12 Anejo 1: Desarrollos del esquema directo (FDA).

12.1 Owen (1980).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{12.1}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\exp\left(\frac{-BR^*}{r}\right) \tag{12.2}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (12.3) y (12.4):

$$Q^* = \frac{Q}{T_{om}gH_s} \tag{12.3}$$

$$R^* = \frac{R_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}} \tag{12.4}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión (12.5):

$$Q = T_{om}gH_sA\exp\left(\frac{-BR_c}{rT_{om}\sqrt{gH_s}}\right) \tag{12.5}$$

3. Variables gaussianas independientes consideradas:

$$\text{A, B, r, Hs, T} \tag{12.6}$$

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,r,T,H_s) \equiv Q_{fallo} - AT_{om}gH_s\exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) \tag{12.7}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -T_{om}gH_s\exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) \tag{12.8}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = AT_{om}gH_s\exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right)\left(\frac{R_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) \tag{12.9}$$

$$\frac{\partial G}{\partial r} = -AT_{om}gH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right)\left(\frac{BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r^2}\right) \tag{12.10}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -AT_{om}g \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) - AT_{om}gH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right)\left(\frac{BR_c}{2\sqrt{gH_s}rH_s}\right) \tag{12.11}$$

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -AgH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) - AT_{om}gH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right)\left(\frac{BR_c}{T_{om}{}^2\sqrt{gH_s}r}\right) \tag{12.12}$$

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,r,T,H_s) \equiv Q_{fallo} - AT_{om}gH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) = 0 \tag{12.13}$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \tag{12.14}$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \tag{12.15}$$

$$Y_3 = \frac{r-\mu_r}{\sigma_r} \tag{12.16}$$

$$Y_4 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \tag{12.17}$$

$$Y_5 = \frac{T-\mu_T}{\sigma_T} \tag{12.18}$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \tag{12.19}$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,\ldots,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},\ldots,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{12.20}$$

9. Expresión de la aproximación del punto de fallo en función de los índices de sensibilidad (alfa) y del índice de fiabilidad (beta):

$$\left(Y_1^k,..,Y_n^k\right) = \left(\beta_{HL}^k\alpha_1^k,\ldots,\beta_{HL}^k\alpha_n^k\right) \tag{12.21}$$

10. Aproximación inicial al punto de fallo:

$$\left(Y_1^0,..,Y_n^0\right)=\left(\beta_{HL}^0\alpha_1^0,...,\beta_{HL}^0\alpha_n^0\right) \tag{12.22}$$

11. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]=\begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial H_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial T} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_T} \end{pmatrix} \tag{12.23}$$

12. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1}=\left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1}=\left[\sigma_{X_i}\right] \tag{12.24}$$

13. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \end{bmatrix}_{Y^k}=[J]^{-1}\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial r} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial T} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{12.25}$$

14. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1}=\left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{12.26}$$

15. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1}=\frac{-\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^{k+1}} \tag{12.27}$$

16. Índice de fiabilidad $\beta_{HL}{}^{k+1}$. Se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

$$Q_{fallo} - \left(\mu_A + \sigma_A \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_A^{k+1}\right)\left(\mu_T + \sigma_T \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_T^{k+1}\right) g\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_H^{k+1}\right)$$
$$\exp\left(\frac{-\left(\mu_B + \sigma_B \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_B^{k+1}\right) R_c}{\left(\mu_T + \sigma_T \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_T^{k+1}\right)\sqrt{g\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)}\left(\mu_r + \sigma_r \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_r^{k+1}\right)}\right) = 0 \qquad (12.28)$$

17. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$\left(Y_1^{k+1},..,Y_n^{k+1}\right) = \left(\beta_{HL}^{k+1} \alpha_1^{k+1},...,\beta_{HL}^{k+1} \alpha_n^{k+1}\right) \qquad (12.29)$$

18. Con los valores de alfa y beta obtenidos se repiten los pasos 9-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

19. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = -\frac{T_{om}\sqrt{gH_s}\, r}{B} \ln\left(\frac{Q_{fallo}}{A T_{om} g H_s}\right) \qquad (12.30)$$

20. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 7.1.2.

12.2 Van der Meer & Janssen (1995), $\xi_{op} < 2$.

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \qquad (12.31)$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\exp(-BR^*) \qquad (12.32)$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (12.33) y (12.34):

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}}\sqrt{\frac{S_{op}}{\tan\alpha}} \qquad (12.33)$$

$$R^* = \frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \qquad (12.34)$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud ($m^3/s/m$) queda definida por la expresión (12.35):

$$Q = \frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \qquad (12.35)$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

$$A, B, H_s, \tan\alpha, s_{op}, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta$$

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A, B, H_s, \tan\alpha, s_{op}, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta) \equiv Q_{fallo} - \frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)$$

(12.36)

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \tag{12.37}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B}=\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \tag{12.38}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial G}{\partial H_s}=&-\frac{3}{2}\frac{\sqrt{gH_s}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)+\\&-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s^2\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\end{aligned} \tag{12.39}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial G}{\partial\tan\alpha}=&-\frac{1}{2}\frac{\sqrt{gH_s^3}A}{\sqrt{s_{op}}\sqrt{\tan\alpha}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)+\\&-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha^2}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial G}{\partial s_{op}}=&\frac{1}{2}\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}^3}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)+\\&+\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{1}{2}\frac{R_c}{H_s^2\sqrt{s_{op}}\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\end{aligned} \tag{12.40}$$

$$\frac{\partial G}{\partial\gamma_r}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r^2\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \tag{12.41}$$

$$\frac{\partial G}{\partial\gamma_b}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b^2\gamma_h\gamma_\beta} \tag{12.42}$$

$$\frac{\partial G}{\partial\gamma_h}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h^2\gamma_\beta} \tag{12.43}$$

$$\frac{\partial G}{\partial\gamma_\beta}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta^2} \tag{12.44}$$

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s,\tan\alpha,s_{op},\gamma_r,\gamma_b,\gamma_h,\gamma_\beta)\equiv Q_{fallo}-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)=0$$

(12.45)

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1=\frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \tag{12.46}$$

$$Y_2=\frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \tag{12.47}$$

$$Y_3=\frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \tag{12.48}$$

$$Y_4=\frac{\tan\alpha-\mu_{\tan\alpha}}{\sigma_{\tan\alpha}} \tag{12.49}$$

$$Y_5=\frac{s_{op}-\mu_{s_{op}}}{\sigma_{s_{op}}} \tag{12.50}$$

$$Y_6=\frac{\gamma_r-\mu_{\gamma_r}}{\sigma_{\gamma_r}} \tag{12.51}$$

$$Y_7=\frac{\gamma_b-\mu_{\gamma_b}}{\sigma_{\gamma_b}} \tag{12.52}$$

$$Y_8=\frac{\gamma_h-\mu_{\gamma_h}}{\sigma_{\gamma_h}} \tag{12.53}$$

$$Y_9=\frac{\gamma_\beta-\mu_\beta}{\sigma_\beta} \tag{12.54}$$

y equivalentemente,

$$X_i=Y_i\sigma_{X_i}+\mu_{X_i} \tag{12.55}$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,\ldots,Y_n^k\right)=G\left(Y_1^k\sigma_{X_1}+\mu_{X_1},\ldots,Y_n^k\sigma_{X_n}+\mu_{X_n}\right) \tag{12.56}$$

9. Expresión de la aproximación del punto de fallo en función de los índices de sensibilidad (alfa) y del índice de fiabilidad (beta):

$$\left(Y_1^k,\ldots,Y_n^k\right)=\left(\beta_{HL}^k\alpha_1^k,\ldots,\beta_{HL}^k\alpha_n^k\right) \tag{12.57}$$

10. Aproximación inicial al punto de fallo:

$$\left(Y_1^0,..,Y_n^0\right)=\left(\beta_{HL}^0\alpha_1^0,...,\beta_{HL}^0\alpha_n^0\right) \tag{12.58}$$

11. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]=\begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial \tan\alpha} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial s_{op}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_6}{\partial \gamma_r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_7}{\partial \gamma_b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_8}{\partial \gamma_h} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_9}{\partial \gamma_\beta} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\tan\alpha}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{s_{op}}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_r}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_b}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_h}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_\beta}} \end{pmatrix}$$

(12.59)

12. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1}=\left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1}=\left[\sigma_{X_i}\right] \tag{12.60}$$

13. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_6} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_7} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_8} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_9} \end{bmatrix}_{Y^*}=[J]^{-1}\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial \tan\alpha} \\ \frac{\partial G}{\partial s_{op}} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_r} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_b} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_h} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} \end{bmatrix}_{X^*} \tag{12.61}$$

14. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial g^{k}}{\partial Y_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{12.62}$$

15. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{-\dfrac{\partial g^{k}}{\partial Y_i}}{K^{k+1}} \tag{12.63}$$

