargo, por ahora, el método científico es públicamente considerado el más seguro para la observación, el análisis y la comprensión razonable de las situaciones que se presentan en las industrias, y en las aplicaciones tecnológicas, pero ha de analizarse que el mismo es

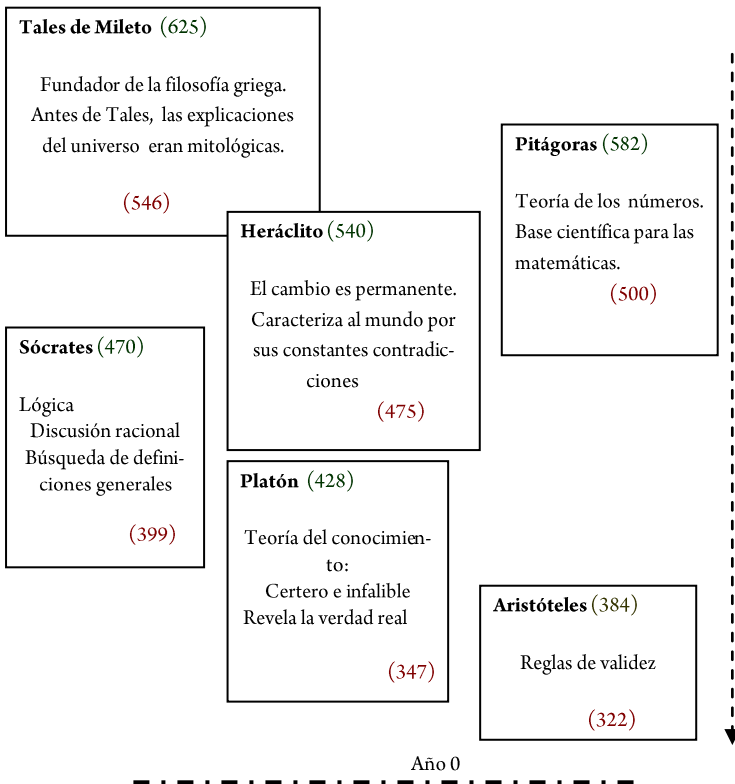
³ *Facio*, del latín, hacer.

⁴ *Intus siruere*, del latín, edificar por dentro.

asimismo una industria y todos sus componentes teóricos y prácticos varían en el tiempo.

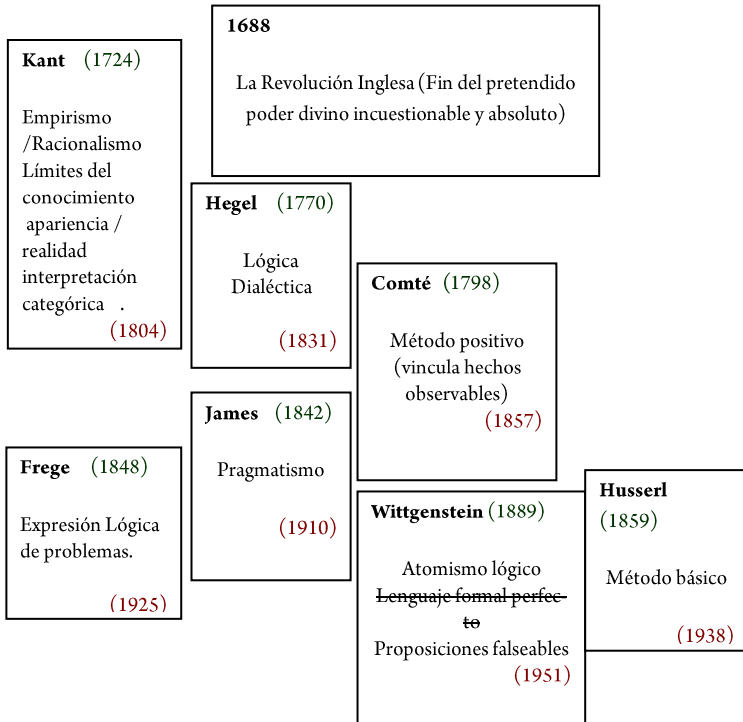
Esquema histórico (muy resumido) de la evolución del pensamiento que condujo al moderno método científico:

Antigua Escuela Griega



En el año 529, la autoridad religiosa canceló la academia de Platón en Atenas, las órdenes eclesiásticas reemplazaron la filosofía griega, y las

abadías y conventos tuvieron el protagonismo de la enseñanza. Durante la edad media los pueblos no convertidos cultivaron las ciencias. (Hoy seguimos utilizando los números arábigos, originarios de la India). En 1419 los Reyes Católicos y la Iglesia ejecutan “la empresa” del “Descubrimiento y Conquista” de América.



Quizá este fue un largo y penoso camino de más de dos mil años que condujo el razonamiento público desde la mística a la lógica (pasando por la oscuridad, y deteniéndose demasiado tiempo en ella)⁵.

⁵ De las omisiones de este esquema, quizá destaca la de Otto Guttenberg, un revolucionario que popularizó la lectura.

Elementos de lógica proposicional

Los estados en estudio pueden expresarse (como en el texto que se presenta) mediante proposiciones “falseables”.

Los “valores de verdad” de las proposiciones pueden verificarse lógicamente mediante las reglas de validez.

Entonces:

“La clase se comprende.”

Resulta una proposición que puede ser “falsa” o “verdadera”.

Si alguien comprende la clase verifica el valor de verdad de manera fáctica.

Los nuevos sistemas se estudian en relación a sistemas anteriores de los cuales se adoptan los axiomas cuyos valores de verdad se consideran probamente verdaderos.

