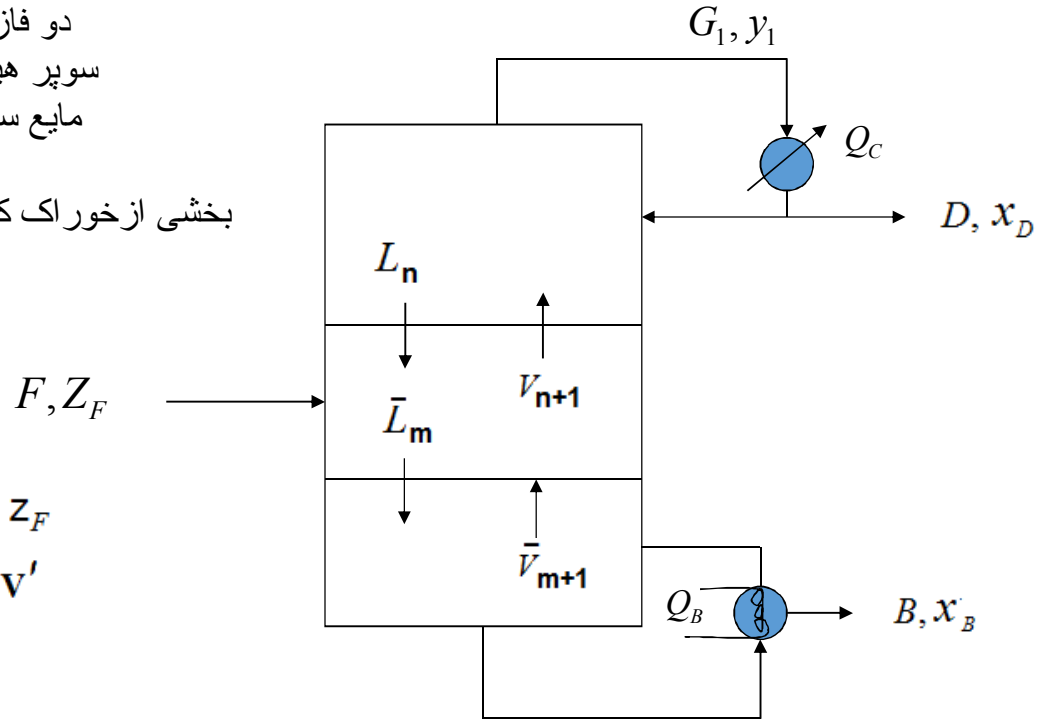
نمای کلی از یک ستون تقطیر

خوراک می تواند به شکل :

- مایع اشباع
- بخار اشباع
- دو فازی
- سوپر هیت
- مایع سرد

بخشی ازخوراک که به شکل مایع برج وارد می شود:q



$$\ell' = \bar{L} \qquad x_F = z_F$$
$$\bar{G} = G' \quad \text{or} \quad \bar{V} = V'$$

$$\ell' = \ell + qf$$
$$G = G' + (1-q)f$$

q=1	•	مایع اشباع
q=0	•	بخار اشباع
0< q <1	•	دو فازی
q < 0	•	سوپر هیت
q >1	•	مایع سرد