16. Índice de fiabilidad $\beta_{HL}{}^{k+1}$. Se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

$$Q_{fallo} - \frac{\sqrt{g\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{H_s}^{k+1}\right)^3}\sqrt{\left(\mu_{\tan\alpha} + \sigma_{\tan\alpha}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\tan\alpha}^{k+1}\right)}\left(\mu_A + \sigma_A\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_A^{k+1}\right)}{\sqrt{\left(\mu_{s_{op}} + \sigma_{s_{op}}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{s_{op}}^{k+1}\right)}}$$

$$\exp\left(-\left(\mu_B + \sigma_B\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_B^{k+1}\right) \frac{R_c\sqrt{\left(\mu_{s_{op}} + \sigma_{s_{op}}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{s_{op}}^{k+1}\right)}}{\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{H_s}^{k+1}\right)\left(\mu_{\tan\alpha} + \sigma_{\tan\alpha}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\tan\alpha}^{k+1}\right)} \right.$$

$$\left. \frac{1}{\left(\mu_{\gamma_r} + \sigma_{\gamma_r}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\gamma_r}^{k+1}\right)\left(\mu_{\gamma_b} + \sigma_{\gamma_b}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\gamma_b}^{k+1}\right)\left(\mu_{\gamma_h} + \sigma_{\gamma_h}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\gamma_h}^{k+1}\right)\left(\mu_{\gamma_\beta} + \sigma_{\gamma_\beta}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\gamma_\beta}^{k+1}\right)} \right) = 0$$

(12.64)

17. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$\left(Y_1^{k+1},..,Y_n^{k+1}\right) = \left(\beta_{HL}^{k+1}\alpha_1^{k+1},...,\beta_{HL}^{k+1}\alpha_n^{k+1}\right) \tag{12.65}$$

18. Con los valores de alfa y beta obtenidos se repiten los pasos 9-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

19. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = -\frac{\ln\left(\dfrac{Q\sqrt{s_{op}}}{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha A}} \right) H_s^3 \tan\alpha\ \gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}{B\sqrt{s_{op}}} \tag{12.66}$$

20. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 7.2.2.1

12.3 Van der Meer & Janssen (1995), $\xi_{op} > 2$.

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \qquad (12.67)$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\exp(-BR^*) \qquad (12.68)$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (12.69) y (12.70):

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}} \qquad (12.69)$$

$$R^* = \frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \qquad (12.70)$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión(12.71):

$$Q = \sqrt{gH_s^3}\,A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \qquad (12.71)$$

3. Variables aleatorias gaussianas independientes consideradas:

$$A, B, H_s, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta$$

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A, B, H_s, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta) \equiv Q_{fallo} - \sqrt{gH_s^3}\,A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \qquad (12.72)$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \qquad (12.73)$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = \sqrt{gH_s^3}\,A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \qquad (12.74)$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -\frac{3}{2}\sqrt{gH_s}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) - \sqrt{gH_s^2}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s^2}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}$$
(12.75)

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_r} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r^2\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \quad (12.76)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_b} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b^2\gamma_h\gamma_\beta} \quad (12.77)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_h} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h^2\gamma_\beta} \quad (12.78)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta^2} \quad (12.79)$$

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A, B, H_s, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta) \equiv Q_{fallo} - \sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) = 0 \quad (12.80)$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \quad (12.81)$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \quad (12.82)$$

$$Y_3 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \quad (12.83)$$

$$Y_4 = \frac{\gamma_r-\mu_{\gamma_r}}{\sigma_{\gamma_r}} \quad (12.84)$$

$$Y_5 = \frac{\gamma_b-\mu_{\gamma_b}}{\sigma_{\gamma_b}} \quad (12.85)$$

$$Y_6 = \frac{\gamma_h-\mu_{\gamma_h}}{\sigma_{\gamma_h}} \quad (12.86)$$

$$Y_7 = \frac{\gamma_\beta-\mu_\beta}{\sigma_\beta} \quad (12.87)$$

Y equivalentemente:

$$X_i = Y_i \sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \tag{12.88}$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,\ldots,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},\ldots,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{12.89}$$

9. Expresión de la aproximación del punto de fallo en función de los índices de sensibilidad (alfa) y del índice de fiabilidad (beta):

$$\left(Y_1^k,..,Y_n^k\right) = \left(\beta_{HL}^k \alpha_1^k,\ldots,\beta_{HL}^k \alpha_n^k\right) \tag{12.90}$$

10. Aproximación inicial al punto de fallo:

$$\left(Y_1^0,..,Y_n^0\right) = \left(\beta_{HL}^0 \alpha_1^0,\ldots,\beta_{HL}^0 \alpha_n^0\right) \tag{12.91}$$

11. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial \gamma_r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial \gamma_b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_6}{\partial \gamma_h} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_7}{\partial \gamma_\beta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_r}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_b}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_h}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_\beta}} \end{pmatrix}$$

(12.92)

12. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \tag{12.93}$$

13. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_6} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_7} \end{bmatrix}_{Y^k} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_r} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_b} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_h} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{12.94}$$

14. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{12.95}$$

15. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{-\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^{k+1}} \tag{12.96}$$

16. Índice de fiabilidad $\beta_{HL}{}^{k+1}$. Se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

$$Q_{fallo} - \sqrt{g\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{H_s}^{k+1}\right)^3}\left(\mu_A + \sigma_A\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_A^{k+1}\right)\exp\left(-\left(\mu_B + \sigma_B\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_B^{k+1}\right)\frac{R_c}{\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{H_s}^{k+1}\right)}\right.$$

$$\left.\frac{1}{\left(\mu_{\gamma_r} + \sigma_{\gamma_r}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\gamma_r}^{k+1}\right)\left(\mu_{\gamma_b} + \sigma_{\gamma_b}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\gamma_b}^{k+1}\right)\left(\mu_{\gamma_h} + \sigma_{\gamma_h}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\gamma_h}^{k+1}\right)\left(\mu_{\gamma_\beta} + \sigma_{\gamma_\beta}\beta_{HL}{}^{k+1}\alpha_{\gamma_\beta}^{k+1}\right)}\right) = 0$$

(12.97)

17. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$\left(Y_1^{k+1},..,Y_n^{k+1}\right) = \left(\beta_{HL}^{k+1}\alpha_1^{k+1},...,\beta_{HL}^{k+1}\alpha_n^{k+1}\right) \tag{12.98}$$

18. Con los valores de alfa y beta obtenidos se repiten los pasos 9-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

19. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0

$$R_c = -\frac{\ln\left(\frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}A}\right)H_s^3 \tan\alpha \; \gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}{B} \tag{12.99}$$

20. Análisis de resultados.

Se incluyen en el capítulo 7.2.3.1.

12.4 Bradbury & Allsop (1988).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \qquad (12.100)$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\left(F^*\right)^{-B} \qquad (12.101)$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (12.102) y (12.103):

$$Q^* = \frac{Q}{T_{om} g H_s} \qquad (12.102)$$

$$F^* = \left(\frac{R_c}{H_s}\right)^2 \left(\frac{s_{om}}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{R_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}} \frac{R_c}{H_s} \qquad (12.103)$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión:

$$Q = A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \qquad (12.104)$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, H_s, T

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,H_s,T) \equiv Q_{fallo} - A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \qquad (12.105)$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \qquad (12.106)$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \ln\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right) \qquad (12.107)$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -AT_{om}g\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} - AgH_sT_{om}\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B-1} B\frac{3}{2}H_s^{-\frac{5}{2}}\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{g}}$$

(12.108)

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -AgH_s\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} - AT_{om}gH_sB\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B-1}\left(\frac{R_c^2}{T_{om}{}^2\sqrt{gH_s}H_s}\right)$$

(12.109)

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s,T) \equiv Q_{fallo} - AT_{om}gH_s\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} = 0 \qquad (12.110)$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \qquad (12.111)$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \qquad (12.112)$$

$$Y_3 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \qquad (12.113)$$

$$Y_4 = \frac{T-\mu_T}{\sigma_T} \qquad (12.114)$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \qquad (12.115)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \qquad (12.116)$$

9. Expresión de la aproximación del punto de fallo en función de los índices de sensibilidad (alfa) y del índice de fiabilidad (beta):

$$\left(Y_1^k,..,Y_n^k\right) = \left(\beta_{HL}^k\alpha_1^k,...,\beta_{HL}^k\alpha_n^k\right) \qquad (12.117)$$

10. Aproximación inicial al punto de fallo:

$$\left(Y_1^0,..,Y_n^0\right) = \left(\beta_{HL}^0\alpha_1^0,...,\beta_{HL}^0\alpha_n^0\right) \qquad (12.118)$$

11. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \dfrac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dfrac{\partial Y_4}{\partial T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dfrac{1}{\sigma_T} \end{pmatrix} \tag{12.119}$$

12. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \tag{12.120}$$

13. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \dfrac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \dfrac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \dfrac{\partial g}{\partial Y_4} \end{bmatrix}_{Y^k} = J^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial G}{\partial A} \\ \dfrac{\partial G}{\partial B} \\ \dfrac{\partial G}{\partial H_s} \\ \dfrac{\partial G}{\partial T} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{12.121}$$

14. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{12.122}$$

15. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{-\dfrac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^{k+1}} \tag{12.123}$$

16. Índice de fiabilidad $\beta_{HL}{}^{k+1}$. Se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

$$Q_{fallo} - \left(\mu_A + \sigma_A \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_A^{k+1}\right)\left(\mu_T + \sigma_T \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_T^{k+1}\right) g \left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)$$

$$\left(\frac{R_c^2}{\left(\mu_T + \sigma_T \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_T^{k+1}\right) \sqrt{g \left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)} \left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)} \right)^{-\left(\mu_B + \sigma_B \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_B^{k+1}\right)} = 0$$

(12.124)

17. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$\left(Y_1^{k+1}, .., Y_n^{k+1}\right) = \left(\beta_{HL}^{k+1} \alpha_1^{k+1}, ..., \beta_{HL}^{k+1} \alpha_n^{k+1}\right) \qquad (12.125)$$

18. Con los valores de alfa y beta obtenidos se repiten los pasos 9-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

19. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = \left(T_{om} \sqrt{g H_s} H_s \left(\frac{Q_{fallo}}{A g H_s T_{om}} \right)^{-\frac{1}{B}} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (12.126)$$

20. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 8.1.2.

