

Bal ance de Carga HRDCROSS

Versión 1.0

Enero 2003

Derechos de Autor

El programa HRDCROSS es propiedad intelectual de German Flores.

HRDCROSS se encuentra protegido contra escritura utilizando Prot92p by C Prgm Software que puede ser encontrado en www.ticalc.org sección DOS.

Este programa puede ser distribuido completamente gratis entre los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil o afines, que lo encuentren de utilidad.

El autor provee este programa "tal y como es", sin garantía de ningún tipo, sea esta expresa o implícita, incluidas garantías comerciales de cualquier caso en particular. Ni siquiera el autor se hará responsable por cualquier daño material accidental o provocado debido al mal manejo del programa.

Instalación

Solamente se tiene que enviar a la calculadora el programa hrdcross.9xp ó hrdcross.89p utilizando cualquier software de conexión entre la calculadora y la computadora; como por ejemplo TI-GRAPH LINK, TI-CONNECT ó TILP.

El programa puede ser guardado en cualquier carpeta y ocupa exactamente 8938 bytes (aproximadamente 9KB).

Generalidades

HRDCROSS es un programa que fue concebido para utilizarse en la rama de la Hidráulica; con fines exclusivamente educativos.

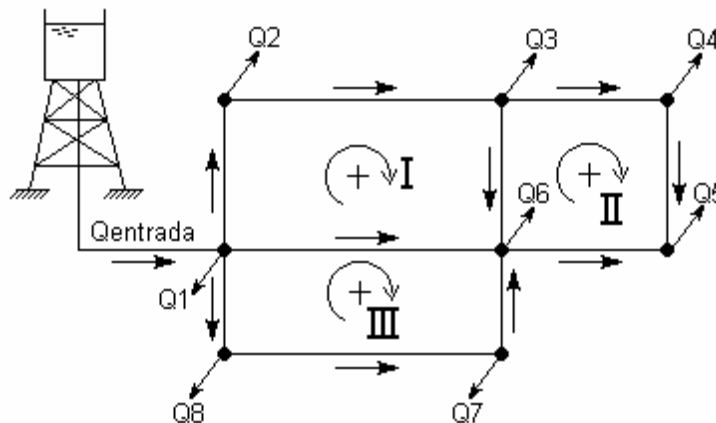
Este programa permite la introducción de una red cerrada de abastecimiento de agua formada por uno o más circuitos. El balance de los caudales y pérdidas se realiza suponiendo los caudales iniciales a través de las tuberías; a través de un proceso iterativo se encuentran las condiciones que satisfacen la ecuación de continuidad con un pequeño grado de libertad o error de cierre.

HRDCROSS permite realizar el análisis por medio de cualquiera de los dos métodos más conocidos: Darcy-Weisbach ó Hazen-Williams.

El programa proporciona las iteraciones calculadas para cada circuito de la red y una vez alcanzada las condiciones aceptables de las pérdidas, se muestra un mensaje indicando al usuario que se presentarán los resultados finales.

En cada iteración se presentan algunos datos importantes como: pérdidas, caudales, constante K, caudales corregidos, sumatorias de pérdidas en cada circuito, sumatoria de pérdidas en el contorno de la red, etc.

El método de balance de carga



El método de balance de carga en los nodos es un proceso iterativo basado en la primicia de los caudales supuestos que se distribuyen en la red de distribución cumpliendo en cada nodo de la red la ecuación de continuidad, dando así las condiciones siguientes:

- 1) Que la sumatoria de los caudales de entrada (caudal de diseño y caudal de variación de consumo) a la red deberá ser igual a la sumatoria de los caudales de salida (gastos concentrados en los nodos).
- 2) Que la sumatoria de las pérdidas de carga en cada circuito cerrado deberá ser igual a cero. La convención de signos que se adopta en cada circuito en forma independiente consiste en que los caudales en la dirección de las agujas del reloj se toman como positivos, en caso contrario serán negativos, dando así el signo de las pérdidas correspondientes a su caudal; de modo que el caudal de la tubería en común a dos circuitos; para uno será positivo y para el otro será negativo.
- 3) Si los caudales iniciales supuestos fueran los correctos en cada circuito la sumatoria de las pérdidas en cada uno de ellos serian igual a cero cumpliendo así el balance de carga, de lo contrario se tendría que corregir los caudales iniciales supuestos en cada circuito hasta lograr los caudales verdaderos en cada tubería de la red de distribución.