خوراک ورودی سبب می شود که بخشی ازمایع داخل برج راهم تبخیرکند q< 0

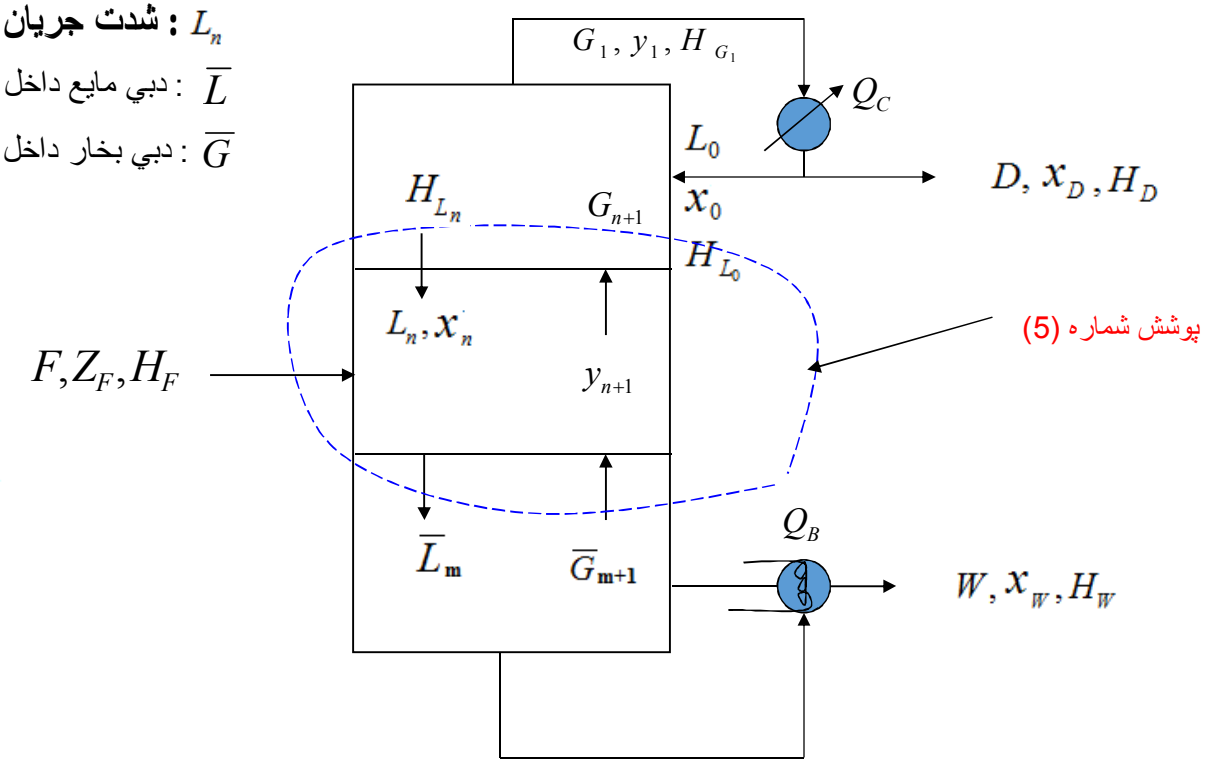
خوراک ورودی سبب می شود که بخشی ازبخارات داخل برج را تبدیل به مایع کند q > 1

موازنه روی پوشش شماره 5 :

L_n : شدت جريان مايع خروجي از سيني n

$\overline{L}$: دبي مايع داخل برج

$\overline{G}$: دبي بخار داخل برج



$$\ell' = \bar{L} \qquad x_F = z_F$$
$$\bar{G} = G' \quad \text{or} \quad \bar{V} = V'$$

موازنه روی پوشش شماره 5 :

الف) موازنه کلی

$$F + \ell + G' = G + \ell'$$

ب) موازنه جزئی

$$F.x_F + \ell.x + G'.y = G.y + \ell'.x \qquad *$$

$$\Rightarrow y(G' - G) = x(\ell' - \ell) - F.x_F$$

$$\ell' = \ell + qF \rightarrow \ell' - \ell = qF \qquad **$$

$$G = G' + (1-q)F \rightarrow G - G' = (1-q)F \qquad ***$$

$$(*),(**),(***) \Rightarrow -y(1-q)F = x.q.F - F.x_F$$

$$\Rightarrow -y(1-q) = q.x - x_F \qquad \Rightarrow y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