12.5 Aminti & Franco (1988).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{12.127}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\left(F^*\right)^{-B} \tag{12.128}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (12.129) y (12.130):

$$Q^* = \frac{Q}{T_{om} g H_s} \tag{12.129}$$

$$F^* = \left(\frac{R_c}{H_s}\right)^2 \left(\frac{s_{om}}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{R_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}} \frac{R_c}{H_s} \tag{12.130}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión (12.5):

$$Q = A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \tag{12.131}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, H_s, T

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,H_s,T) \equiv Q_{fallo} - A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \tag{12.132}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \tag{12.133}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \ln\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right) \tag{12.134}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -AT_{om}g\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} - AgH_sT_{om}\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B-1} B\frac{3}{2}H_s^{-\frac{5}{2}}\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{g}}$$
(12.135)

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -AgH_s\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} - AT_{om}gH_sB\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B-1}\left(\frac{R_c^2}{T_{om}{}^2\sqrt{gH_s}H_s}\right)$$
(12.136)

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s,T) \equiv Q_{fallo} - AT_{om}gH_s\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} = 0 \qquad (12.137)$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \qquad (12.138)$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \qquad (12.139)$$

$$Y_3 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \qquad (12.140)$$

$$Y_4 = \frac{T-\mu_T}{\sigma_T} \qquad (12.141)$$

Y equivalentemente:

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \qquad (12.142)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \qquad (12.143)$$

9. Expresión de la aproximación del punto de fallo en función de los índices de sensibilidad (alfa) y del índice de fiabilidad (beta):

$$\left(Y_1^k,..,Y_n^k\right) = \left(\beta_{HL}^k\alpha_1^k,...,\beta_{HL}^k\alpha_n^k\right) \qquad (12.144)$$

10. Aproximación inicial al punto de fallo:

$$\left(Y_1^0,..,Y_n^0\right) = \left(\beta_{HL}^0\alpha_1^0,...,\beta_{HL}^0\alpha_n^0\right) \qquad (12.145)$$

11. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_T} \end{pmatrix} \tag{12.146}$$

12. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \tag{12.147}$$

13. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \end{bmatrix}_{Y^k} = J^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial T} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{12.148}$$

14. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{12.149}$$

15. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{-\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^{k+1}} \tag{12.150}$$

16. Índice de fiabilidad $\beta_{HL}{}^{k+1}$. Se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

$$Q_{fallo} - \left(\mu_A + \sigma_A \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_A^{k+1}\right)\left(\mu_T + \sigma_T \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_T^{k+1}\right) g \left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)$$
$$\left(\frac{R_c^2}{\left(\mu_T + \sigma_T \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_T^{k+1}\right)\sqrt{g\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)}\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)} \right)^{-\left(\mu_B + \sigma_B \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_B^{k+1}\right)} = 0$$
(12.151)

17. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$\left(Y_1^{k+1},..,Y_n^{k+1}\right) = \left(\beta_{HL}^{k+1}\alpha_1^{k+1},...,\beta_{HL}^{k+1}\alpha_n^{k+1}\right) \quad (12.152)$$

18. Con los valores de alfa y beta obtenidos se repiten los pasos 9-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

19. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = \left(T_{om}\sqrt{gH_s}H_s \left(\frac{Q_{fallo}}{AgH_sT_{om}} \right)^{-\frac{1}{B}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12.153)$$

20. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 8.2.2.

12.6 Pedersen (1996).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo}^{Burcharth} - Q \tag{12.154}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = R^* \tag{12.155}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (12.156) y(12.157):

$$Q^* = \frac{QT_{om}}{L_{om}^2} \tag{12.156}$$

$$R^* = C\frac{H_s^5 \tan\alpha}{R_c^3 A_c B} \tag{12.157}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión:

$$Q = \frac{L_{om}^2 C}{T_{om}}\frac{H_s^5 \tan\alpha}{R_c^3 A_c B} \tag{12.158}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

$$L_{om}, C, T_{om}, H_s, A, B, \tan\alpha$$

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(L_{om}, C, T_{om}, H_s, A, B, \tan\alpha) \equiv Q_{fallo} - \frac{L_{om}^2 C}{T_{om}}\frac{H_s^5 \tan\alpha}{R_c^3 A_c B} \tag{12.159}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial L} = -\frac{2L_{om}CH_s^5 \tan\alpha}{T_{om}R_c^3 A_c B} \tag{12.160}$$

$$\frac{\partial G}{\partial C} = -\frac{L_{om}^2 H_s^5 \tan\alpha}{T_{om}R_c^3 A_c B} \tag{12.161}$$

$$\frac{\partial G}{\partial T_{om}} = \frac{CL_{om}^2 H_s^5 \tan\alpha}{T_{om}^2 R_c^3 A_c B} \tag{12.162}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -\frac{5L_{om}^2 C H_s^4 \tan\alpha}{T_{om} R_c^3 A_c B} \quad (12.163)$$

$$\frac{\partial G}{\partial A} = \frac{L_{om}^2 C H_s^5 \tan\alpha}{T_{om} R_c^3 A_c^2 B}$$

(12.164)

$$\frac{\partial G}{\partial B} = \frac{L_{om}^2 C H_s^5 \tan\alpha}{T_{om} R_c^3 A_c B^2}$$

(12.165)

$$\frac{\partial G}{\partial \tan\alpha} = -\frac{L_{om}^2 C H_s^5}{T_{om} R_c^3 A_c B}$$

(12.166)

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(L_{om}, C, T_{om}, H_s, A, B, \tan\alpha) \equiv Q_{fallo} - \frac{L_{om}^2 C}{T_{om}} \frac{H_s^5 \tan\alpha}{R_c^3 A_c B} = 0 \quad (12.167)$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{L_{om} - \mu_{L_{om}}}{\sigma_{L_{om}}} \quad (12.168)$$

$$Y_2 = \frac{C - \mu_C}{\sigma_C} \quad (12.169)$$

$$Y_3 = \frac{T_{om} - \mu_{T_{om}}}{\sigma_{T_{om}}} \quad (12.170)$$

$$Y_4 = \frac{H_s - \mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \quad (12.171)$$

$$Y_5 = \frac{A_c - \mu_{A_c}}{\sigma_{A_c}} \quad (12.172)$$

$$Y_6 = \frac{B - \mu_B}{\sigma_B} \quad (12.173)$$

$$Y_7 = \frac{\tan\alpha - \mu_{\tan\alpha}}{\sigma_{\tan\alpha}} \quad (12.174)$$

Y equivalentemente:

$$X_i = Y_i \sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \quad (12.175)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k, ..., Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1}, ..., Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \quad (12.176)$$

9. Expresión de la aproximación del punto de fallo en función de los índices de sensibilidad (alfa) y del índice de fiabilidad (beta):

$$\left(Y_1^k,..,Y_n^k\right)=\left(\beta_{HL}^k\alpha_1^k,...,\beta_{HL}^k\alpha_n^k\right) \tag{12.177}$$

10. Aproximación inicial al punto de fallo:

$$\left(Y_1^0,..,Y_n^0\right)=\left(\beta_{HL}^0\alpha_1^0,...,\beta_{HL}^0\alpha_n^0\right) \tag{12.178}$$

11. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]=\begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial L_{om}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial C} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial T_{om}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial H_s} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial A_c} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_6}{\partial B} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_7}{\partial \tan\alpha} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_{L_{om}}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_C} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{T_{om}}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{A_c}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\tan\alpha}} \end{pmatrix}$$

(12.179)

12. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1}=\left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1}=\left[\sigma_{X_i}\right] \tag{12.180}$$

13. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_6} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_7} \end{bmatrix}_{Y^k}=[J]^{-1}\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial L_{om}} \\ \frac{\partial G}{\partial C} \\ \frac{\partial G}{\partial T_{om}} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial A_c} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial \tan\alpha} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{12.181}$$

14. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{12.182}$$

15. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{-\dfrac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^{k+1}} \tag{12.183}$$

16. Índice de fiabilidad $\beta_{HL}{}^{k+1}$. Se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

$$Q_{fallo} - \frac{\left(\mu_{L_{om}} + \sigma_{L_{om}} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{L_{om}}^{k+1}\right)^2 \left(\mu_C + \sigma_C \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_C^{k+1}\right)}{\left(\mu_{T_{om}} + \sigma_{T_{om}} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{T_{om}}^{k+1}\right)} \frac{\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)^5 \left(\mu_{\tan\alpha} + \sigma_{\tan\alpha} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{\tan\alpha}^{k+1}\right)}{R_c^3 \left(\mu_{A_c} + \sigma_{A_c} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{A_c}^{k+1}\right)\left(\mu_B + \sigma_B \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_B^{k+1}\right)} = 0$$

(12.184)

17. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$\left(Y_1^{k+1},..,Y_n^{k+1}\right) = \left(\beta_{HL}^{k+1}\alpha_1^{k+1},...,\beta_{HL}^{k+1}\alpha_n^{k+1}\right) \tag{12.185}$$

18. Con los valores de alfa y beta obtenidos se repiten los pasos 9-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

19. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = \sqrt[3]{\frac{L_{om}^2 C H_s^5 \tan\alpha}{T_{om} Q A_c B}} \tag{12.186}$$

20. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 8.3.2.