Si se define que una determinada instrucción está formada por un concepto y un ejemplo.

Bien puede haberse comprendido el concepto o el ejemplo o ambos, pero el valor de verdad de la proposición anterior solo será verdadero cuando se hayan comprendido tanto el concepto como el ejemplo.

Podemos significar:

C: equivale a “La instrucción se comprende”;

A: equivale a “el concepto se comprende”

E: equivale a “el ejemplo se comprende”

V: es “verdadero”

F: es “falso”

Luego se expresa que: $A \wedge E \rightarrow C$

Algunas operaciones simples y son:

operación	símbolo
Conjunción	$\wedge$
Disyunción	$\vee$
Disyunción excluyente	∇
Condicional simple	$\rightarrow$
Doble condicional	$\leftrightarrow$

Sus reglas de validación son:

Asumiendo que A y B son proposiciones cuyos valores de verdad pueden ser V o F (falseables).

Para la conjunción $\wedge$ (y)

A	B	$A \wedge B$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	F

Para la disyunción $\vee$ (o)

A	B	$A \vee B$
V	V	V
V	F	V
F	V	V
F	F	F

Para la disyunción excluyente ($\veebar$)

A	B	$A \veebar B$
V	V	F
V	F	V
F	V	V
F	F	F

Para el condicional simple (entonces)

A	B	$A \rightarrow B$
V	V	V
V	F	F
F	V	V
F	F	V

Para el doble condicional (si, y solo si)

A	B	$A \leftrightarrow B$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	V

Luego la dicotomía simplificadora de falso – verdadero se puede complementar en los análisis que corresponda por combinaciones probabilísticas de estos valores.

Con aquellos (y otros) operadores se construyen los razonamientos lógicos que usamos frecuentemente aunque no distinguimos permanentemente los elementos que los componen (operadores y operaciones) desde un análisis estricto.

El razonamiento lógico conocido como silogismo hipotético:

$A \rightarrow B \wedge B \rightarrow C$ que concluye que si $A \rightarrow C$ es popular en las argumentaciones contemporáneas, pero observando la tabla de verdad correspondiente puede comprenderse la debilidad de un operador lógico (condicional) que evidencia resultar falso solo en una definida situación.

El razonamiento científico contemporáneo usa planteamientos lógicos de problemas para fines didácticos o demostraciones y absurdos, pero nunca lo ignora en una investigación.

Los principios de Aristóteles hoy siguen siendo válidos en el discurso científico:

Identidad: $A = A$

No contradicción: $\text{si } a=x \rightarrow a \neq x$

Tercero excluido: $A=X \wedge A \neq X$ siempre es Falso

Teoría de los Modelos:

Usando lenguaje lógico se puede describir los elementos de interés en un análisis científico y sus relaciones en un dominio definido formalmente de una aplicación estructurada.

Axioma de elección (AE)

Si X es un conjunto de conjuntos no vacíos. Siempre se puede elegir un solo elemento de cada conjunto de X .⁶

Identificada la función de elección f , definida para el conjunto X , tal que para todo conjunto $S \subseteq X$, $f(S) \in S$.

El AE se puede enunciar entonces de la siguiente manera:

AE: Para todo conjunto X de conjuntos no vacíos, existe una función de elección definida en X .

Lo que se puede formular como aseveración:

“Todo conjunto de conjuntos no vacíos tiene función de elección”.

También se puede formular su negación:

“No existe un conjunto de conjuntos no vacíos sin función de elección”.

⁶ Formulado en 1904 por Ernst Zermelo, Mat. Alemán (1851 – 1953)

La aseveración que plantea el AE es considerado implícitamente en la mayoría de las aplicaciones que definen sistemas de referencia, identificando elementos para construir modelos más simples y estudiar sus relaciones en los mismos, por ello se lo considera como axioma en los planteos analógicos.

Conexión de Galois⁷:

Sean A y B conjuntos ordenados

$$\forall (A; <) \wedge (B; <) \rightarrow \exists F_1: (A \rightarrow B) \wedge F_2: (B \rightarrow A)$$

$$\wedge \forall a \in A \wedge \forall b \in B : F_1(a) < b \Leftrightarrow a < F_2(b)$$

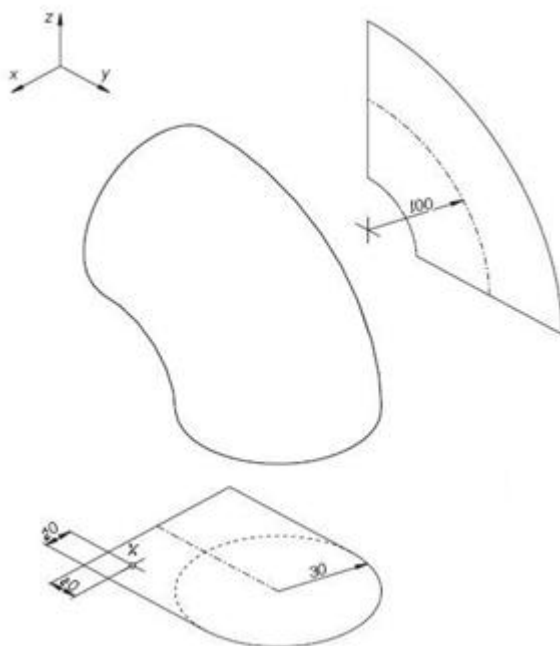
La conexión de Galois admite establecer una correspondencia particularizada entre dos conjuntos ordenados.

La condición suficiente para que un conjunto de afirmaciones lógicas de lugar a un modelo es que cada subconjunto finito del mismo posea también su modelo.