Procedimiento de cálculo

- 1) Identificar los circuitos, comenzando con el que posee el nodo de acoplamiento con la línea de conducción principal y después con los adyacentes.
- 2) Suponer valores de caudales iniciales en las tuberías que conforman el nodo de acoplamiento (entrada del caudal de diseño) y el resto se obtendrán aplicando la ecuación de continuidad en cada nodo de la red de distribución.
- 3) Calcular los valores de K_i , Q_{ij} , h_{pij} y h_{pij}/Q_{ij} , de cada circuito, comenzando con el circuito que posee el nodo de acoplamiento y aplicar la corrección de caudal en cada caudal de las tuberías pertenecientes al circuito.
- 4) Aplicar el procedimiento consecutivamente para todos los circuitos cerrados de la red y cuando la tubería pertenezca a dos circuitos, esta recibirá dos correcciones correspondientes a la corrección del caudal de los circuitos que pertenezca la tubería.
- 5) Repetir todo el proceso anterior, en todos los circuitos hasta que la sumatoria de las pérdidas en cada circuito sea menor que 0.5m y al contorno de la red de distribución las sumatorias de las pérdidas sean menores que 1.0m.

Fórmulas

Según Darcy-Weisbach:

$$Re = \frac{4Q}{\pi Dv}$$

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$$

$$K = \frac{8\lambda L}{\pi^2 D^5 g}$$

$$h_p = KQ^2$$

$$\Delta Q = - \frac{\sum h_p}{2 \sum \frac{h_p}{Q}}$$

Según Hazen-Williams:

$$K = \frac{10.67L}{C^{1.852} D^{4.87}}$$

$$h_p = KQ^{1.852}$$

$$\Delta Q = - \frac{\sum h_p}{1.852 \sum \frac{h_p}{Q}}$$

De forma general:

Q = caudal en una tubería.

D = diámetro de tubería.

L = longitud de tubería.

Re = número de Reynolds.

í = viscosidad cinemática

ë = lambda

â = rugosidad

K = constante

g = gravedad

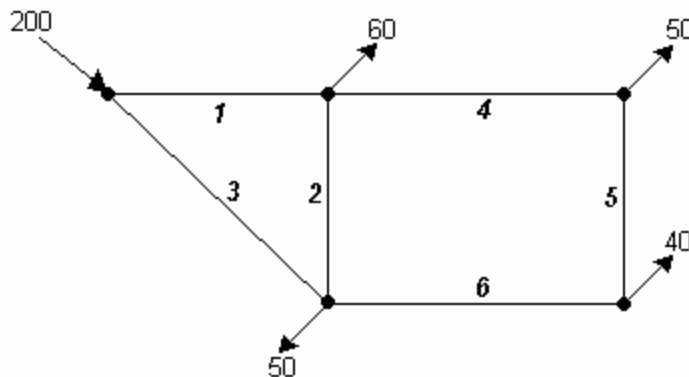
h_p = pérdida en una tubería

ΔQ = caudal desbalanceado

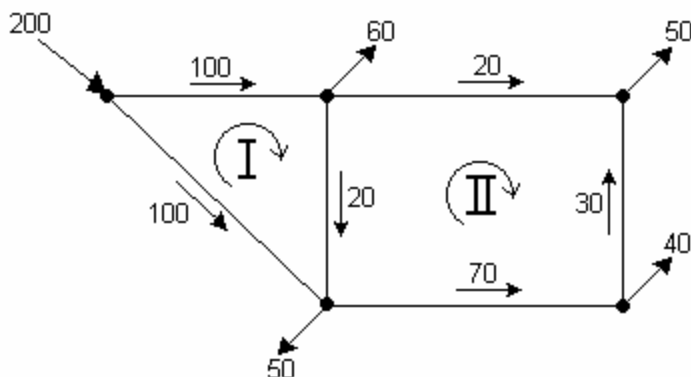
Ejemplo de cálculo

La mejor manera de explicar el funcionamiento del programa es realizando un ejercicio, por lo que a continuación se muestra un ejemplo resuelto paso a paso.

Determinése los caudales en cada tubería de la red cerrada de la figura. Todas las tuberías tienen una rugosidad absoluta de 0.03mm. Los caudales concentrados de salida en los nodos están expresados en lps. La viscosidad cinemática del agua es $1e^{-6} m^2/s$.