12.7 De Waal et al. (1996).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{12.187}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q = A \exp\left(B \frac{R_c}{H_{os}} \right) \tag{12.188}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, H_s

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A, B, H_s) \equiv Q_{fallo} - A \exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right) = 0 \tag{12.189}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -\exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right) \tag{12.190}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = -A \exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right)\left(\frac{R_c}{H_s} \right) \tag{12.191}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -A \exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right)(-1) H_s^{-2} B R_c \tag{12.192}$$

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A, B, H_s) \equiv Q_{fallo} - A \exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right) = 0 \tag{12.193}$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A - \mu_A}{\sigma_A} \tag{12.194}$$

$$Y_2 = \frac{B - \mu_B}{\sigma_B} \tag{12.195}$$

$$Y_3 = \frac{H_s - \mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \tag{12.196}$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i \sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \quad (12.197)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \quad (12.198)$$

9. Expresión de la aproximación del punto de fallo en función de los índices de sensibilidad (alfa) y del índice de fiabilidad (beta):

$$\left(Y_1^k,..,Y_n^k\right) = \left(\beta_{HL}^k \alpha_1^k,...,\beta_{HL}^k \alpha_n^k\right) \quad (12.199)$$

10. Aproximación inicial al punto de fallo:

$$\left(Y_1^0,..,Y_n^0\right) = \left(\beta_{HL}^0 \alpha_1^0,...,\beta_{HL}^0 \alpha_n^0\right) \quad (12.200)$$

11. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial G}{\partial B} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial G}{\partial H_s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} \end{pmatrix} \quad (12.201)$$

12. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \quad (12.202)$$

13. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \end{bmatrix}_{Y^k} = J^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \end{bmatrix}_{X^k} \quad (12.203)$$

14. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{12.204}$$

15. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{-\dfrac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^{k+1}} \tag{12.205}$$

16. Índice de fiabilidad $\beta_{HL}{}^{k+1}$. Se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

$$Q_{fallo} - \left(\mu_A + \sigma_A \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_A^{k+1}\right) \exp\left(\frac{\left(\mu_B + \sigma_B \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_B^{k+1}\right) R_c}{\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{3H_s}^{k+1}\right)} \right) = 0 \tag{12.206}$$

17. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$\left(Y_1^{k+1},..,Y_n^{k+1}\right) = \left(\beta_{HL}^{k+1}\alpha_1^{k+1},...,\beta_{HL}^{k+1}\alpha_n^{k+1}\right) \tag{12.207}$$

18. Con los valores de alfa y beta obtenidos se repiten los pasos 9-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

19. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0

20.

$$R_c = \frac{H_s}{B} \ln\left(\frac{Q_{fallo}}{A} \right) \tag{12.208}$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 9.1.2.

12.8 Franco & Franco (1999).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{12.209}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\exp\left(-BR^*\right) \tag{12.210}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (12.211) y (12.212):

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}} \tag{12.211}$$

$$R^* = \frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s} \tag{12.212}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión:

$$Q = A\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right) \tag{12.213}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, H_s, γ_β , γ_s

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,H_s,\gamma_\beta,\gamma_s) \equiv Q_{fallo} - A\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right) \tag{12.214}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right) \tag{12.215}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = A\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right)\left(\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right) \tag{12.216}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -\sqrt{g}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right)\frac{3}{2}H_s^{\frac{1}{2}} - \sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right)B\frac{R_c}{H_s^2}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}$$
(12.217)

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta^2\gamma_s} \qquad (12.218)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_s} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s^2}$$
(12.219)

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s,\gamma_\beta,\gamma_s) \equiv Q_{fallo} - A\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right) = 0 \qquad (12.220)$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \qquad (12.221)$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \qquad (12.222)$$

$$Y_3 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \qquad (12.223)$$

$$Y_4 = \frac{\gamma_\beta-\mu_{\gamma_\beta}}{\sigma_{\gamma_\beta}} \qquad (12.224)$$

$$Y_5 = \frac{\gamma_s-\mu_{\gamma_s}}{\sigma_{\gamma_s}} \qquad (12.225)$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \qquad (12.226)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,\ldots,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},\ldots,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \qquad (12.227)$$

9. Expresión de la aproximación del punto de fallo en función de los índices de sensibilidad (alfa) y del índice de fiabilidad (beta):

$$\left(Y_1^k,..,Y_n^k\right) = \left(\beta_{HL}^k\alpha_1^k,\ldots,\beta_{HL}^k\alpha_n^k\right) \qquad (12.228)$$

10. Aproximación inicial al punto de fallo:

$$\left(Y_1^0,..,Y_n^0\right) = \left(\beta_{HL}^0\alpha_1^0,\ldots,\beta_{HL}^0\alpha_n^0\right) \qquad (12.229)$$

11. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial \gamma_\beta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial \gamma_s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_\beta}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_s}} \end{pmatrix}$$

(12.230)

12. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \tag{12.231}$$

13. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \end{bmatrix}_{Y^k} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_s} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{12.232}$$

14. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{12.233}$$

15. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{-\dfrac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^{k+1}} \qquad (12.234)$$

16. Índice de fiabilidad $\beta_{HL}{}^{k+1}$. Se obtiene resolviendo la ecuación siguiente:

$$Q_{fallo} - \left(\mu_A + \sigma_A \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_A^{k+1}\right) \sqrt{g\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)^3}$$
$$\exp\left(-\left(\mu_B + \sigma_B \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_B^{k+1}\right) R_c \frac{R_c}{\left(\mu_{H_s} + \sigma_{H_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{H_s}^{k+1}\right)} \frac{1}{\left(\mu_{\gamma_\beta} + \sigma_{\gamma_\beta} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{\gamma_\beta}^{k+1}\right)\left(\mu_{\gamma_s} + \sigma_{\gamma_s} \beta_{HL}{}^{k+1} \alpha_{\gamma_s}^{k+1}\right)} \right) = 0$$
(12.235)

17. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$\left(Y_1^{k+1}, .., Y_n^{k+1}\right) = \left(\beta_{HL}^{k+1} \alpha_1^{k+1}, ..., \beta_{HL}^{k+1} \alpha_n^{k+1}\right) \qquad (12.236)$$

18. Con los valores de alfa y beta obtenidos se repiten los pasos 9-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

19. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = -\frac{H_s \gamma_\beta \gamma_s}{B} \ln\left(\frac{Q_{fallo}}{A\sqrt{g H_s^3}} \right) \qquad (12.237)$$

20. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 9.2.2.

13 Anejo 2: Desarrollos de la aproximación de primer orden (FMA).

13.1 Owen (1980).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{13.1}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\exp\left(\frac{-BR^*}{r}\right) \tag{13.2}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (13.3) y (13.4):

$$Q^* = \frac{Q}{T_{om} g H_s} \tag{13.3}$$

$$R^* = \frac{R_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}} \tag{13.4}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión (13.5):

$$Q = T_{om} g H_s A \exp\left(\frac{-BR_c}{rT_{om}\sqrt{gH_s}}\right) \tag{13.5}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, r, H_s, T

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,r,T,H_s) \equiv Q_{fallo} - AT_{om} g H_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}\,r}\right) \tag{13.6}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -T_{om} g H_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}\,r}\right) \tag{13.7}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = AT_{om} g H_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}\,r}\right)\left(\frac{R_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}\,r}\right) \tag{13.8}$$

$$\frac{\partial G}{\partial r} = -AT_{om}gH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right)\left(\frac{BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r^2}\right) \tag{13.9}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -AT_{om}g \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) - AT_{om}gH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right)\left(\frac{BR_cH}{2\sqrt{gH_s}rH_s}\right) \tag{13.10}$$

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -AgH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) - AT_{om}gH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right)\left(\frac{BR_c}{T_{om}{}^2\sqrt{gH_s}r}\right) \tag{13.11}$$

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,r,T,H_s) \equiv Q_{fallo} - AT_{om}gH_s \exp\left(\frac{-BR_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}r}\right) = 0 \tag{13.12}$$

7. Definición de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \tag{13.13}$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \tag{13.14}$$

$$Y_3 = \frac{r-\mu_r}{\sigma_r} \tag{13.15}$$

$$Y_4 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \tag{13.16}$$

$$Y_5 = \frac{T-\mu_T}{\sigma_T} \tag{13.17}$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \tag{13.18}$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.19}$$