Así un modelo permite utilizar elementos del álgebra y de la lógica para estudiar las relaciones de las magnitudes relacionadas de un sistema estructurado como dominio, mediante la operación de sus aplicaciones correspondientes.

⁷ Évariste Galois, precoz matemático Francés (1811 – 1832)

Su potencia matemática (el teorema de Ruffini deriva de Galois) tiene especial aplicación en la geometría algebraica sobre campos de manera de constituirse como una sólida base para la construcción de modelos matemáticos y gráficos.



La correspondencia entre los elementos que integran conjuntos con relaciones biyectivas entre sí conforman isomorfismos que incluyen las operaciones aplicables. Así los modelos permiten estudiar las interacciones entre los componentes del sistema al cual están referidos.

El uso de analogías en la representación

Siendo A y B conjuntos y $\varphi : A \rightarrow B$ (una aplicación de A en B) A' será una “imagen” de A para la aplicación φ si:

$$\varphi_{(A')} = \{y/y \in B \wedge \exists x \in A: y = \varphi(x)\}$$

La consistencia de esta imagen en relación a la aplicación φ está dada por los valores de $\varphi_{(A')}$ que la conforman.

Un modelo de representación gráfica (o una representación gráfica) será verosímil cuando su imagen contenga suficientes elementos del conjunto definido por la ecuación anterior como para abarcar las relaciones de interés. Los elementos constitutivos incluidos en la selección que no cumplan con esta condición, en este trabajo, serán denominados “inertes” y pueden resultar útiles para la exposición del modelo en un aspecto estéticamente adecuado para su objetivo, pero demasiados elementos inertes pueden contribuir a interpretaciones indeseadas de las analogías en las que participan.

Según la profesora paulista Lucía Santaella “Un modelo es una versión derivada o representada de algo tomado del original; la nueva entidad se produce al imitar el original. El intento de representación puede ser abstracto (una fórmula matemática, un paradigma lingüístico de conjugación de un verbo) o concreto (un mapa, un modelo a escala de un barco, la representación física de la estructura del ADN)”.

El filósofo Alemán Emmanuel Kant escribió: “La representación sistémica de los principios del entendimiento está compuesta por un grupo axiomático de conocimientos previos de naturaleza extensiva, la percepción intensiva de la realidad del fenómeno, y la analogía de la experiencia”.

Algunos de los sistemas de representaciones gráficas más utilizadas en el aprendizaje científico tecnológico son:

El dibujo técnico (fundamentado en la geometría analítica) y potenciado por el uso de los sistemas asistidos por computadoras conocidos como CAD (Computer Aided Design).

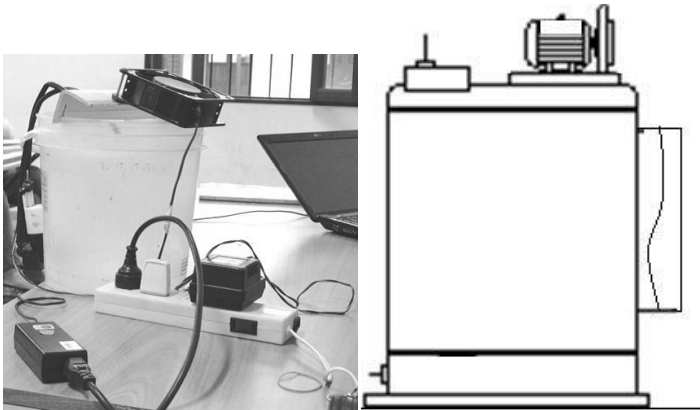
Los diagramas Cartesianos (atribuidos a Descartes, Boole y De Morgan) descriptos por Venn en su “Lógica simbólica”, de los cuales se cuenta con más de un centenar de subtipos, todos ellos con sus propias convenciones simbólicas.

Algunas manifestaciones del dibujo artístico, como croquis y bosquejos que tienen aplicaciones en el análisis de problemas tecnológicos, y que resultan prácticas y efectivas.

Se han desarrollado diversos estudios de los sistemas de representación gráfica (SRG) en sus diferentes tipos y usos aplicados en la docencia universitaria de disciplinas tecnológicas, empleando abordajes exploratorios cualitativos con la metodología del análisis de los libros de texto, en una muestra primeramente formada por 100 ejemplares de la biblioteca de

la UNCa, que resultan de uso popular y común en las universidades de habla hispana, luego ampliado con 100 ejemplares más de la biblioteca de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la misma Universidad, que implicaron el análisis de 41.510 imágenes que se identificaron en 131 conjuntos de representaciones gráficas utilizadas de manera sistémica o como SRG, de los cuales por lo menos 29 (el 22%) requieren el desarrollo de competencias especiales; también se identificaron más de 85 programas de computador de gran difusión que ofrecen capacidades para construir tales imágenes.

La potencia y practicidad de los SRG como herramienta didáctica plantea la necesidad de indagar sus límites de aplicación y resulta sumamente relevante la ausencia de una teoría general que comprenda los distintos tipos de representaciones gráficas (RG) utilizadas en la docencia universitaria.



Un modelo físico (torre de enfriamiento) y su representación gráfica

En un trabajo reciente se ha adoptado el concepto de error como el límite de utilidad en el uso de SRG en la enseñanza de asignaturas tecnológicas considerando las implicaciones señaladas en publicaciones de reconocidos docentes investigadores y su influencia sobre la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje y la motivación del estudiante.

Se puede distinguir que dentro de algunos tipos de representaciones gráficas se han conformado reconocidos sistemas, que aplicados a contenidos tecnológicos presentan operadores lógicos que potencian el valor de modelos analógicos hasta la posibilidad de la simulación de comportamientos.