Primeramente se identifica que a la red entran 200lps y que estos se deben distribuir cumpliendo con la ecuación de continuidad. Suponemos los caudales iniciales a través de las tuberías e identificamos los circuitos indicando el sentido horario como positivo:



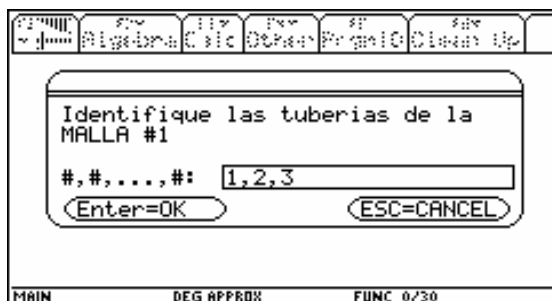
Corremos el programa y al entrar a la pantalla de inicio seleccionamos Darcy-Weisbach en el menú Nuevo.



A continuación proporcionamos los datos generales:

de tuberías: 6
 # de mallas: 2
 Rugosidad: 0.03
 Viscosidad: $1e^{-6}$

En el siguiente paso se deben identificar las tuberías que forman cada malla; es importante recordar que las tuberías se enumeran separadas por una coma:



Identifique las tuberías de la MALLA #2

#, #, ..., #: 4,5,6,2

Enter=OK ESC=CANCEL

MAIN DEG APPROX FUNC 0/30

A continuación se deben identificar las tuberías comunes que pertenecen a dos circuitos, cualesquiera que sean estos. Igualmente al enumerarlas se deben separar por comas. En este ejemplo solamente la tubería #2 pertenece a dos circuitos:

TUBERIAS COMUNES

Identifique las tuberías que pertenecen a dos mallas

#, #, ..., #: 2

Enter=OK ESC=CANCEL

MAIN DEG APPROX FUNC 0/30

Después, se deben identificar las tuberías que conforman el contorno de la red; esto con el fin de determinar la sumatoria de pérdidas:

TUBERIAS DE CONTORNO

Identifique las tuberías que forman el contorno de la red

#, #, ..., #: 1,3,4,5,6

Enter=OK ESC=CANCEL

MAIN DEG APPROX FUNC 0/30

A continuación se deben proporcionar los datos correspondientes a cada tubería; se debe recordar que los caudales que circulan en sentido antihorario dentro de los circuitos, se deben introducir con signo negativo; es sumamente importante tener en cuenta que cuando una tubería es común a dos mallas, el signo del caudal a introducir para esa tubería está regido por el sentido que posee en la malla de menor numeración, como en el caso de la tubería #2 de este ejemplo, cuyo signo a introducir es positivo ya que la numeración de la malla #1 es menor que la malla #2, de forma más simple $1 < 2$.

TUBERIA #1

Longitud: 500
 Diámetro: 20
 Caudal: 100

TUBERIA #2

Longitud: 200
 Diámetro: 10
 Caudal: 20

TUBERIA #3

Longitud: 600
 Diámetro: 20
 Caudal: -100

TUBERIA #4

Longitud: 600
 Diámetro: 15
 Caudal: 20

TUBERIA #5

Longitud: 200
 Diámetro: 10
 Caudal: -30

TUBERIA #6

Longitud: 600
 Diámetro: 15
 Caudal: -70

Una vez introducidos todos estos datos, el programa comenzará a mostrar las iteraciones para cada malla:

ITERACION #1

Malla #1

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|-----------|---------------------------|
| 1 | 0.1000 | 636619.7724 | 0.0139 | 1797.7889 | 17.9779 | 359.5578 | 0.0960 |
| 2 | 0.0200 | 254647.9089 | 0.0170 | 28050.8776 | 11.2204 | 1122.0351 | 0.0160 |
| 3 | -0.1000 | 636619.7724 | 0.0139 | 2157.3466 | -21.5735 | 431.4693 | -0.1040 |

Suma (hp) = 7.6248

Suma (2hp/Q) = 1913.0622

ΔQ = -0.0040

Malla#2

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|-----------|---------------------------|
| 4 | 0.0200 | 169765.2726 | 0.0172 | 11242.0813 | 4.4968 | 449.6833 | 0.0371 |
| 5 | -0.0300 | 381971.8634 | 0.0163 | 26878.5753 | -24.1907 | 1612.7145 | -0.0129 |
| 6 | -0.0700 | 594178.4542 | 0.0146 | 9563.0100 | -46.8587 | 1338.8214 | -0.0529 |
| 2 | -0.0160 | 203901.1901 | 0.0175 | 28838.9663 | -7.3960 | 923.6753 | 0.0011 |

