

HIDRÁULICA APLICADA PARA INGENIEROS CIVILES

*Ing. Martha Johana Álvarez Álvarez
Ing. Eduardo Luciano Parrales Parrales
Ing. Leonardo Antonio Plúa Marcillo
Ing. Luis Alfredo Gutiérrez Sánchez
Ing. Carlos Enrique Parrales García
Ing. Gery Lorenzo Marcillo Merino
Ing. Freddy Humberto Guillen Morales
Ing. William Merchán García*



HIDRÁULICA APLICADA PARA INGENIEROS CIVILES

Ing. Martha Johana Álvarez Álvarez
Ing. Eduardo Luciano Parrales Parrales
Ing. Leonardo Antonio Plúa Marcillo
Ing. Luis Alfredo Gutiérrez Sánchez
Ing. Carlos Enrique Parrales García
Ing. Gery Lorenzo Marcillo Merino
Ing. Freddy Humberto Guillen Morales
Ing. William Merchán García



Editorial Área de Innovación y Desarrollo,S.L.

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **los autores**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

C/ Els Alzamora, 17 - 03802 - ALCOY (ALICANTE) info@3ciencias.com

Primera edición: **mayo 2018**

ISBN: **978-84-948690-4-4**

DOI: <http://dx.doi.org/10.17993/IngyTec.2018.37>

AUTORES

Álvarez Álvarez Martha Johana, Ingeniera Civil, Universidad Técnica de Manabí – Portoviejo; Magister en Riego y Drenaje, Universidad Agraria del Ecuador – Guayaquil. Contratista de obras civiles. Docente Contratada de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, año 2008- 2015. Actualmente Docente Titular Auxiliar – Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Parrales Parrales Eduardo Luciano, Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí – Portoviejo; Máster en Gestión Ambiental, Universidad Hnos Saiz Montes de Oca – Pinar del Río, Cuba. Funcionario Público – Junta de Recursos Hidráulicos- Jipijapa, Manabí, año 1985- 2012. Empresa Pública Municipal de agua potable y alcantarillado sanitario de Jipijapa, año 2012-2014. Docente Contratado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, año 2015 hasta la presente fecha.

Plúa Marcillo Leonardo Antonio, Ingeniero Civil, Universidad Estatal Santiago de Guayaquil – Guayaquil; Magister en Administración Ambiental, Universidad Estatal Santiago de Guayaquil. Ingeniero en administración de Empresas Agropecuarias, Universidad Estatal del Sur de Manabí. Contratista de obras civiles. Funcionario Público – Servicio de Contratación de Obras – Guayaquil, año 2012 – 2015. Docente Contratado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, año 2012 hasta la presente fecha.

Parrales García Carlos Enrique, Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí – Portoviejo; Máster en Gestión Ambiental, Universidad Hnos Saiz Montes de Oca – Pinar del Río, Cuba. Funcionario Público – Junta de Recursos Hidráulicos- Jipijapa, Manabí, año 1988- 2012. Empresa Pública Municipal de agua potable y alcantarillado sanitario de Jipijapa, año 2012-2014. Docente Contratado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, año 2015 hasta la presente fecha.

Gutiérrez Sánchez Luis Alfredo, Ingeniero Civil, Universidad Estatal Santiago de Guayaquil; Máster en Gestión Ambiental, Universidad Hnos Saiz Montes de Oca – Pinar del Río, Cuba. Funcionario Público – Junta de Recursos Hidráulicos- Jipijapa, Manabí, año 1983- 2012. Empresa Pública Municipal de agua potable y alcantarillado sanitario de Jipijapa, año 2012-2014. Docente Contratado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, año 2015 hasta la presente fecha.

Marcillo Merino Gery Lorenzo, Ingeniero Civil, Universidad Laica Eloy Alfaro – Manta; Máster en Ciencias de la Ingeniería Estructural, Universidad Técnica de Manabí- Portoviejo. Funcionario Público – Junta de Recursos Hidráulicos- Jipijapa, Manabí, año 1991- 2012. Docente Contratado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, año 2010 – 2014. Docente Titular Auxiliar de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, año 2015.