Sería una grave omisión negar la abundante aplicación de los SRG en otros tipos de comunicaciones formativas con contenido tecnológico. Muchos son utilizados en la oferta y promoción de instalaciones, equipamientos y maquinaria, y generan objetos gráficos de gran complejidad, con capacidades de integración con otros sistemas, equipos y/o accesorios para presentaciones de simulación, con efectos de movimiento y bases de datos de contenidos técnicos, como características constructivas, materiales y texturas y operacionales, como grados de libertad y restricciones. Esto conlleva a percibir que actualmente ya es posible disponer de RG de los objetos actuales de las comunicaciones tecnológicas, y de diseños experimentales de prototipos también.

Considerando que existe una tendencia hacia la compatibilidad de los recursos informáticos, por acuerdos inter empresas o adquisición de desarrollos por las firmas líderes, no es irracional esperar que los programas que facilitan la construcción de las RG lleguen a acordar la afinidad de sus productos y que las RG se vean enriquecidas con el aporte de elementos representacionales con apariencias de gran realismo elaborados por los propios diseñadores de los objetos de las comunicaciones de contenido tecnológico. Esta ventajosa capacidad podría aprovecharse en la docencia universitaria de disciplinas tecnológicas utilizando las capacidades multimediales y los sistemas virtuales de enseñanza y aprendizaje, como las clases a distancia y los medios de auto aprendizaje, pero el docente y los estudiantes en su aula no pueden dejar de disponer de la RG simple, lógica y simbólica como recurso para exponer y explicar los cuestionamientos que de manera espontánea se presentan en las clases participativas. Este recurso sería, como lo es en la actualidad, de gran utilidad. Entonces los SRG comprenderían dos grandes grupos definidos y diferenciados, los producidos por los industriales y los elaborados por los participantes en un proceso de enseñanza aprendizaje, unos aplicados en la promoción y difusión de un objeto tecnológico y el otro constituido en un recurso didáctico. Esta situación resolvería el estado actual de aparente dispersión de los SRG en las comunicaciones de contenido tecnológico que se realizan en el ámbito de la docencia universitaria.

Operaciones continuas:

En la práctica de la operación a escala industrial el rendimiento económico promueve obtener el máximo provecho de las inversiones realizadas en activo fijo, por ello requiere la mayor ocupación posible de tales recursos, lo cual implica que el tiempo que se dedica a cada trabajo dure más y que las operaciones se realicen con la menor cantidad de interrupciones posibles. El caso ideal es operar todo el tiempo y sin interrupciones. Esta práctica requiere acondicionar las variables de entradas y salidas a enfoques conceptuales que permitan comprender una determinada situación sin la necesidad de detener el funcionamiento del sistema productivo. No es aceptable económicamente el reinicio para el control. Los balances de materia se realizan en referencia a las unidades de tiempo, y los de energía a unidades de masa o tiempo. Así se recurre a flujos expresados en kilos por hora, toneladas diarias, litros por minuto, o Kilowatios hora (en lugar de Julios).

Las unidades sufren también este condicionamiento y dentro de marcos acotados se permite comparar energías en metros, kilos [Kg/cm^2], [m^2/s^2] y otras configuraciones.

La escala modifica los métodos, y estos inciden en los rudimentos teóricos que requiere el estudio de los fenómenos implicados para los niveles industriales de operación.

Elementos de metrología

Cuantificar una cualidad de manera replicable y confiable ha sido uno de los problemas generatrices del desarrollo del abordamiento científico y tecnológico; distinguiéndose en su aproximación, desde lo teórico a lo práctico, las siguientes categorías:

DIMENSIONES: Son entidades físicas susceptibles a cuantificarse en magnitudes. (Ej. espacio, tiempo)

UNIDADES: Son cantidades definidas de manera inequívoca que se reconocen para cuantificar las dimensiones. (Ej. Metro, segundo, mol)

MAGNITUDES: Son cuantificaciones de las dimensiones que se expresan en términos de unidades. (Ej. longitud)

VARIABLES: Son representaciones de magnitudes en una expresión matemática o lógica. (Ej. “L”; “D”; “x”; “y”; “h”)

SISTEMA DE MEDIDAS: Son conjuntos definidos de unidades derivadas de un grupo axiomático considerado fundamental. (Ej. MKS, CGS, SI, Británico).

CONSISTENCIA: Cuando se expresan ecuaciones que relacionan dimensiones, ambos lados de la igualdad deben corresponder en términos de sus unidades. ($^{\circ}\text{F} \neq ^{\circ}\text{C}$)

Magnitudes fundamentales

Las magnitudes fundamentales son aquellas elegidas convencionalmente para, mediante su combinación, originar las magnitudes derivadas. Quizá, para la comprensión de algunas OU, las magnitudes fundamentales más importantes resulten la masa, la longitud y el tiempo pero esto puede cambiar según el caso que se trate cada estudio en particular, y el objetivo que se pretenda alcanzar.