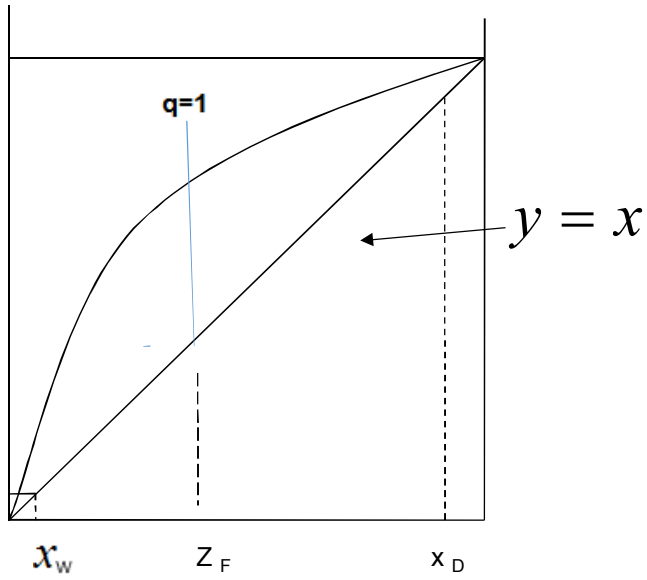
معادله خط خوراک
Feed Line

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$

برای مایع اشباع $q=1$



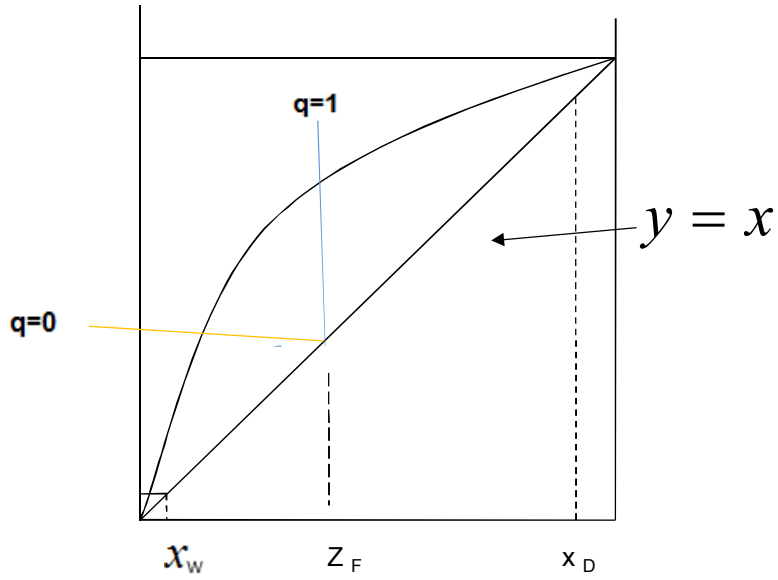
اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$

برای بخار اشباع q=0



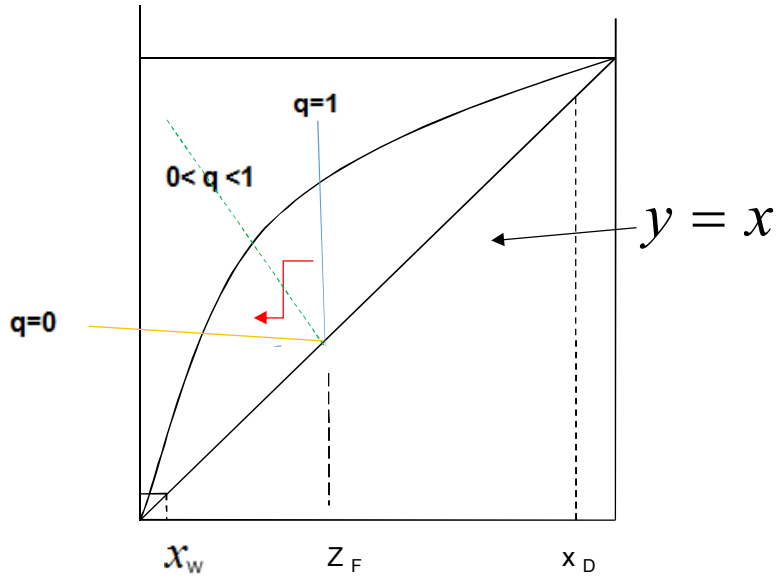
اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$

برای حالت دوفازی $0< q <1$



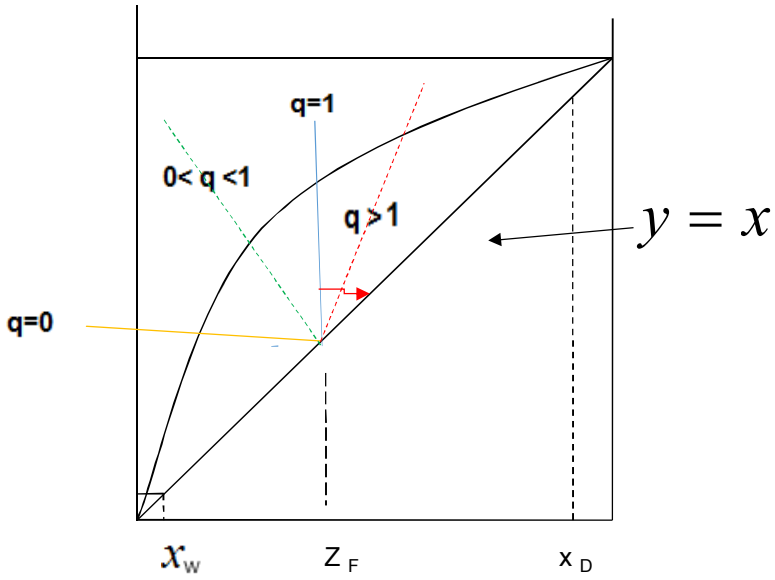
اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد q >1