Guillen Morales Freddy Humberto, Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí – Portoviejo; Magister en Administración Ambiental, Universidad Estatal Santiago de Guayaquil. Docente Contratado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, año 2007 hasta la presente fecha

William Merchán García, Ingeniero industrial por la Universidad Estatal de Guayaquil e Ingeniero Civil por la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Master en Finanzas y Comercio Internacional por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Profesor de la Universidad Estatal del Sur de Manabí

ÍNDICE

PRÓLOGO.....	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN A LA ASIGNATURA	15
1.1. Concepto de hidráulica	15
1.1.1. <i>Importancia de la asignatura para el ingeniero civil.....</i>	<i>15</i>
1.1.2. <i>Papel e importancia de la asignatura en el plan de estudio de la Carrera. Estructura y desarrollo.....</i>	<i>15</i>
1.2. Los fluidos	16
1.2.1. <i>Definición</i>	<i>16</i>
1.2.2. <i>Propiedades de los fluidos.....</i>	<i>16</i>
1.2.3. <i>Presión de vapor de los líquidos.....</i>	<i>17</i>
1.2.4. <i>Compresibilidad y Elasticidad de los fluidos.....</i>	<i>17</i>
1.2.5. <i>Tensión superficial y capilaridad</i>	<i>18</i>
1.2.6. <i>Clasificación del flujo de fluido.....</i>	<i>18</i>
1.3. Ecuación de continuidad	19
1.4. Ecuación de energía (Ecuación de Bernoulli)	19
1.4.1. <i>Conducciones forzadas. Expresiones para el cálculo de pérdidas de energía.....</i>	<i>20</i>
1.4.2. <i>Pérdidas de energía locales.....</i>	<i>21</i>
1.4.2.1. <i>Determinación del coeficiente K y su aplicación</i>	<i>23</i>
1.4.2.2. <i>Pérdidas debidas a los accesorios de las tuberías.....</i>	<i>24</i>
CAPÍTULO II: BOMBAS - SELECCIÓN	25
2.1. Definición y clasificación de las bombas	25
2.1.1. <i>Definición de Bomba</i>	<i>25</i>
2.1.2. <i>Clasificación</i>	<i>25</i>
2.1.3. <i>Aplicaciones de las bombas rotodinámicas.....</i>	<i>26</i>
2.1.3.1. <i>Bombas de flujo axial</i>	<i>26</i>
2.1.3.2. <i>Bombas de flujo radial o centrífugas.....</i>	<i>26</i>
2.1.3.3. <i>Bombas de flujo diagonal o mixto.....</i>	<i>27</i>
2.1.4. <i>Bombas de fluido impelente.....</i>	<i>27</i>
2.2. Curvas características de las bombas.....	27
2.3. Cálculo de carga dinámica total de bombeo	28
2.3.1. <i>Ecuación correspondiente a la curva resistente</i>	<i>29</i>
2.3.2. <i>Acoplamiento de bombas en serie</i>	<i>30</i>
2.3.3. <i>Acoplamiento de bombas en paralelo</i>	<i>30</i>
2.4. Selección de bombas	31
2.4.1. <i>Criterios fundamentales de selección.....</i>	<i>32</i>
CAPÍTULO III: REDES ABIERTAS	33
3.1. Predicción de abastecimiento de agua	33
3.2. Características de las redes hidráulicas.....	34
3.3. Redes de abastecimiento de agua	35
3.3.1. <i>Tipos de redes</i>	<i>35</i>
3.4. Redes ramificadas (abiertas).....	35