Las unidades del SI para las magnitudes fundamentales:

magnitud	unidad	símbolo
masa	Kilogramo	kg
longitud	metro	m
tiempo	segundo	s
temperatura	Kelvin	K
Intensidad de corriente eléctrica	Ampere	A
cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

Algunas magnitudes derivadas:

variable	magnitud	unidad
v	velocidad	m/s
V	Volumen	m ³
δ	densidad	kg/m ³
a	aceleración	m/s ²
F	Fuerza	N • m/s ²
μ	viscosidad	kg•s ⁻¹ •m ⁻¹

Recordar que: μ : 1Poise = 1 [P] = 0,1 [Pa•s]

Principios básicos de medición

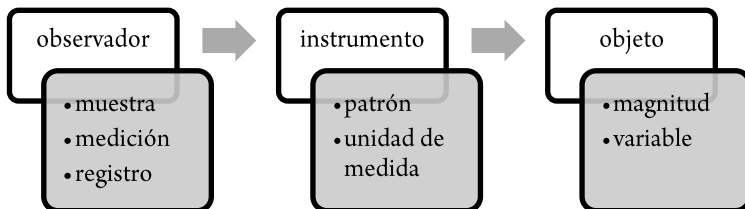
Desde los tiempos más remotos, el hombre desarrolla su conocimiento mediante igualdades, similitudes y diferencias, construyendo nuestra forma de conocer “por comparación”.

Medir es comparar con un patrón, en muchos casos incluido en el instrumento de medición, decir es igual a, es menor que y el mayor que; y es posible hacerlo mal.

La teoría genera conceptos a partir de la observación de las expresiones dimensionales de los fenómenos en sus magnitudes, y éstas están definidas por su propiedad de medibles.

Teoría de las mediciones

El modelo planteado en una medición está conformado por objeto en estudio, instrumento y operador.



Según el acceso al objeto en estudio podemos distinguir las mediciones en directas e indirectas.

Las medidas obtenidas pueden analizarse según su correspondencia con el valor verdadero en el objeto, las incertezas se pueden considerar sistémicas o casuales, un protocolo adecuado de medición puede reducir el riesgo de error hasta un grado aceptable y producir resultados confiables.

En consideración de las incertezas los textos científicos y tecnológicos generalmente expresan los valores obtenidos en mediciones como números complejos que incluyen la estimación de su error; por ejemplo: $9,8 \pm 0,1$.

La exactitud es la coincidencia de la medición y el valor observado; es un concepto que hace abstracción del método por el cual se llega a la valoración y solo tiene sentido práctico en relación con su aplicación, no es acertado decir que la altura de una persona es de 1,7721m ni que pesa 81,1113kg. Se denominan cifras significativas cuando se encuentran dentro de un marco razonable (para el ejemplo citado: la altura de esa persona es de 1.77m y su peso 81,1 kg).

La precisión está en función del instrumento que se utiliza y de su capacidad para reproducir el mismo resultado ante el mismo estímulo, la comprobación de esta cualidad constituye la validación del instrumento.

Es popular el ejemplo de que un reloj que no funciona puede mostrar, con exactitud, la hora dos veces por día.



Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA

La sensibilidad del instrumento constituye el límite de la exactitud que puede brindar en una medición y esta se corresponde con la menor división de su escala.

El uso de más de un instrumento y/o investigador para realizar la misma observación mejora la calidad de la medición.

Errores del observador

Los errores cometidos por el observador pueden minimizarse si se aplica el principio de Abbe que considera la mejor relación entre el instrumento y el objeto (para medir longitudes, la ubicación de mismo en la zona media, o en titulaciones, el ojo a la altura del menisco de la probeta).

La posición incorrecta entre el operador y la escala graduada del instrumento se conoce como error de paralelaje.

Cuando el fenómeno que se observa varía su magnitud de interés, el retraso en la obtención de la medición por las características propias del instrumento puede inducir una oscilación en el valor observado que incrementa su amplitud de forma exponencial, con el riesgo de la rotura del sistema de medición conocida como punto de Airy, que corresponde a la ecuación diferencial de Stokes:

$$\frac{d^2y}{dx^2} - xy = 0$$

Cuando se alcanza el punto de Airy se observa la violenta oscilación en la indicación del instrumento, la operación debe interrumpirse inmediatamente y puede ser recomenzada.

Errores del instrumento

Los instrumentos de medición son artefactos que permiten comparar una magnitud con una unidad que aplicable. En consideración de las leyes de la física se comprende que las magnitudes varían con las condiciones del medio en que se encuentra el objeto en estudio (T ; P ; $\mathcal{V}$).

Calibración

La relación entre un instrumento y el patrón de medida de la unidad en que expresa sus resultados comprende la calibración y el ajuste del instrumento.

Se considera calibración a la comprobación del instrumento mediante el valor medido del patrón, la falta de coincidencia hace necesario el ajuste que consiste en corregir el desvío.

Desvío

La diferencia entre el valor patrón y el observado en el instrumento determina el desvío, que puede deberse al desajuste de algún elemento sensible, al desgaste propio del uso o a la rotura de alguna de sus partes. Según el diagnóstico el equipo se ajustará, reparará o descartará, reemplazándolo si se puede.

Patrones

Dependen de la magnitud a medir y del sistema de medidas adoptado, algunos se refieren a fenómenos especificados en determinadas condiciones ambientales y otros son artefactos contruidos con especial exactitud. Así se sabe que el agua hierve a 100°C a presión atmosférica o se construyen pesas para graduar las balanzas. La calibración de equipos y los patrones de medida se encuentran normalizados bajo ISO 9000

Tratamiento de los errores

La estadística ha desarrollado una gran cantidad de herramientas aplicables al tratamiento de los errores (medias, medianas, promedios, desviaciones, varianzas) cuando se dispone de un número importante de mediciones (la estadística se considera la “ciencia de los grandes números”, y es efectivamente fiable con poblaciones de más de 3000 elementos).

“Muestra muy pequeña → error muestral muy grande”

Cuando se trata de mediciones únicas el aseguramiento de la calidad debe proceder según un enfoque sistémico que involucre la calidad del observador, del instrumento y un protocolo de trabajo que defina unívocamente el procedimiento que se respetará en la medición.