Suma (hp) = -73.9487
 Suma (2hp/Q) = 4324.8945
 $\Delta Q = 0.0171$

Suma (hp)contorno = -70.1482

ITERACION #2

Malla #1

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|----------|---------------------------|
| 1 | 0.0960 | 611246.4130 | 0.0140 | 1805.4989 | 16.6445 | 346.7077 | 0.1034 |
| 2 | -0.0011 | 13802.0882 | 0.0296 | 48876.7919 | -0.0574 | 105.9662 | 0.0063 |
| 3 | -0.1040 | 661993.1318 | 0.0139 | 2148.6968 | -23.2339 | 446.8672 | -0.0966 |

Suma (hp) = -6.6469
 Suma (2hp/Q) = 899.5411
 $\Delta Q = 0.0074$

Malla#2

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|-----------|---------------------------|
| 4 | 0.0371 | 314900.7916 | 0.0157 | 10255.7356 | 14.1149 | 760.9423 | 0.0437 |
| 5 | -0.0129 | 164268.5850 | 0.0180 | 29714.0471 | -4.9460 | 766.7190 | -0.0063 |
| 6 | -0.0529 | 449042.9353 | 0.0151 | 9832.6270 | -27.5174 | 1040.3239 | -0.0463 |
| 2 | -0.0063 | 80279.7718 | 0.0202 | 33453.2523 | -1.3299 | 421.8561 | 0.0003 |

Suma (hp) = -19.6784
 Suma (2hp/Q) = 2989.8412
 $\Delta Q = 0.0066$

Suma (hp)contorno = -24.9379

ITERACION #3

Malla #1

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|----------|---------------------------|
| 1 | 0.1034 | 658287.3430 | 0.0139 | 1791.6041 | 19.1564 | 370.5164 | 0.1047 |
| 2 | -0.0003 | 3521.9207 | 0.0412 | 68022.1387 | -0.0052 | 37.6313 | 0.0010 |
| 3 | -0.0966 | 614952.2018 | 0.0140 | 2165.2074 | -20.2033 | 418.3028 | -0.0953 |

Suma (hp) = -1.0521
 Suma (2hp/Q) = 826.4505
 $\ddot{A}Q$ = 0.0013

Malla#2

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|----------|---------------------------|
| 4 | 0.0437 | 370768.5865 | 0.0154 | 10048.9965 | 19.1730 | 877.8833 | 0.0452 |
| 5 | -0.0063 | 80466.8926 | 0.0202 | 33438.8813 | -1.3356 | 422.6578 | -0.0048 |
| 6 | -0.0463 | 393175.1403 | 0.0153 | 9979.7990 | -21.4119 | 924.5257 | -0.0448 |
| 2 | -0.0010 | 12687.4340 | 0.0302 | 49858.7054 | -0.0495 | 99.3653 | 0.0006 |

Suma (hp) = -3.6240
 Suma(2hp/Q) = 2324.4320
 $\ddot{A}Q$ = 0.0016

Suma (hp)contorno = -4.6214

ITERACION #4

Malla #1

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|----------|---------------------------|
| 1 | 0.1047 | 666392.0203 | 0.0139 | 1789.3784 | 19.6066 | 374.6121 | 0.1048 |
| 2 | -0.0006 | 7163.4631 | 0.0346 | 57183.2176 | -0.0181 | 64.3445 | -0.0004 |
| 3 | -0.0953 | 606847.5244 | 0.0140 | 2168.2687 | -19.7021 | 413.3734 | -0.0952 |

Suma (hp) = -.1136
 Suma (2hp/Q) = 852.3301
 $\ddot{A}Q$ = 0.001

Malla#2

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|----------|---------------------------|
| 4 | 0.0452 | 384002.5180 | 0.0153 | 10007.3220 | 20.4809 | 905.4471 | 0.0454 |
| 5 | -0.0048 | 60615.9954 | 0.0214 | 35298.3799 | -0.8000 | 336.0949 | -0.0046 |
| 6 | -0.0448 | 379941.2089 | 0.0153 | 10019.8572 | -20.0750 | 896.9930 | -0.0446 |
| 2 | 0.0004 | 5466.2765 | 0.0370 | 61071.0692 | -0.0113 | 52.4381 | 0.0006 |