CAPÍTULO IV: CANALES.....	37
4.1. Régimen uniforme de circulación	37
4.1.1. Canal con régimen uniformes	37
4.2. Clasificación y propiedades de las conducciones libres. Régimen uniforme	39
4.2.1. Propiedades	40
4.2.2. Ecuación de Manning	42
4.2.3. Determinación de la n de Manning.....	43
4.2.4. Secciones compuestas.....	43
4.2.5. Profundidad de circulación normal	45
4.2.6. Método iterativo	46
4.2.7. Pendientes normal y crítica	47
4.2.8. Método de diseño de las velocidades permisibles en canales.....	48
4.3. Diseño de secciones no revestidas.....	48
4.3.1. Análisis por simultáneo de ecuaciones.....	49
CAPÍTULO V: HIDROLOGÍA.....	53
5.1. El ciclo hidrológico de la lluvia	53
5.2. Características generales del escurrimiento superficial de la lluvia	55
5.3. Medición de las precipitaciones.....	55
5.3.1. Condiciones generales.....	55
5.3.1.1. Fundamentalmente, existen tres tipos de instrumentos	56
5.3.2. Procedimiento utilizado para determinar la intensidad de la lluvia	59
5.4. Fórmula racional	60
CAPÍTULO VI: DRENAJE PLUVIAL.....	63
6.1. Elementos de drenaje pluvial de edificaciones, urbano y vial.....	63
6.1.1. Redes de drenaje.....	63
6.1.1.1. Redes de drenaje pluvial en edificaciones.....	64
6.1.1.2. Características de la red de drenaje	65
6.1.1.3. Pendiente del río principal.....	65
6.1.1.4. Redes de drenaje pluvial en vías urbanas.....	66
6.1.1.5. Drenaje pluvial vial	68
6.2. Tormenta de diseño	74
6.2.1. Parámetros de la tormenta de diseño.....	74
6.2.1.1. Intensidad máxima para un periodo de retorno dado a partir de curvas IFD	75
6.3. Hietograma para el periodo de retorno de diseño	76
6.3.1. Avenida de diseño	78
6.3.2. Fórmulas y métodos empíricos	79
6.3.3. Fórmula Racional	80
6.3.3.1. Parámetros de la Fórmula Racional	83
CAPITULO VII: ALCANTARILLAS Y PUENTES	97
7.1. Principios del diseño hidráulico de alcantarillas y puentes.....	97
7.1.1. Alcantarillas	97
7.1.2. Puentes	97
BIBLIOGRAFÍA	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Volumen de agua en la Unidad de Tiempo	103
Figura 2: Representación gráfica de la ecuación de Bernoulli para flujo ideal	103
Figura 3: Representación de la ecuación de Bernoulli para fluido real	104
Figura 4: Sistema de bombeo (sumergible y superficial)	104
Figura 5: Partes componentes esenciales de una maquina hidráulica	105
Figura 6: Representación esquemática de una bomba roto dinámica	105
Figura 7: Bomba roto dinámica con alabes directores en la caja	105
Figura 8: Bomba centrífuga: disposición, esquema y perspectiva.....	106
Figura 9: Curvas características de la bomba	106
Figura 10: Curvas características de una bomba.....	107
Figura 11: Curvas características individuales	107
Figura 12: Curvas para velocidad variable de una bomba y para diámetro variable del impelente .	108
Figura 13: Representación esquemática de la carga a elevación.....	108
Figura 14: Cargas estáticas a considerar en una instalación con bomba.....	108
Figura 15: Punto de funcionamiento de una instalación	109
Figura 16: Bombas horizontales colocadas en serie	109
Figura 17: Curva de dos bombas iguales en serie.....	110
Figura 18: Curva de dos bombas diferentes acopladas en serie.....	111
Figura 19: Representación de bombas en paralelo (Pérez, 1999)	111
Figura 20: Curvas de dos bombas iguales en paralelo	112
Figura 21: Análisis de la instalación de dos bombas iguales en serie o paralelo.....	112
Figura 22: Campo de aplicación de los distintos tipos de bombas rotodinámicas.....	113
Figura 23: Esquema de instalación de la bomba.....	113
Figura 24: Tipos de redes según la topología (UPV, 1996).....	114
Figura 25: Esquema de una red ramificada.....	114
Figura 26: Ejemplo de basto de agua	115
Figura 27: Sistema de red abierta	115
Figura 28: Sección longitudinal de un canal.....	116
Figura 29: Variantes de establecimiento del régimen uniforme.....	116
Figura 30: Fuerzas actuantes en el régimen uniforme.....	117
Figura 31: Sección normal y sección vertical.....	117
Figura 32: Representación de las secciones de un canal	117
Figura 33: Representación del perfil.....	118
Figura 34: Representación de la sección transversal	118
Figura 35: Subdivisión de una sección.....	118
Figura 36: División de la sección compuesta.....	118
Figura 37: Canal trapezoidal	119
Figura 38: Canal trapezoidal doble sección irregular	119
Figura 39: Esquema descriptivo del Ciclo Hidrológico (Campos, 1992)	119
Figura 40: Pluviómetro	120
Figura 41: Pluviograma	120
Figura 42: Curvas masa de precipitaciones	121