Instrumentos de medición

Los requisitos relativos a los equipos de inspección, medición y ensayo aplicados en trabajos científico tecnológicos están descritos en las Normas ISO 9000:

Control de la documentación.

Calibración.

Seguimiento de los equipos de medida.

Registros de formación del personal.

Planificación de contactos con los proveedores.

Los procedimientos obligatorios para seleccionar, utilizar, calibrar, controlar y mantener equipos de medida están contemplados en ISO 10012-1 que comprende estipulaciones de ISO 9001-9003 descriptas en UNE-EN 30012-1 (1994).

Cualidades en la calidad de los instrumentos:

Alcance (*span*): describe la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de la variable de entrada del instrumento. Algunos equipos pueden ser ajustados en su alcance según los requisitos de la señal y su rango es variable.

Desplazamiento (*bias, offset*): es un error sistémico que se produce sobre todo el rango de medida y que puede ser eliminado por medio del ajuste (ajuste de cero).

Exactitud (*accuracy*) representa la capacidad de un instrumento en su medición de aproximarse al verdadero valor de la magnitud medida.

Fidelidad (*precisión*): caracteriza la capacidad del instrumento de brindar el mismo resultado al medir varias veces un valor de magnitud en iguales condiciones.

Rango de medida (*range*): define los valores mínimo o límite inferior y máximo o límite superior de lectura para los cuales el equipo ha sido diseñado.

Sensibilidad (*sensitivity*): es la variación relativa de la salida del instrumento frente a un incremento en la cantidad medida, también se determina para evaluar las perturbaciones.

Tolerancia (*tolerance*): define el máximo error esperado en una medición, la que generalmente no es una característica estática en la mayoría de los instrumentos de medida.

La complejidad del artefacto también debiera considerarse como una cualidad importante en la oportunidad de su selección. Existen equipos que no se pueden transportar, los hay con elementos delicados y vulnerables a la rotura en las condiciones que se presentan durante la medición y también están aquellos que requieren de alto grado de capacitación para su operación.

Instrumentos para medir longitud (L)

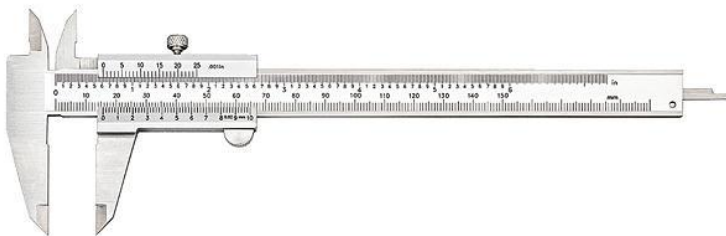
Estos instrumentos actualmente también se ofrecen en versiones digitalizadas que indican sus lecturas en un display.

Calibre

La palabra calidad, según el filósofo español Roque Barcia, proviene de la palabra cualidad. Escribió Barcia “por la cualidad se es y por la calidad se vale”, la palabra calibre tiene la misma raíz y éste instrumento está diseñado para medir la cualidad longitud, que para el caso de un producto definido se corresponde con su calidad.

Calibre pie de rey

Se denomina así porque su longitud originalmente era equivalente a un pie real, medida de longitud que varía según el país o la región desde 27 cm a 33 cm. Actualmente se fabrican de distintos tamaños y diversos materiales.



Su cuerpo central es una regla, generalmente graduada en unidades métricas e inglesas, rematada en una mandíbula solidaria que dispone de una patilla en su parte posterior que permite medir interiores. Una mandíbula móvil, también graduada, recorre libremente con detallada precisión el cuerpo de la regla; esta pieza lleva consigo una sonda para medir profundidades. El nonius o vernier es una pequeña escala impresa en la mandíbula móvil que permite la estimación de subdivisiones entre medidas. Así si el cero coincide con el quince, como en el gráfico, la medida será 15 mm, pero si el cero quedara en el espacio entre divisiones, se busca en el vernier cual de sus marcas coincide con el cero y este corresponde al valor en décimas de milímetro, por el ejemplo citado 15,3 mm.

Calibres de altura

Están diseñados para fiscalizar alturas en mesas de control de calidad comparando de forma precisa con un valor



Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA

Están conformados por una base pesada que le brinda cierta estabilidad, una regla graduada en unidades métricas e inglesas y una corredera con la indicación de su nivel de altura.

Micrómetros de interiores

Conocido como tornillo micrométrico, aprovecha los pequeños desplazamientos de una rosca muy fina para medir espesores con precisión de micrones. Están constituidos por una mordaza fija contra la que apoya un vástago operado de manera macro y micro desde un mango giratorio.



Por simple trigonometría el avance del filete inclinado de la rosca se traduce en el movimiento preciso que ofrece este instrumento.

Goniómetros

Este instrumento es un arreglo compuesto por una regla y un transportador de ángulos y se utiliza para medir estos últimos, y para comparar sus valores con un patrón.



Comparadores

Un vástago se desplaza con mucha precisión dentro de un cilindro, incidiendo sobre la aguja de un reloj que amplifica este movimiento y lo señala en la cuadrícula. El extremo de medición posee una esfera o sensor que presenta un punto único de contacto con la pieza a medir.

Los comparadores trabajan en una posición fija y la pieza a medir se coloca presionando sobre el sensor desde una posición de referencia preestablecida. La cuadrícula muestra una lectura compuesta macro y micro.

Espesímetros

Son similares a los comparadores, pero están limitados a la medición de espesores.



Alesámetros

También conocidos como comparadores de esfericidad están diseñados para medir desde una posición fija desviaciones en referencia a la punta del sensor. Se utiliza para controlar ajuste de cilindros y pistones en sistemas compresores.