9. Aproximación inicial al punto de diseño:

$$X^{(0)} = \left(A^{(0)}, B^{(0)}, r^{(0)}, T^{(0)}, H_s{}^{(0)}\right) = \left(\mu_A, \mu_B, \mu_r, \mu_T, \mu_{H_s}\right) \tag{13.20}$$

$$(Y_1^0,....,Y_n^0) = (0,...,0) \tag{13.21}$$

10. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]=\begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial H_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial T} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_T} \end{pmatrix} \tag{13.22}$$

11. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1}=\left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1}=\left[\sigma_{X_i}\right] \tag{13.23}$$

12. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \end{bmatrix}_{Y^k}=[J]^{-1}\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial r} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial T} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{13.24}$$

13. Aproximación a la ecuación de verificación (linealizada) en las variables normalizadas:

$$g_L\left(Y_1^k,\ldots,Y_n^k\right)=a_0^k+a_1^kY_1^k+\ldots+a_n^kY_n^k \tag{13.25}$$

14. Coeficientes a_i^k :

$$a_i^k=\left.\frac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}\right|_{Y^k} \tag{13.26}$$

$$a_0^k=g_L(Y^k)-(a_1^kY_1^k+\ldots+a_n^kY_n^k)=G(X^k)-(a_1^kY_1^k+\ldots+a_n^kY_n^k) \tag{13.27}$$

donde

$$G\left(X_1^k,\ldots,X_n^k\right)=G\left(Y_1^k\sigma_{X_1}+\mu_{X_1},\ldots,Y_n^k\sigma_{X_n}+\mu_{X_n}\right) \tag{13.28}$$

15. Índice de fiabilidad β_{HL}^k :

$$\beta_{HL}^{k} = \frac{a_0^k}{\sqrt{a_1^{k^2} + \ldots + a_n^{k^2}}} = \frac{a_0^k}{K^k} \tag{13.29}$$

16. Índices de sensibilidad α_i^k:

$$\alpha_i^k = \frac{\dfrac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^k} \tag{13.30}$$

17. Coeficiente K^k:

$$K^k = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{k^2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{13.31}$$

18. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$(Y_1^{k+1},\ldots,Y_n^{k+1}) = -\beta_{HL}^{k+1}(\alpha_1^{k+1},\ldots,\alpha_n^{k+1}) \tag{13.32}$$

19. Se repiten los pasos 8-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

20. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = -\frac{T_{om}\sqrt{gH_s}\,r}{B}\ln\left(\frac{Q_{fallo}}{AT_{om}gH_s}\right) \tag{13.33}$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 7.1.3.

13.2 Van der Meer & Janssen (1995), $\xi_{op} < 2$.

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{13.34}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\exp(-BR^*) \tag{13.35}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (13.36) y (13.37):

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}}\sqrt{\frac{S_{op}}{\tan\alpha}} \tag{13.36}$$

$$R^* = \frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \tag{13.37}$$

Expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m):

$$Q = \frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \tag{13.38}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

$$A, B, H_s, \tan\alpha, s_{op}, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta$$

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A, B, H_s, \tan\alpha, s_{op}, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta) \equiv Q_{fallo} - \frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)$$

(13.39)

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \tag{13.40}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B}=\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \tag{13.41}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial G}{\partial H_s}=&-\frac{3}{2}\frac{\sqrt{gH_s}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)+\\&-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s^2\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\end{aligned} \tag{13.42}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial G}{\partial \tan\alpha}=&-\frac{1}{2}\frac{\sqrt{gH_s^3}A}{\sqrt{s_{op}}\sqrt{\tan\alpha}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)+\\&-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha^2}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\end{aligned} \tag{13.43}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial G}{\partial s_{op}}=&\frac{1}{2}\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}^3}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)+\\&+\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{1}{2}\frac{R_c}{H_s^2\sqrt{s_{op}}\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\end{aligned} \tag{13.44}$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_r}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r^2\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \tag{13.45}$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_b}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b^2\gamma_h\gamma_\beta} \tag{13.46}$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_h}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h^2\gamma_\beta} \tag{13.47}$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta}=-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta^2} \tag{13.48}$$

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s,\tan\alpha,s_{op},\gamma_r,\gamma_b,\gamma_h,\gamma_\beta)\equiv Q_{fallo}-\frac{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha}A}{\sqrt{s_{op}}}\exp\left(-B\frac{R_c\sqrt{s_{op}}}{H_s\tan\alpha}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)=0$$

(13.49)

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A - \mu_A}{\sigma_A} \tag{13.50}$$

$$Y_2 = \frac{B - \mu_B}{\sigma_B} \tag{13.51}$$

$$Y_3 = \frac{H_s - \mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \tag{13.52}$$

$$Y_4 = \frac{\tan\alpha - \mu_{\tan\alpha}}{\sigma_{\tan\alpha}} \tag{13.53}$$

$$Y_5 = \frac{s_{op} - \mu_{s_{op}}}{\sigma_{s_{op}}} \tag{13.54}$$

$$Y_6 = \frac{\gamma_r - \mu_{\gamma_r}}{\sigma_{\gamma_r}} \tag{13.55}$$

$$Y_7 = \frac{\gamma_b - \mu_{\gamma_b}}{\sigma_{\gamma_b}} \tag{13.56}$$

$$Y_8 = \frac{\gamma_h - \mu_{\gamma_h}}{\sigma_{\gamma_h}} \tag{13.57}$$

$$Y_9 = \frac{\gamma_\beta - \mu_\beta}{\sigma_\beta} \tag{13.58}$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i \sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \tag{13.59}$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas :

$$g\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.60}$$

9. Aproximación inicial al punto de diseño:

$$X^{(0)} = \left(A^{(0)}, B^{(0)}, H_s^{(0)}, \tan\alpha^{(0)}, s_{op}^{(0)}, \gamma_r^{(0)}, \gamma_b^{(0)}, \gamma_h^{(0)}, \gamma_\beta^{(0)}\right) = \left(\mu_A, \mu_B, \mu_{H_s}, \mu_{\tan\alpha}, \mu_{s_{op}}, \mu_{\gamma_r}, \mu_{\gamma_b}, \mu_{\gamma_h}, \mu_{\gamma_\beta}\right) \tag{13.61}$$

$$(Y_1^0,....,Y_n^0) = (0,...,0) \tag{13.62}$$

10. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]=\begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial \tan\alpha} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial s_{op}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_6}{\partial \gamma_r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_7}{\partial \gamma_b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_8}{\partial \gamma_h} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_9}{\partial \gamma_\beta} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\tan\alpha}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{s_{op}}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_r}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_b}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_h}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_\beta}} \end{pmatrix} \qquad (13.63)$$

11. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1}=\left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1}=\left[\sigma_{X_i}\right] \qquad (13.64)$$

12. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_6} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_7} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_8} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_9} \end{bmatrix}_{Y^k}=[J]^{-1}\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial \tan\alpha} \\ \frac{\partial G}{\partial s_{op}} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_r} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_b} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_h} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} \end{bmatrix}_{X^k} \qquad (13.65)$$

13. Aproximación a la ecuación de verificación (linealizada) en las variables normalizadas:

$$g_L\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = a_0^k + a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k \tag{13.66}$$

14. Coeficientes a_i^k:

$$a_i^k = \left.\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k\right|_{Y^k} \tag{13.67}$$

$$a_0^k = g_L(Y^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) = G(X^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) \tag{13.68}$$

Donde:

$$G\left(X_1^k,...,X_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.69}$$

15. Índice de fiabilidad β_{HL}^k:

$$\beta_{HL}^k = \frac{a_0^k}{\sqrt{a_1^{k^2} + ... + a_n^{k^2}}} = \frac{a_0^k}{K^k} \tag{13.70}$$

16. Índices de sensibilidad α_i^k:

$$\alpha_i^k = \frac{\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k}{K^k} \tag{13.71}$$

17. Coeficiente K^k:

$$K^k = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{k^2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{13.72}$$

18. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$(Y_1^{k+1},....,Y_n^{k+1}) = -\beta_{HL}^{k+1}(\alpha_1^{k+1},...,\alpha_n^{k+1}) \tag{13.73}$$

19. Se repiten los pasos 8-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

20. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = -\frac{\ln\left(\frac{Q\sqrt{s_{op}}}{\sqrt{gH_s^3}\sqrt{\tan\alpha A}}\right) H_s^3 \tan\alpha\ \gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}{B\sqrt{s_{op}}} \tag{13.74}$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 7.2.2.2.