Figura 43: Pluviómetro enterrado para medir las precipitaciones líquidas.....	121
Figura 44: Ejemplo Nomograma para el cálculo de la intensidad de la lluvia de diferentes probabilidades y duraciones para cualquier punto de la República de Cuba (CEN, 1984a).....	122
Figura 45: Representación de las redes de drenaje (Hiroshi, 2003)	122
Figura 46: Modelos de sinuosidades de los ríos y sus coeficientes de sinuosidad.....	122
Figura 47: Tipos de contenes.....	123
Figura 48: Tipos de tragantes	123
Figura 49: Esquema de drenaje vial urbano.....	123
Figura 50: Canales de drenaje urbano.....	124
Figura 51: Relaciones adimensionales de caudal, velocidad, área y radio hidráulico para sección circular, en función de la profundidad relativa y/D	124
Figura 52: Curvas IFD del pluviógrafo H-350 (González, 2000).....	125
Figura 53: Ejemplo Nomograma para el cálculo de la intensidad de la lluvia de diferentes probabilidades y duraciones para cualquier punto de la República de Cuba (CEN, 1984a).....	125
Figura 54: Ejemplo Mapa isoyético de las precipitaciones máximas diarias del 1% de probabilidad de la República de Cuba (CEN, 1984a)	126
Figura 55: Gráfico de un hietograma de cálculo (González, 2000)	127
Figura 56: Gráfico de un hietograma reorganizado (González, 2000)	127
Figura 57: Relación lluvia escurrimiento (USDA, 1986).....	127
Figura 58: Nomograma para determinación del tiempo de concentración en zonas urbanizadas..	128
Figura 59: Subdivisión de las cuadras en áreas de drenaje.....	128
Figura 60: División en áreas parciales de drenaje.....	129
Figura 61: Red de drenaje ramificada de una zona urbana	129
Figura 62: Ubicación del puente en el cauce natural.....	130
Figura 63: Pilares principales del Puente.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores del coeficiente de rugosidad C de Williams-Hazen	131
Tabla 2: Datos para cálculos de caudales de una red abierta	131
Tabla 3: Propiedades geométricas de las secciones más frecuentes (Chow, 2004).....	132
Tabla 4: Valores de n para diferentes canales según Kutter (King, 1962).....	132
Tabla 5: Valores de la n dados por Horton (León, 1989).....	133
Tabla 6: Valores para calcular la n de Manning según la ecuación 4.7 (Chow, 1959)	134
Tabla 7: Valores del coeficiente n de Manning para canales en suelos y rocas.....	134
Tabla 8: Valores del coeficiente n de Manning para canales revestidos (CEN, 1984b)	135
Tabla 9: Valores de n para canales artificiales sin y con revestimiento (FHWA, 2006).....	135
Tabla 10: Valores de n para canales artificiales sin y con revestimiento (WSDOT, 2010).....	135
Tabla 11: Valores recomendados de n de Manning (Benítez, 2003)	136
Tabla 12: Valores recomendados de n de Manning (NC, 1999).....	136
Tabla 13: Velocidades máximas permisibles en cunetas (Benítez, 2003).....	136
Tabla 14: Velocidades medias máximas permisibles para canales en suelos arcillosos (CEN, 1984b) ..	137
Tabla 15: Velocidades máximas permisibles en canales revestidos con hormigón (CEN, 1984b).....	137
Tabla 16: Velocidades máximas permisibles para distintos revestimientos (FHWA, 2006).....	138
Tabla 17: Velocidades máximas permisibles con varios revestimientos (DNIT, 2006)	138
Tabla 18: Velocidades máximas permisibles con varios revestimientos (NC, 1999)	138
Tabla 19: Valores del coeficiente de escurrimiento C para cuencas urbanizadas o por urbanizar	139
Tabla 20: Diámetro de las columnas de descarga de aguas pluviales (CEN, 1985)	139
Tabla 21: Diámetro del colector de las aguas pluviales (CEN, 1985).....	139
Tabla 22: Diámetro del bajante pluvial en función del gasto (CEN, 1983b).....	140
Tabla 23: Valores de rugosidad para alcantarillas de hormigón (Benítez, 2003).....	140
Tabla 24: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (Benítez, 2003).....	140
Tabla 25: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (FHWA, 2006).....	140
Tabla 26: Valores del coeficiente para conductos de sección circular y cajón (WSDOT, 2010)	141
Tabla 27: Valores del coeficiente de escurrimiento C para cuencas urbanizadas o por urbanizar.....	141
Tabla 28: Valores del coeficiente de evaluación M	142
Tabla 29: Valores del coeficiente de escurrimiento C	142
Tabla 30: Valores de C para cuencas no afectadas por el crecimiento urbano	142
Tabla 31: Valores de C según el tipo de superficie de la cubierta de la edificación	143
Tabla 32: Número de Curva de escurrimiento para algunos terrenos agrícolas (USDA, 1986)	143
Tabla 33: Instalaciones industriales, fabriles y civiles	144
Tabla 34: Obras viales	144
Tabla 35: Poblaciones	144
Tabla 36: Probabilidades de la precipitación en zonas urbanizadas.....	145
Tabla 37: Probabilidades de proyecto en dependencia de la categoría de la obra	145
Tabla 38: Contribuciones de las áreas parciales de drenaje a los nodos o registros.....	146
Tabla 39: Tiempos de concentración hasta los nodos o registros	146
Tabla 40: Probabilidades para el cálculo de los gastos de diseño (QD)	147
Tabla 41: Clasificación de los ríos de acuerdo al área de la cuenca y longitud.....	147
Tabla 42: Coeficientes de socavación.....	147