$$q = 1 + \frac{Cp_l (T_b - T_F)}{\lambda}$$

اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

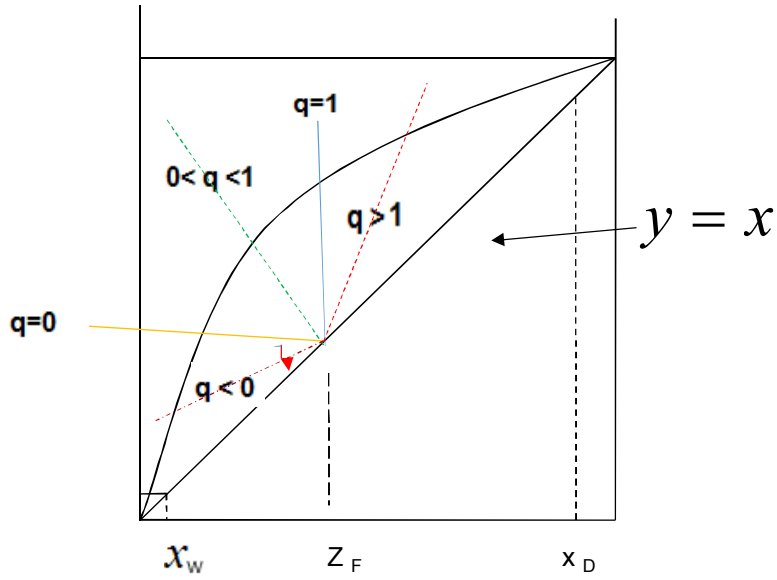
اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

اگر خوراک به صورت مایع سرد وارد سیستم شود (خط خوراک) بین خط 45 درجه و خط قائم خواهد بود

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



برای حالت سوپرهیت $q < 0$

$$q = \frac{-C_{P_v}(T_F - T_d)}{\lambda}$$

اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

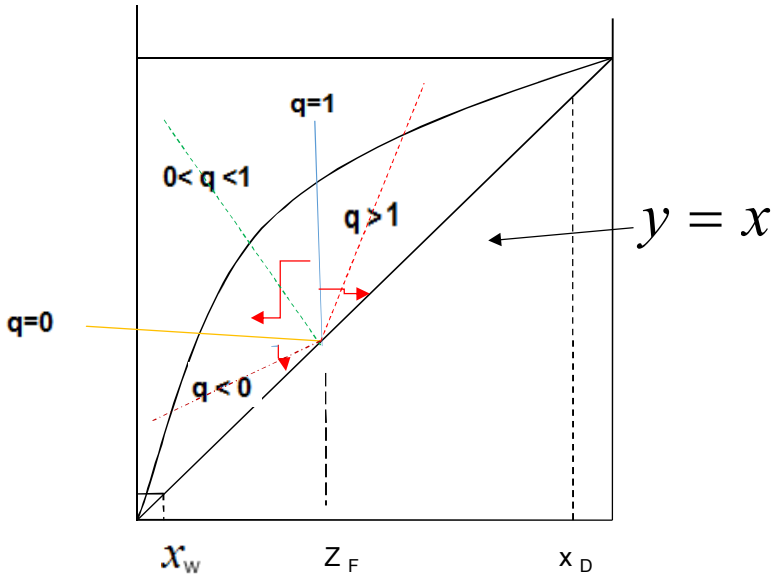
اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

اگر خوراک به صورت سوپرهیت وارد سیستم شود (خط خوراک) بین خط افق و خط 225 درجه خواهد بود

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد $q > 1$

$$q = 1 + \frac{Cp_l(T_b - T_F)}{\lambda}$$

برای حالت سوپرهیت $q < 0$

$$q = \frac{-Cp_v(T_F - T_d)}{\lambda}$$

اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

با توجه به مشخص بودن x_f درخوراک ورودی جایگاه آن را درروی محورx ها مشخص می کنیم. سپس ازنقطه x_f خطی موازی با محور yها رسم می کنیم تا خط ۴۵ درجه را قطع نماید. ازمحل تقاطع این خط با خط ۴۵ درجه، خطی رسم می کنیم تا ازمحل خط تقاطع خط کارپایین وخط کاربالا عبور نماید. خطی که ازاین نقطه عبورنموده به عنوان خط خوراک نامیده می شود. می دانیم که مکان هندسی خط کار بالا و خط کار پایین وخط خوراک ازیک نقطه عبور می کند.