13.3 Van der Meer & Janssen (1995), $\xi_{op} > 2$.

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo}^{Burcharth} - Q \tag{13.75}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\exp(-BR^*) \tag{13.76}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (13.77) y (13.78):

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}} \tag{13.77}$$

$$R^* = \frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \tag{13.78}$$

Expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m³/s/m):

$$Q = \sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \tag{13.79}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

$$A, B, H_s, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta$$

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A, B, H_s, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta) \equiv Q_{fallo} - \sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \tag{13.80}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) \tag{13.81}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = \sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \tag{13.82}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -\frac{3}{2}\sqrt{gH_s}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) - \sqrt{gH_s^2}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s^2}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}$$
(13.83)

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_r} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r^2\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta} \quad (13.84)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_b} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b^2\gamma_h\gamma_\beta} \quad (13.85)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_h} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h^2\gamma_\beta} \quad (13.86)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta^2} \quad (13.87)$$

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A, B, H_s, \gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta) \equiv Q_{fallo} - \sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta}\right) = 0 \quad (13.88)$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \quad (13.89)$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \quad (13.90)$$

$$Y_3 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \quad (13.91)$$

$$Y_4 = \frac{\gamma_r-\mu_{\gamma_r}}{\sigma_{\gamma_r}} \quad (13.92)$$

$$Y_5 = \frac{\gamma_b-\mu_{\gamma_b}}{\sigma_{\gamma_b}} \quad (13.93)$$

$$Y_6 = \frac{\gamma_h-\mu_{\gamma_h}}{\sigma_{\gamma_h}} \quad (13.94)$$

$$Y_7 = \frac{\gamma_\beta-\mu_\beta}{\sigma_\beta} \quad (13.95)$$

Y equivalentemente:

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \quad (13.96)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas :

$$g\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.97}$$

9. Aproximación inicial al punto de diseño:

$$X^{(0)} = \left(A^{(0)}, B^{(0)}, H_s^{(0)}, \gamma_r^{(0)}, \gamma_b^{(0)}, \gamma_h^{(0)}, \gamma_\beta^{(0)}\right) = \left(\mu_A, \mu_B, \mu_{H_s}, \mu_{\gamma_r}, \mu_{\gamma_b}, \mu_{\gamma_h}, \mu_{\gamma_\beta}\right) \tag{13.98}$$

$$(Y_1^0,....,Y_n^0) = (0,...,0) \tag{13.99}$$

10. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial \gamma_r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial \gamma_b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_6}{\partial \gamma_h} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_7}{\partial \gamma_\beta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_r}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_b}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_h}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_\beta}} \end{pmatrix}$$

(13.100)

11. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \tag{13.101}$$

12. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_6} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_7} \end{bmatrix}_{Y^k} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_r} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_b} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_h} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{13.102}$$

13. Aproximación a la ecuación de verificación (linealizada) en las variables normalizadas :

$$g_L\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = a_0^k + a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k \tag{13.103}$$

14. Coeficientes a_i^k :

$$a_i^k = \left.\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k\right|_{Y^k} \tag{13.104}$$

$$a_0^k = g_L(Y^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) = G(X^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) \tag{13.105}$$

donde

$$G\left(X_1^k,...,X_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.106}$$

15. Índice de fiabilidad β_{HL}^k :

$$\beta_{HL}^k = \frac{a_0^k}{\sqrt{a_1^{k^2} + ... + a_n^{k^2}}} = \frac{a_0^k}{K^k} \tag{13.107}$$

16. Índices de sensibilidad α_i^k :

$$\alpha_i^k = \frac{\dfrac{\partial g}{\partial Y_i}^k}{K^k} \tag{13.108}$$

17. Coeficiente K^k :

$$K^k = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{k^2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{13.109}$$

18. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$(Y_1^{k+1},....,Y_n^{k+1}) = -\beta_{HL}^{k+1}(\alpha_1^{k+1},...,\alpha_n^{k+1}) \tag{13.110}$$

19. Se repiten los pasos 8-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

20. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = -\frac{\ln\left(\dfrac{Q}{\sqrt{gH_s^3}A}\right) H_s^3 \tan\alpha \; \gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}{B} \tag{13.111}$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 7.2.2.2.

13.4 Bradbury & Allsop (1988).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{13.112}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\left(F^*\right)^{-B} \tag{13.113}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (13.114) y(13.115):

$$Q^* = \frac{Q}{T_{om} g H_s} \tag{13.114}$$

$$F^* = \left(\frac{R_c}{H_s}\right)^2 \left(\frac{s_{om}}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{R_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}} \frac{R_c}{H_s} \tag{13.115}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión:

$$Q = A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \tag{13.116}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, H_s, T

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,H_s,T) \equiv Q_{fallo} - A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \tag{13.117}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \tag{13.118}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right)^{-B} \ln\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s} H_s}\right) \tag{13.119}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -AT_{om}g\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} - AgH_sT_{om}\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B-1} B\frac{3}{2}H_s^{-\frac{5}{2}}\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{g}}$$
(13.120)

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -AgH_s\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} - AT_{om}gH_sB\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B-1}\left(\frac{R_c^2}{T_{om}{}^2\sqrt{gH_s}H_s}\right)$$
(13.121)

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s,T) \equiv Q_{fallo} - AT_{om}gH_s\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} = 0 \qquad (13.122)$$

7. Definición de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \qquad (13.123)$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \qquad (13.124)$$

$$Y_3 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \qquad (13.125)$$

$$Y_4 = \frac{T-\mu_T}{\sigma_T} \qquad (13.126)$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \qquad (13.127)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas :

$$g\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \qquad (13.128)$$

9. Aproximación inicial al punto de diseño:

$$X^{(0)} = \left(A^{(0)}, B^{(0)}, H_s{}^{(0)}, T^{(0)}\right) = \left(\mu_A, \mu_B, \mu_{H_s}, \mu_T\right) \qquad (13.129)$$

$$(Y_1^0,....,Y_n^0) = (0,...,0) \qquad (13.130)$$

10. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]=\begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial T} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_T} \end{pmatrix} \qquad (13.131)$$

11. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1}=\left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1}=\left[\sigma_{X_i}\right] \qquad (13.132)$$

12. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \end{bmatrix}_{Y^k}=J^{-1}\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial T} \end{bmatrix}_{X^k} \qquad (13.133)$$

13. Aproximación a la ecuación de verificación (linealizada) en las variables normalizadas:

$$g_L\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right)=a_0^k+a_1^kY_1^k+...+a_n^kY_n^k \qquad (13.134)$$

14. Coeficientes a_i^k :

$$a_i^k=\left.\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k\right|_{Y^k} \qquad (13.135)$$

$$a_0^k=g_L(Y^k)-(a_1^kY_1^k+...+a_n^kY_n^k)=G(X^k)-(a_1^kY_1^k+...+a_n^kY_n^k) \qquad (13.136)$$

Donde:

$$G\left(X_1^k,...,X_n^k\right)=G\left(Y_1^k\sigma_{X_1}+\mu_{X_1},...,Y_n^k\sigma_{X_n}+\mu_{X_n}\right) \qquad (13.137)$$

15. Índice de fiabilidad β_{HL}^{k}:

$$\beta_{HL}^{k} = \frac{a_0^k}{\sqrt{a_1^{k^2} + \ldots + a_n^{k^2}}} = \frac{a_0^k}{K^k} \tag{13.138}$$

16. Índices de sensibilidad α_i^k:

$$\alpha_i^k = \frac{\dfrac{\partial g}{\partial Y_i}^{k}}{K^{k+1}} \tag{13.139}$$

17. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^k = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{k^2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{13.140}$$

18. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$(Y_1^{k+1},\ldots.,Y_n^{k+1}) = -\beta_{HL}^{k+1}(\alpha_1^{k+1},\ldots,\alpha_n^{k+1}) \tag{13.141}$$

19. Se repiten los pasos 8-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

20. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0

$$R_c = \left(T_{om}\sqrt{gH_s}H_s \left(\frac{Q_{fallo}}{AgH_sT_{om}} \right)^{-\frac{1}{B}} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{13.142}$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 8.1.3.

13.5 Aminti & Franco (1988).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\left(F^*\right)^{-B} \tag{13.143}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (13.144) y (13.145):

$$Q^* = \frac{Q}{T_{om} g H_s} \tag{13.144}$$

$$F^* = \left(\frac{R_c}{H_s}\right)^2 \left(\frac{s_{om}}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{R_c}{T_{om}\sqrt{gH_s}} \frac{R_c}{H_s} \tag{13.145}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión:

$$Q = A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} \tag{13.146}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, H_s, T_{om}

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,H_s,T) \equiv Q_{fallo} - A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} \tag{13.147}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} \tag{13.148}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = A T_{om} g H_s \left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} \ln\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right) \tag{13.149}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -AT_{om}g\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} - AgH_sT_{om}\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B-1} B\frac{3}{2}H_s^{-\frac{5}{2}}\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{g}}$$

(13.150)

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -AgH_s\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} - AT_{om}gH_sB\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B-1}\left(\frac{R_c^2}{T_{om}^{\ 2}\sqrt{gH_s}H_s}\right)$$

(13.151)

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s,T) \equiv Q_{fallo} - AT_{om}gH_s\left(\frac{R_c^2}{T_{om}\sqrt{gH_s}H_s}\right)^{-B} = 0 \qquad (13.152)$$

7. Definición de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \qquad (13.153)$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \qquad (13.154)$$

$$Y_3 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \qquad (13.155)$$

$$Y_4 = \frac{T-\mu_T}{\sigma_T} \qquad (13.156)$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \qquad (13.157)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_1^k,\ldots,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},\ldots,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \qquad (13.158)$$