PRÓLOGO

La finalidad de este libro es dar a conocer la importancia de la HIDRAULICA y su relación con la HIDROLOGÍA, en una secuencia de cálculos en los temas de sistemas de redes, selección de bombas, obras de drenaje (puentes y alcantarillas), con una introducción acerca de la asignatura de hidráulica basado en sus fundamentos teóricos, como: “La hidráulica es la ciencia que forma parte la física y comprende la transmisión y regulación de fuerzas y movimientos por medio de los líquidos”. Cuando se escuche la palabra “hidráulica” hay que remarcar el concepto de que es la transformación de la energía, ya sea de mecánica o eléctrica en hidráulica para obtener un beneficio en términos de energía mecánica al finalizar el proceso. Etimológicamente la palabra hidráulica proviene del griego *Hydraulikos*, que en el latín el adjetivo es *Hydraulicus -a-um*, la cual hace referencia a máquinas que son impulsadas por acción de la energía del agua. Algunos especialistas que no emplean el agua como medio transmisor de energía, sino al aceite, establecen los siguientes términos para su diferenciación: Oleodinámica, Oleohidráulica u Oleólica.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN A LA ASIGNATURA

1.1. Concepto de hidráulica

Relativo o perteneciente al agua, la energía hidráulica es económica. Parte de la mecánica de los fluidos que trata de las leyes que rigen los movimientos de los líquidos, y de las técnicas destinadas al aprovechamiento de las aguas o a la defensa y protección contra las mismas.

Las reglas de la hidráulica se funden en las leyes de la hidrodinámica y de la hidrostática y también en las siguientes suposiciones: los líquidos son isótropos, incompresibles y perfectamente fluidos, circulan en régimen permanente (o sea todas sus moléculas atraviesan una sección de la vena a igual velocidad) y continuo (pues, por hallarse en contacto las moléculas, las presiones se transmiten íntegramente de una a otra). El cálculo, apoyado por experimentos hechos con modelos reducidos, permite determinar con mucha precisión las características de los canales, presas, puertos, cañerías, sifones, etc.; calcular los roces con las paredes, las pérdidas de carga, los golpes de ariete, el régimen de los ríos, las mareas, etc.; diseñar y utilizar en condiciones óptimas las máquinas hidráulicas.

1.1.1. Importancia de la asignatura para el ingeniero civil

Es de gran importancia el estudio de la hidráulica para el ingeniero civil, ya que le incorpora a este profesional una formación integral tal, que le permite dar solución a diversos problemas, como la proyección de obras componentes de los sistemas de evacuación, de drenaje pluvial (puentes y alcantarillas) y de abastecimiento, sin que este requiera de la actuación de un Ingeniero Hidráulico.

1.1.2. Papel e importancia de la asignatura en el plan de estudio de la Carrera. Estructura y desarrollo

La carrera de Ingeniería Civil se afana en formar un profesional con un amplio conocimiento y posibilidades de aplicación de las ciencias básicas y de las ciencias de la ingeniería; aptos para proponer soluciones racionales y creativas de ingeniería enfocados a las edificaciones, las estructuras de todo tipo, las vías terrestres y con algunas incursiones en el campo de la hidráulica.

En el Modelo del Profesional de la carrera de Ingeniería Civil se señala dentro del objeto general de trabajo de la profesión “lograr un egresado con una formación integral tal, que sea capaz de proyectar obras componentes de los sistemas de evacuación, de drenaje pluvial (puentes y alcantarillas) y de abastecimiento, y cuya complejidad no exija de la actuación de un Ingeniero Hidráulico”.

Ingeniería y Tecnología