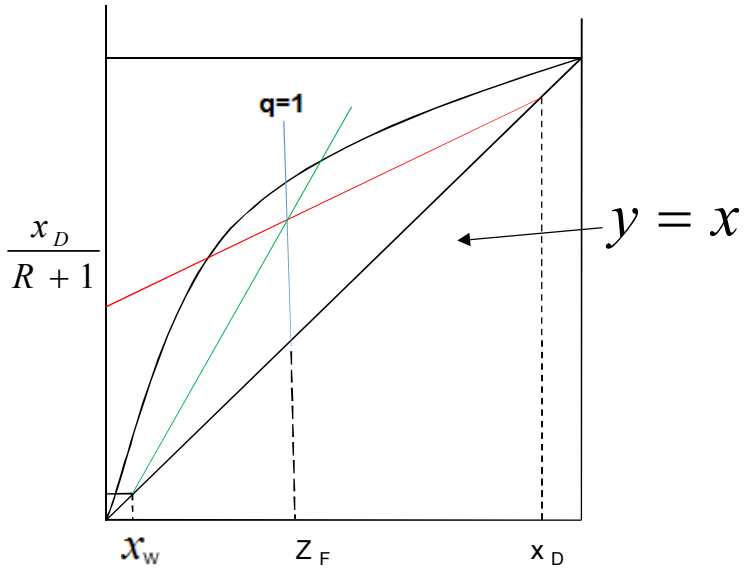
برای بدست آوردن معادله خط خوراک موازنه را درقسمت میانی، پوشش شماره ۵ برج می نویسیم.

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$

برای مایع اشباع q=1



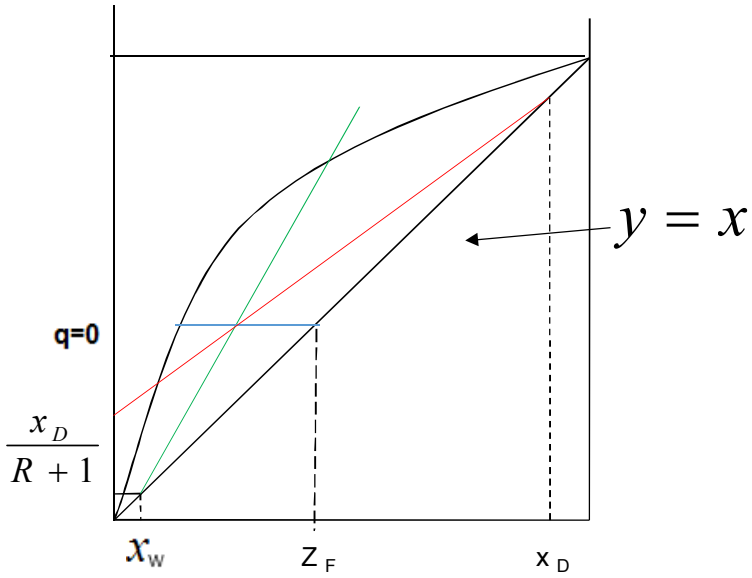
اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$