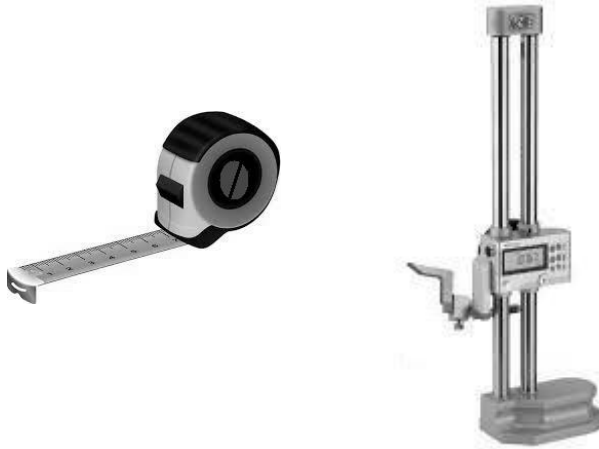
Flexómetros

Son cintas flexibles arregladas dentro de un contenedor que se utilizan popularmente para medir longitudes. Se las conoce como cintas métricas.

Micrómetro de altura

De diseño similar al de los calibres de altura, tiene por objetivo proporcionar precisión micrométrica en la medición de la altura de los objetos.

Trabajan apoyados sobre una mesa y un sistema de tornillo modifica la altura de un sensor colocado sobre dos guías que aseguran su estabilidad y su movimiento perfectamente perpendicular a la superficie de su base.



El equipo de la ilustración muestra la medición de manera digital, pero existen y son muy usadas las versiones mecánicas que cuentan con un sistema de vernier para la lectura.

Instrumentos para medir temperaturas (T)

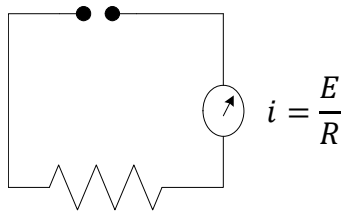
Recordando que las conversiones más comunes entre escalas (Absoluta; Celcius, Farenheit) son:

$$^{\circ}\text{K} = 273.15 + ^{\circ}\text{C} \quad ^{\circ}\text{C} = (5/9) * (^{\circ}\text{F} - 32) \quad ^{\circ}\text{F} = (9/5) * ^{\circ}\text{C} + 32$$

Aparte de los por supuesto conocidos termómetros de vidrio, en la industria es común el uso de sondas térmicas constituidas por termorresistencias de alambre, de película fina, semiconductores de germanio y silicio, y termocuplas o pirómetros ópticos cuando se trata de altas temperaturas.

Termo resistencias

En un circuito sencillo existe una relación entre la tensión suministrada y la corriente circulante que depende de la resistencia del sistema que se describe en la Ley de Ohm.



En la mayoría de las resistencias su valor varía con la temperatura, pero para los sensores se requiere gran estabilidad en la relación entre resistencia y temperatura al nivel de una función predecible y estable.

Las modernas resistencias de película fina (Pt 100; PTC; Pt500; Pt1000; NTC) satisfacen este requerimiento, son económicas y funcionan en un buen rango de temperaturas.



Termocuplas

Consisten en arreglos de pares bimetálicos (dos metales diferentes soldados entre ellos en un punto) que manifiestan una pequeña fuerza electromotriz cuando la junta es sometida a la acción del calor; luego esta f.e.m. es amplificada electrónicamente y su valor expresa temperatura.



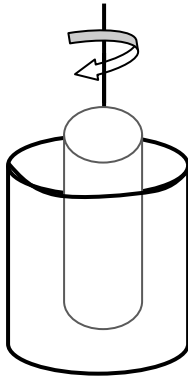
Pirómetros

Son sistemas que no requieren contacto con el sistema que miden, generalmente comparan colores de incandescencia de un material conocido con un patrón óptico o contrastándolo con otro conocido.



Instrumentos para medir viscosidad (μ)

Los viscosímetros del tipo *Grainger* calculan la viscosidad indirectamente determinando la velocidad de escurrimiento; en los controles industriales se utilizan sistemas que la miden directamente como esfuerzo cortante haciendo rotar un cuerpo dentro del fluido.



Recordar que:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dx}$$

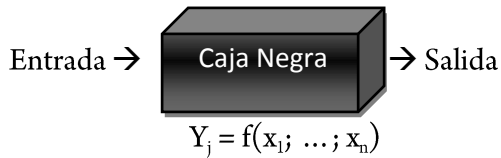
Donde: τ es el esfuerzo cortante y $\frac{dv}{dx}$ la velocidad de deformación.

$$\rightarrow \mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dx}} \quad \frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{\frac{m}{s}}{m}} \quad \frac{N \cdot s}{m^2} \text{ o Pa.s}$$

Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA

Análisis Dimensional

En ocasiones resulta conveniente comprender un procesamiento, desde el punto de vista de sus entradas y salidas, sin analizar con profundidad el equipamiento utilizado para operar tales transformaciones, considerándolo una “caja negra”.



Teorema de Buckingham:

A.- Expresando las magnitudes físicas como productos de potencias de las magnitudes fundamentales:

magnitud	dimensiones		magnitud	dimensiones
área	L^2		frecuencia	t^{-1}
Cantidad de movimiento	MLt^{-1}		Momento de cantidad de movimiento	ML^2t^{-1}
volumen	L^3		Momento de inercia	ML^2
velocidad	Lt^{-1}		Fuerza	MLt^{-2}
vel. angular	t^{-1}		Trabajo	ML^2t^{-2}
aceleración	Lt^{-2}		Potencia	ML^2t^{-3}
acel. angular	t^{-2}		Presión	$ML^{-1}t^{-2}$
densidad	LM^{-3}		viscosidad	$ML^{-1}t^{-1}$

B.- Las ecuaciones físicas son entidades algebraicas e independientes del sistema de medida empleado.