9. Aproximación inicial al punto de diseño:

$$X^{(0)} = \left(A^{(0)}, B^{(0)}, H_s^{\ (0)}, T^{(0)}\right) = \left(\mu_A, \mu_B, \mu_{H_s}, \mu_T\right) \qquad (13.159)$$

$$(Y_1^0,\ldots.,Y_n^0) = (0,\ldots,0) \qquad (13.160)$$

10. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_T} \end{pmatrix} \qquad (13.161)$$

11. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \tag{13.162}$$

12. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \dfrac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \dfrac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \dfrac{\partial g}{\partial Y_4} \end{bmatrix}_{Y^k} = J^{-1} \begin{bmatrix} \dfrac{\partial G}{\partial A} \\ \dfrac{\partial G}{\partial B} \\ \dfrac{\partial G}{\partial H_s} \\ \dfrac{\partial G}{\partial T} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{13.163}$$

13. Aproximación a la ecuación de verificación (linealizada) en las variables normalizadas :

$$g_L\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = a_0^k + a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k \tag{13.164}$$

14. Coeficientes a_i^k :

$$a_i^k = \left.\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k\right|_{Y^k} \tag{13.165}$$

$$a_0^k = g_L(Y^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) = G(X^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) \tag{13.166}$$

Donde:

$$G\left(X_1^k,...,X_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.167}$$

15. Índice de fiabilidad β_{HL}^k :

$$\beta_{HL}^k = \frac{a_0^k}{\sqrt{a_1^{k^2} + ... + a_n^{k^2}}} = \frac{a_0^k}{K^k} \tag{13.168}$$

16. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{\frac{\partial g^{k}}{\partial Y_i}}{K^{k+1}} \tag{13.169}$$

17. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{k^2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{13.170}$$

18. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$(Y_1^{k+1},....,Y_n^{k+1}) = -\beta_{HL}^{k+1}(\alpha_1^{k+1},...,\alpha_n^{k+1}) \tag{13.171}$$

19. Se repiten los pasos 8-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

20. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0

$$R_c = \left(T_{om}\sqrt{gH_s}H_s \left(\frac{Q_{fallo}}{AgH_sT_{om}} \right)^{-\frac{1}{B}} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{13.172}$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 8.2.3.

13.6 Pedersen (1996).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo}^{Burcharth} - Q \tag{13.173}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = R^* \tag{13.174}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (13.175) y(13.176):

$$Q^* = \frac{QT_{om}}{L_{om}^2} \tag{13.175}$$

$$R^* = C\frac{H_s^5 \tan\alpha}{R_c^3 A_c B} \tag{13.176}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión:

$$Q = \frac{L_{om}^2 C}{T_{om}} \frac{H_s^5 \tan\alpha}{R_c^3 A_c B} \tag{13.177}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

$$L_{om}, C, T_{om}, H_s, A, B, \tan\alpha$$

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(L_{om}, C, T_{om}, H_s, A, B, \tan\alpha) \equiv Q_{fallo} - \frac{L_{om}^2 C}{T_{om}} \frac{H_s^5 \tan\alpha}{R_c^3 A_c B} \tag{13.178}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial L} = -\frac{2L_{om} C H_s^5 \tan\alpha}{T_{om} R_c^3 A_c B} \tag{13.179}$$

$$\frac{\partial G}{\partial C} = -\frac{L_{om}^2 H_s^5 \tan\alpha}{T_{om} R_c^3 A_c B} \tag{13.180}$$

$$\frac{\partial G}{\partial T_{om}} = \frac{C L_{om}^2 H_s^5 \tan\alpha}{T_{om}^2 R_c^3 A_c B} \tag{13.181}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -\frac{5 L_{om}^2 C H_s^4 \tan\alpha}{T_{om} R_c^3 A_c B} \tag{13.182}$$

$$\frac{\partial G}{\partial A}=\frac{L_{om}^{2}CH_{s}^{5}\tan\alpha}{T_{om}R_{c}^{3}A_{c}^{2}B} \tag{13.183}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B}=\frac{L_{om}^{2}CH_{s}^{5}\tan\alpha}{T_{om}R_{c}^{3}A_{c}B^{2}} \tag{13.184}$$

$$\frac{\partial G}{\partial \tan\alpha}=-\frac{L_{om}^{2}CH_{s}^{5}}{T_{om}R_{c}^{3}A_{c}B} \tag{13.185}$$

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(L_{om},C,T_{om},H_{s},A,B,\tan\alpha)\equiv Q_{fallo}-\frac{L_{om}^{2}C}{T_{om}}\frac{H_{s}^{5}\tan\alpha}{R_{c}^{3}A_{c}B}=0 \tag{13.186}$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_{1}=\frac{L_{om}-\mu_{L_{om}}}{\sigma_{L_{om}}} \tag{13.187}$$

$$Y_{2}=\frac{C-\mu_{C}}{\sigma_{C}} \tag{13.188}$$

$$Y_{3}=\frac{T_{om}-\mu_{T_{om}}}{\sigma_{T_{om}}} \tag{13.189}$$

$$Y_{4}=\frac{H_{s}-\mu_{H_{s}}}{\sigma_{H_{s}}} \tag{13.190}$$

$$Y_{5}=\frac{A_{c}-\mu_{A_{c}}}{\sigma_{A_{c}}} \tag{13.191}$$

$$Y_{6}=\frac{B-\mu_{B}}{\sigma_{B}} \tag{13.192}$$

$$Y_{7}=\frac{\tan\alpha-\mu_{\tan\alpha}}{\sigma_{\tan\alpha}} \tag{13.193}$$

Y equivalentemente:

$$X_{i}=Y_{i}\sigma_{X_{i}}+\mu_{X_{i}} \tag{13.194}$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas:

$$g\left(Y_{1}^{k},...,Y_{n}^{k}\right)=G\left(Y_{1}^{k}\sigma_{X_{1}}+\mu_{X_{1}},...,Y_{n}^{k}\sigma_{X_{n}}+\mu_{X_{n}}\right) \tag{13.195}$$

9. Aproximación inicial al punto de diseño:

$$X^{(0)}=\left(L_{om}^{(0)},C^{(0)},T_{om}^{(0)},H_{s}^{(0)},A_{c}^{(0)},B^{(0)},\tan\alpha^{(0)}\right)=\left(\mu_{L_{om}},\mu_{C},\mu_{T_{om}},\mu_{H_{s}},\mu_{A_{c}},\mu_{B},\mu_{\tan\alpha}\right) \tag{13.196}$$

$$(Y_{1}^{0},....,Y_{n}^{0})=(0,...,0) \tag{13.197}$$

10. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]=\begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial L_{om}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial C} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial T_{om}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial H_s} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial A_c} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_6}{\partial B} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_7}{\partial \tan\alpha} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_{L_{om}}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_C} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{T_{om}}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{A_c}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\tan\alpha}} \end{pmatrix}$$

(13.198)

11. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1}=\left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1}=\left[\sigma_{X_i}\right] \quad (13.199)$$

12. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_6} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_7} \end{bmatrix}_{Y^k}=[J]^{-1}\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial L_{om}} \\ \frac{\partial G}{\partial C} \\ \frac{\partial G}{\partial T_{om}} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial A_c} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial \tan\alpha} \end{bmatrix}_{X^k} \quad (13.200)$$

13. Aproximación a la ecuación de verificación (linealizada) en las variables normalizadas:

$$g_L\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = a_0^k + a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k \tag{13.201}$$

14. Coeficientes a_i^k:

$$a_i^k = \left.\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k\right|_{Y^k} \tag{13.202}$$

$$a_0^k = g_L(Y^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) = G(X^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) \tag{13.203}$$

Donde:

$$G\left(X_1^k,...,X_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.204}$$

15. Índice de fiabilidad β_{HL}^k:

$$\beta_{HL}^k = \frac{a_0^k}{\sqrt{a_1^{k^2} + ... + a_n^{k^2}}} = \frac{a_0^k}{K^k} \tag{13.205}$$

16. Índices de sensibilidad α_i^k:

$$\alpha_i^k = \frac{\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k}{K^k} \tag{13.206}$$

17. Coeficiente K^k:

$$K^k = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{k^2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{13.207}$$

18. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$(Y_1^{k+1},....,Y_n^{k+1}) = -\beta_{HL}^{k+1}(\alpha_1^{k+1},...,\alpha_n^{k+1}) \tag{13.208}$$

19. Se repiten los pasos 8-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

20. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = \sqrt[3]{\frac{L_{om}^2 C H_s^5 \tan\alpha}{T_{om} Q A_c B}} \tag{13.209}$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 8.3.3.

