

# 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](http://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.

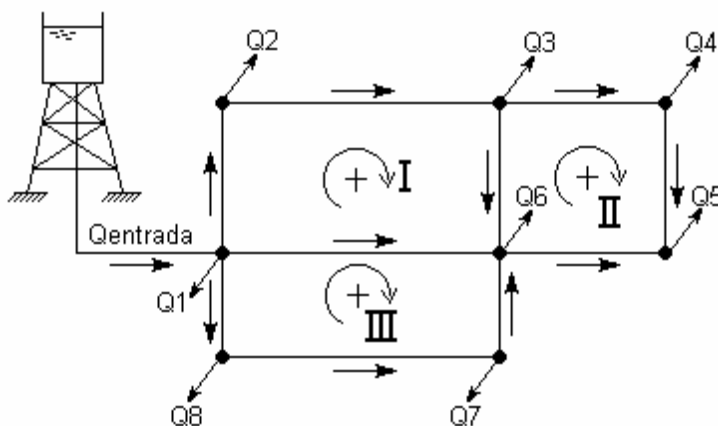
Este programa permite la introducción de una red cerrada de abastecimiento de agua formada por uno o más circuitos. El balance de los caudales y pérdidas se realiza suponiendo los caudales iniciales a través de las tuberías; a través de un proceso iterativo se encuentran las condiciones que satisfacen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

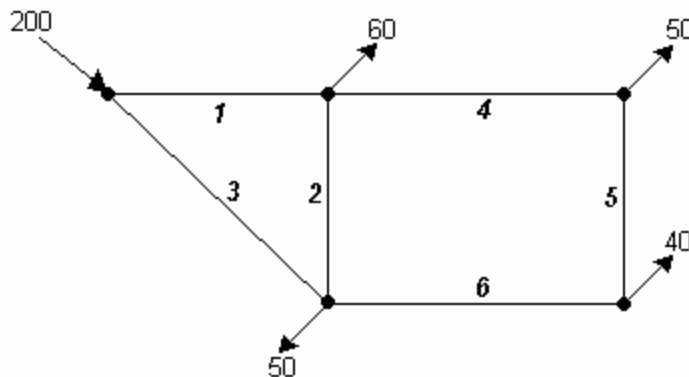
h<sub>p</sub> = pérdida en una tubería

ΔQ = caudal desbalanceado

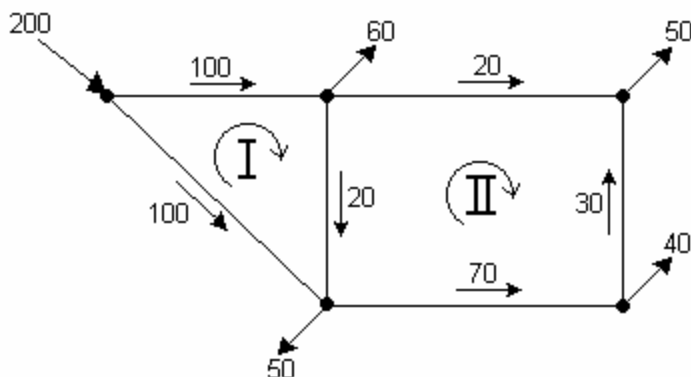
## Ejemplo de cálculo

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:



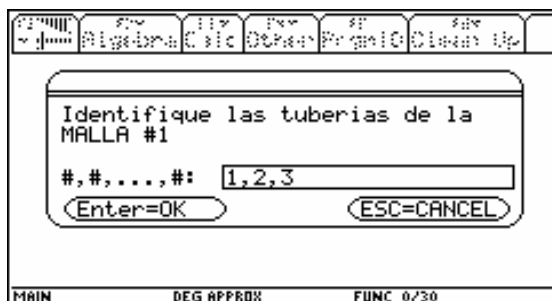
Corremos el programa y al entrar a la pantalla de inicio seleccionamos Darcy-Weisbach en el menú Nuevo.