C.- Entonces cualquier relación entre las magnitudes físicas puede ser expresada de una manera general en función de grupos adimensionales de variables.

$$\mathbf{A \wedge B \rightarrow C}$$

Teorema de π :

A.- Tomando como axioma el Teorema de Buckingham

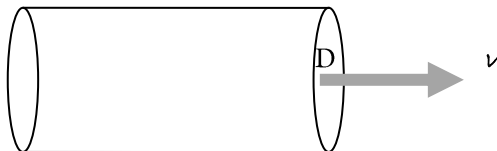
B.- Conociendo las magnitudes implicadas en el caso.

C.- Si el número de magnitudes fundamentales es igual o menor a las derivadas implicadas, entonces existe al menos un N° adimensional que se corresponde con el estado del fenómeno en estudio.

$$\mathbf{A \wedge B \rightarrow C}$$

Aplicación: Obtención del Número de Reynolds

Modelo físico



Magnitudes implicadas	Magnitudes fundamentales
D: diámetro del conducto	L
v : velocidad del fluido	$L T^{-1}$
δ : densidad del fluido	$M L^{-3}$
μ : viscosidad del fluido	$M L^{-1} T^{-1}$

Tabla N°10

Obtención de la ecuación adimensional

$$\Pi = D \mu^a v^b \delta^c \quad (\text{se ha elegido arbitrariamente "D"})$$

... reemplazando magnitudes fundamentales ...

$$L^1 (M^a L^{-a} T^{-a} \cdot L^b T^{-b} \cdot M^c L^{-3c}) = M^0 L^0 T^0$$

... tratándose de exponentes de una misma base ...

$$1-a+b-3c=0$$

$$a+c=0 \rightarrow c=-a \rightarrow 1-a-a+3a=0 \rightarrow 1-a=0 \rightarrow a=-1$$

$$-a-b=0 \rightarrow b=-a$$

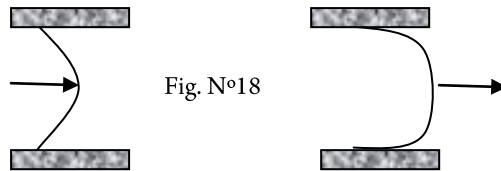
... ordenando estos valores en $\Pi = D \mu^{-1} v^1 \delta^1$
 expresión que se conoce como: número de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{D v \delta}{\mu}$$

Eligiendo otra variable en lugar de "D" se puede obtener un número de Reynolds invertido, el cual también debiera resultar funcional aunque no se utilice.

Re es útil para definir la naturaleza de los fluidos en consideración de las características geométricas del conducto que atraviesan y de la fricción contra las paredes del mismo.

La fuerza producida por el efecto de la fricción del fluido con la tubería que lo conduce es proporcional a la rugosidad del interior de la cañería y depende de la naturaleza del fluido.



Perfiles de distribución según aumenta la velocidad media del fluido.

Se considera que para $Re < 4000$ el fluido se comporta de manera laminar, es decir como si sus elementos estuvieran ordenados de manera de presentar un flujo homogéneo en su comportamiento, siendo sensiblemente afectado por el rozamiento solo aquella porción más cercanas a la pared del conductor; su perfil de distribución de velocidades relativas en relación al diámetro del conducto está representado por la figura de la izquierda del gráfico N° 4, mientras que la de la derecha corresponde al régimen turbulento en el cual el comportamiento del fluido no responde a un modelo ordenado ni de comportamiento homogéneo, lo cual se manifiesta cuando $Re > 10.000$. Entre esos valores los fluidos manifiestan distin-

tos estadios de transición, como se puede observar en las siguientes fotografías.



Flujos laminar, transición y turbulento (agua).

Existen otros números adimensionales con utilidad en ciencia y tecnología:

El Número de Prandtl “Pr” (por Ludwig Prandtl) relaciona la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica:

$$Pr = \frac{\text{velocidad de difusión de cantidad de movimiento}}{\text{velocidad de difusión de calor}} = \frac{c_p \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{\mu_c}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k}$$

μ_c es la viscosidad cinemática

α es la difusividad térmica.

c_p es la capacidad calorífica a presión constante.

μ es la viscosidad.

k es la conductividad térmica.

El Número de Nuselt “Nu” (por Wilhelm Nuselt) relaciona la transmisión de calor por convección y conducción:

$$Nu = \frac{\text{calor por convección}}{\text{Calor por conducción}} = \frac{hL}{k}$$

h es el coeficiente de transmisión de calor por convección

L es la longitud considerada

k es el coeficiente de transmisión de calor por conducción

El Número de Darcy “Da” (por Henry Darcy) relaciona la permeabilidad de un medio con el diámetro de la partícula que lo atraviesa:

$$Da = \frac{\text{Permeabilidad del medio}}{\text{Diámetro de partícula al cuadrado}} = \frac{G}{D^2}$$

G es la permeabilidad del medio filtrante

D es el diámetro de las partículas que lo atraviesan

El Número de Newton “Np” (por Isaac Newton) relaciona la potencia aplicada a un fluido con la inercia que éste adquiere:

$$Np = \frac{P}{\delta D^5 n^3}$$

P es la potencia del agitador

δ es la densidad del fluido

D es el diámetro del agitador

n es la velocidad del agitador en RPM