13.7 De Waal et al. (1996).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{13.210}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q = A \exp\left(B \frac{R_c}{H_{os}} \right) \tag{13.211}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, H_s

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,H_s) \equiv Q_{fallo} - A \exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right) = 0 \tag{13.212}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -\exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right) \tag{13.213}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = -A \exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right)\left(\frac{R_c}{H_s} \right) \tag{13.214}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -A \exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right)(-1) H_s^{-2} B R_c$$

(13.215)

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s) \equiv Q_{fallo} - A \exp\left(B \frac{R_c}{H_s} \right) = 0 \tag{13.216}$$

7. Definición de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A - \mu_A}{\sigma_A} \tag{13.217}$$

$$Y_2 = \frac{B - \mu_B}{\sigma_B} \tag{13.218}$$

$$Y_3 = \frac{H_s - \mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \tag{13.219}$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i \sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \tag{13.220}$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas :

$$g\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.221}$$

9. Aproximación inicial al punto de diseño:

$$X^{(0)} = \left(A^{(0)}, B^{(0)}, H_s^{(0)}, T^{(0)}\right) = \left(\mu_A, \mu_B, \mu_{H_s}, \mu_T\right) \tag{13.222}$$

$$(Y_1^0,....,Y_n^0) = (0,...,0) \tag{13.223}$$

10. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial G}{\partial B} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial G}{\partial H_s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} \end{pmatrix} \tag{13.224}$$

11. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \tag{13.225}$$

12. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \end{bmatrix}_{Y^k} = J^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \end{bmatrix}_{X^k} \tag{13.226}$$

13. Aproximación a la ecuación de verificación (linealizada) en las variables normalizadas :

$$g_L\left(Y_1^k,...,Y_n^k\right) = a_0^k + a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k \tag{13.227}$$

14. Coeficientes a_i^k :

$$a_i^k = \left.\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k\right|_{Y^k} \tag{13.228}$$

$$a_0^k = g_L(Y^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) = G(X^k) - (a_1^k Y_1^k + ... + a_n^k Y_n^k) \tag{13.229}$$

donde

$$G\left(X_1^k,...,X_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},...,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \tag{13.230}$$

15. Índice de fiabilidad β_{HL}^k :

$$\beta_{HL}^k = \frac{a_0^k}{\sqrt{a_1^{k^2} + ... + a_n^{k^2}}} = \frac{a_0^k}{K^k} \tag{13.231}$$

16. Índices de sensibilidad α_i^{k+1}:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{\frac{\partial g}{\partial Y_i}^k}{K^{k+1}} \tag{13.232}$$

17. Coeficiente K^{k+1}:

$$K^{k+1} = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{k^2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{13.233}$$

18. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$(Y_1^{k+1},....,Y_n^{k+1}) = -\beta_{HL}^{k+1}(\alpha_1^{k+1},...,\alpha_n^{k+1}) \tag{13.234}$$

19. Se repiten los pasos 8-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

20. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = \frac{H_s}{B}\ln\left(\frac{Q_{fallo}}{A}\right) \tag{13.235}$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 9.1.3.

13.8 Franco & Franco (1999).

1. Ecuación de verificación frente al modo de fallo rebase escrita en forma de margen de seguridad:

$$G \equiv Q_{fallo} - Q \tag{13.236}$$

Si G>0 no se produce fallo de la estructura.
Si G< 0 se produce fallo por rebase en la estructura.

2. Expresión de Q:

$$Q^* = A\exp\left(-BR^*\right) \tag{13.237}$$

Las variables adimensionales están definidas según las ecuaciones (13.238) y (13.239):

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}} \tag{13.238}$$

$$R^* = \frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s} \tag{13.239}$$

La expresión del caudal de rebase por metro de longitud (m^3/s/m) queda definida por la expresión:

$$Q = A\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right) \tag{13.240}$$

3. Variables aleatorias independientes consideradas:

A, B, H_s, γ_β , γ_s

4. Expresión de la ecuación de verificación en las variables gaussianas:

$$G(A,B,H_s,\gamma_\beta,\gamma_s) \equiv Q_{fallo} - A\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right) \tag{13.241}$$

5. Derivadas parciales de la función G:

$$\frac{\partial G}{\partial A} = -\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right) \tag{13.242}$$

$$\frac{\partial G}{\partial B} = A\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right)\left(\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta \gamma_s}\right) \tag{13.243}$$

$$\frac{\partial G}{\partial H_s} = -\sqrt{g}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right)\frac{3}{2}H_s^{\frac{1}{2}} - \sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right)B\frac{R_c}{H_s^2}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}$$
(13.244)

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta^2\gamma_s} \quad (13.245)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \gamma_s} = -\sqrt{gH_s^3}A\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right)B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s^2}$$
(13.246)

6. Se define como punto de diseño aquel que cumple:

$$G(A,B,H_s,\gamma_\beta,\gamma_s) \equiv Q_{fallo} - A\sqrt{gH_s^3}\exp\left(-B\frac{R_c}{H_s}\frac{1}{\gamma_\beta\gamma_s}\right) = 0 \quad (13.247)$$

7. Expresión de las variables normalizadas Y:

$$Y_1 = \frac{A-\mu_A}{\sigma_A} \quad (13.248)$$

$$Y_2 = \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \quad (13.249)$$

$$Y_3 = \frac{H_s-\mu_{H_s}}{\sigma_{H_s}} \quad (13.250)$$

$$Y_4 = \frac{\gamma_\beta-\mu_{\gamma_\beta}}{\sigma_{\gamma_\beta}} \quad (13.251)$$

$$Y_5 = \frac{\gamma_s-\mu_{\gamma_s}}{\sigma_{\gamma_s}} \quad (13.252)$$

y equivalentemente,

$$X_i = Y_i\sigma_{X_i} + \mu_{X_i} \quad (13.253)$$

8. Expresión de la ecuación de verificación en las variables normalizadas :

$$g\left(Y_1^k,\ldots,Y_n^k\right) = G\left(Y_1^k\sigma_{X_1} + \mu_{X_1},\ldots,Y_n^k\sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \quad (13.254)$$

9. Aproximación inicial al punto de diseño:

$$X^{(0)} = \left(A^{(0)}, B^{(0)}, H_s^{(0)}, \gamma_\beta^{(0)}, \gamma_s^{(0)}\right) = \left(\mu_A, \mu_B, \mu_{H_s}, \mu_{\gamma_\beta}, \mu_{\gamma_s}\right) \quad (13.255)$$

$$(Y_1^0,\ldots.,Y_n^0) = (0,\ldots,0) \quad (13.256)$$

10. Matriz jacobiana de la transformación:

$$[J] = \begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial B} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial Y_3}{\partial H_s} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_4}{\partial \gamma_\beta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_5}{\partial \gamma_s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_B} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{H_s}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_\beta}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_{\gamma_s}} \end{pmatrix}$$

(13.257)

11. Inversa de la matriz jacobiana de la transformación:

$$[J]^{-1} = \left[\frac{\partial Y_i}{\partial X_i}\right]^{-1} = \left[\sigma_{X_i}\right] \qquad (13.258)$$

12. Derivadas parciales (valoradas) de la función g, ecuación de fallo expresada en las variables normales:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial Y_1} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_2} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_3} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_4} \\ \frac{\partial g}{\partial Y_5} \end{bmatrix}_{Y^k} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial A} \\ \frac{\partial G}{\partial B} \\ \frac{\partial G}{\partial H_s} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_\beta} \\ \frac{\partial G}{\partial \gamma_s} \end{bmatrix}_{X^k} \qquad (13.259)$$

13. Aproximación a la ecuación de verificación (linealizada) en las variables normalizadas :

$$g_L\left(Y_1^k, \ldots, Y_n^k\right) = a_0^k + a_1^k Y_1^k + \ldots + a_n^k Y_n^k \qquad (13.260)$$

14. Coeficientes a_i^k :

$$a_i^k = \left.\frac{\partial g^k}{\partial Y_i}\right|_{Y^k} \qquad (13.261)$$

$$a_0^k = g_L(Y^k) - (a_1^k Y_1^k + \ldots + a_n^k Y_n^k) = G(X^k) - (a_1^k Y_1^k + \ldots + a_n^k Y_n^k) \qquad (13.262)$$

Donde:

$$G\left(X_1^k,\ldots,X_n^k\right) = G\left(Y_1^k \sigma_{X_1} + \mu_{X_1},\ldots,Y_n^k \sigma_{X_n} + \mu_{X_n}\right) \qquad (13.263)$$

15. Índice de fiabilidad β_{HL}^k:

$$\beta_{HL}^k = \frac{a_0^k}{\sqrt{a_1^{k^2} + \ldots + a_n^{k^2}}} = \frac{a_0^k}{K^k} \qquad (13.264)$$

16. Índices de sensibilidad α_i^k:

$$\alpha_i^k = \frac{\frac{\partial g^k}{\partial Y_i}}{K^k} \qquad (13.265)$$

17. Coeficiente K^k:

$$K^k = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^{k^2}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (13.266)$$

18. Nueva aproximación al punto de diseño en coordenadas normalizadas:

$$(Y_1^{k+1},\ldots,Y_n^{k+1}) = -\beta_{HL}^{k+1}(\alpha_1^{k+1},\ldots,\alpha_n^{k+1}) \qquad (13.267)$$

19. Se repiten los pasos 8-17 hasta conseguir la convergencia del proceso.

20. Bondad del análisis. Se realiza el proceso iterativo partiendo del valor de Rc definido de una manera determinista a partir de las valores medios de las variables, que refleja la imposición de G = 0.

$$R_c = -\frac{H_s \gamma_\beta \gamma_s}{B} \ln\left(\frac{Q_{fallo}}{A\sqrt{gH_s^3}}\right) \qquad (13.268)$$

21. Análisis de resultados:

Se incluyen en el capítulo 9.2.3.