Suma (hp) = -0.3830
 Suma (2hp/Q) = 2190.9731
 $\ddot{A}Q$ = 0.0002

Suma (hp)contorno = -0.4897

ITERACION #5

Malla #1

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|----------|---------------------------|
| 1 | 0.1048 | 667240.6136 | 0.0139 | 1789.1480 | 19.6540 | 375.0409 | 0.1048 |
| 2 | -0.0006 | 7691.7849 | 0.0340 | 56206.6371 | -0.0205 | 67.9101 | -0.0006 |
| 3 | -0.0952 | 605998.9311 | 0.0140 | 2168.5932 | -19.6500 | 412.8572 | -0.0952 |

Suma (hp) = -0.0165

Suma (2hp/Q) = 855.8082

$\dot{A}Q = 1.9241e^{-5}$

Malla#2

| TUBERIA | Q (m ³ /s) | Reynolds | Lambda | K | hp (m) | 2(hp/Q) | Qcorr (m ³ /s) |
|---------|-----------------------|-------------|--------|------------|----------|----------|---------------------------|
| 4 | 0.0454 | 385486.1902 | 0.0153 | 10002.7970 | 20.6301 | 908.5345 | 0.0454 |
| 5 | -0.0046 | 58390.4871 | 0.0215 | 35560.8137 | -0.7479 | 326.1622 | -0.0046 |
| 6 | -0.0446 | 378457.5367 | 0.0154 | 10024.4917 | -19.9278 | 893.9035 | -0.0446 |
| 2 | -0.0006 | 7446.7980 | 0.0343 | 56648.5024 | -0.0194 | 66.2640 | 0.0006 |

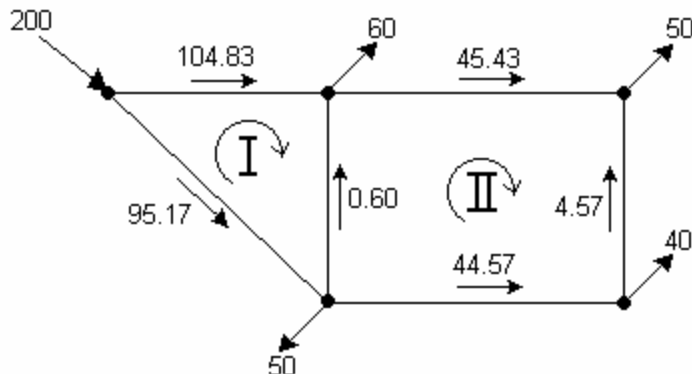
Suma (hp) = -0.0262

Suma (2hp/Q) = 2194.8643

$\dot{A}Q = 1.1931e^{-5}$

Suma (hp) contorno = -0.0415

Los caudales finales obtenidos se distribuyen de la siguiente forma:



Nótese que las pérdidas obtenidas en cada circuito y las pérdidas alrededor de la red son bastante bajas, por lo que los resultados tienen un alto nivel de confiabilidad. El procedimiento para Hazen-Williams es similar.

Solución de problemas

Hasta el momento el hecho de proteger el programa contra escritura provoca un problema en algunas calculadoras. A veces cuando se intenta correr el programa por primera vez aparece un mensaje de error "Internal Error"; para solucionar esto se debe resetear la calculadora de la siguiente forma:

Antes que nada es muy buena idea archivar completamente todos los archivos de la RAM para no perder ninguna información importante, a continuación para la TI-89 mantener presionados *derecha + izquierda + 2nd + ON*; y para la TI-92 Plus y Voyage 200 mantener presionados *Lock (hand) + 2nd + ON*. Una vez que se haga esto la calculadora se reseteará y el programa correrá sin ningún problema.

Autor

German Josué Flores Jarquín

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)
Managua, Nicaragua
2003

Si tienen alguna duda y necesitan algo de ayuda con este o cualquiera de mis programas, pueden contactarme a cualquiera de los siguientes correos. Sus comentarios, ideas y reportes de errores siempre son bienvenidos y son importantes para seguir mejorando cualquier programa.

necromanser@latinmail.com

necromanser2@yahoo.com

german_josue_flores_jarquín@hotmail.com

Este programa y muchos otros relacionados con la carrera de Ingeniería Civil pueden ser encontrados en mi página personal:

<http://www.geocities.com/ingenieria8992>