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:



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:

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

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:

#### 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 <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\dot{O}(\text{hp}) = 7.6248$$

$$\dot{O}(2\text{hp}/Q) = 1913.0622$$

$$\ddot{A}Q = -0.0040$$

## Malla#2

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\begin{aligned}\dot{O}(\text{hp}) &= -73.9487 \\ \dot{O}(2\text{hp}/Q) &= 4324.8945 \\ \ddot{A}Q &= 0.0171\end{aligned}$$

$$\dot{O}(\text{hp})_{\text{contorno}} = -70.1482$$

## ITERACION #2

## Malla #1

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\begin{aligned}\dot{O}(\text{hp}) &= -6.6469 \\ \dot{O}(2\text{hp}/Q) &= 899.5411 \\ \ddot{A}Q &= 0.0074\end{aligned}$$

## Malla#2

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\begin{aligned}\dot{O}(\text{hp}) &= -19.6784 \\ \dot{O}(2\text{hp}/Q) &= 2989.8412 \\ \ddot{A}Q &= 0.0066\end{aligned}$$

$$\dot{O}(\text{hp})_{\text{contorno}} = -24.9379$$

## ITERACION #3

## Malla #1

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\begin{aligned}\dot{O}(\text{hp}) &= -1.0521 \\ \dot{O}(2\text{hp}/Q) &= 826.4505 \\ \ddot{A}Q &= 0.0013\end{aligned}$$



## Malla#2

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\dot{O}(\text{hp}) = -3.6240$$

$$\dot{O}(2\text{hp}/Q) = 2324.4320$$

$$\ddot{A}Q = 0.0016$$

$$\dot{O}(\text{hp})_{\text{contorno}} = -4.6214$$

## ITERACION #4

## Malla #1

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\dot{O}(\text{hp}) = -.1136$$

$$\dot{O}(2\text{hp}/Q) = 852.3301$$

$$\ddot{A}Q = 0.001$$

## Malla#2

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\dot{O}(\text{hp}) = -0.3830$$

$$\dot{O}(2\text{hp}/Q) = 2190.9731$$

$$\ddot{A}Q = 0.0002$$

$$\dot{O}(\text{hp})_{\text{contorno}} = -0.4897$$

## ITERACION #5

## Malla #1

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\begin{aligned}\dot{O}(\text{hp}) &= -0.0165 \\ \dot{O}(2\text{hp}/Q) &= 855.8082 \\ \ddot{A}Q &= 1.9241\text{e}^{-5}\end{aligned}$$

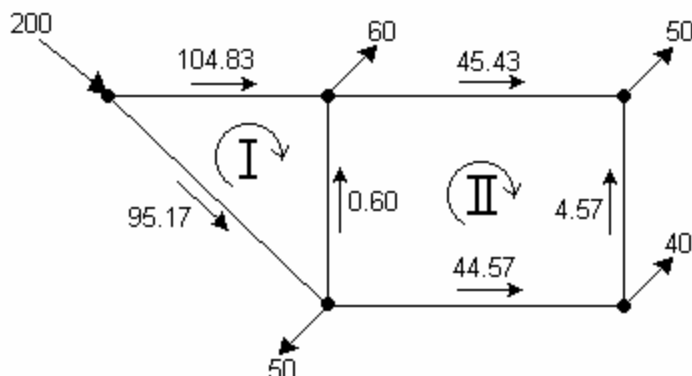
Malla#2

TUBERIA	Q (m <sup>3</sup> /s)	Reynolds	Lambda	K	hp (m)	2(hp/Q)	Qcorr (m <sup>3</sup> /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

$$\begin{aligned}\dot{O}(\text{hp}) &= -0.0262 \\ \dot{O}(2\text{hp}/Q) &= 2194.8643 \\ \ddot{A}Q &= 1.1931\text{e}^{-5}\end{aligned}$$

$$\dot{O}(\text{hp})_{\text{contorno}} = -0.0415$$

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](mailto:necromanser@latinmail.com)

[necromanser2@yahoo.com](mailto:necromanser2@yahoo.com)

[german\\_josue\\_flores\\_jarquín@hotmail.com](mailto: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>