برای بخار اشباع q=0



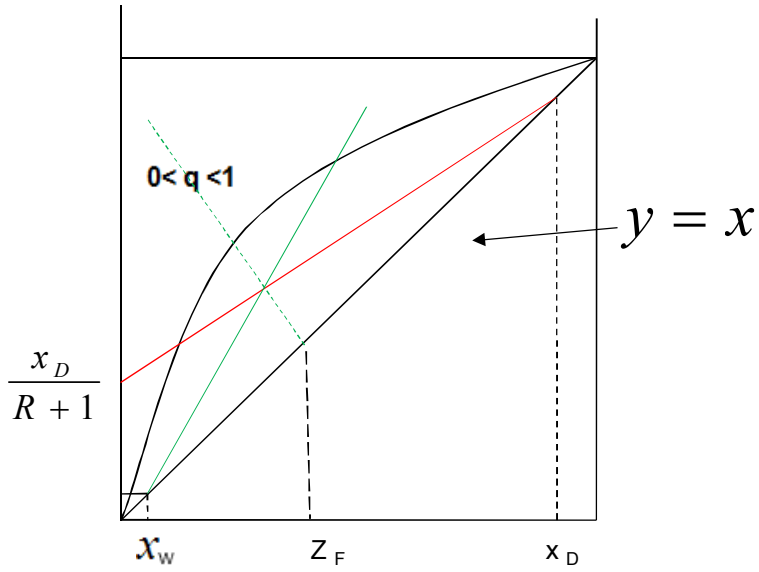
اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$

برای حالت دوفازی $0< q <1$



اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

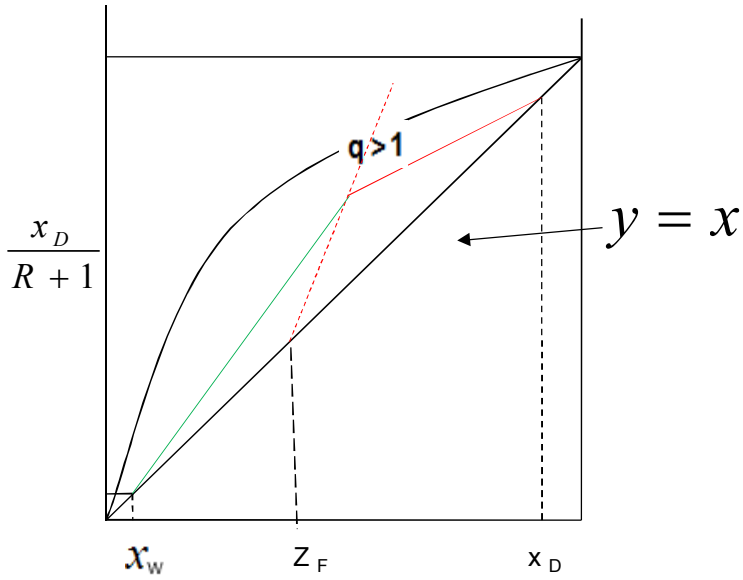
اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

اگر خوراک به صورت دو فازی وارد سیستم شود (خط خوراک) بین خط افقی و خط قائم خواهد بود

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد q>1

$$q = 1 + \frac{Cp_l(T_b - T_F)}{\lambda}$$

اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت مایع سرد وارد سیستم شود (خط خوراک) بین خط 45 درجه و خط قائم خواهد بود

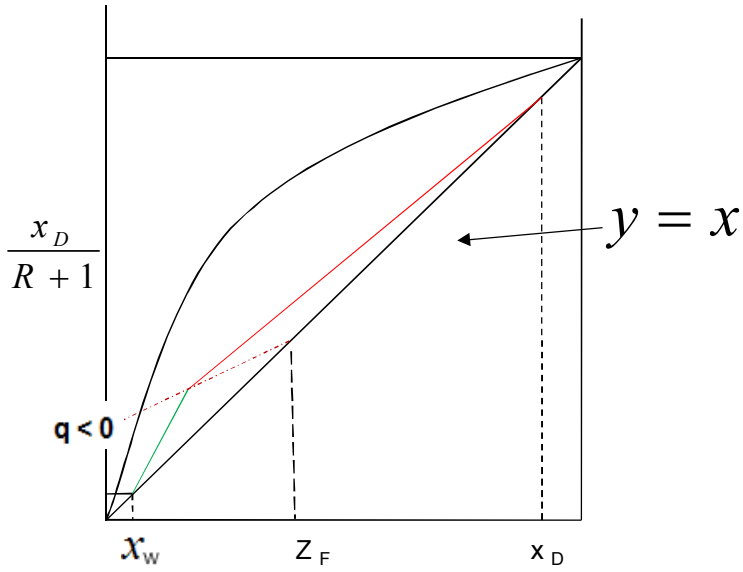
چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$

برای حالت سوپرهیت $q < 0$

$$q = \frac{-C_{P_v}(T_F - T_d)}{\lambda}$$



اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

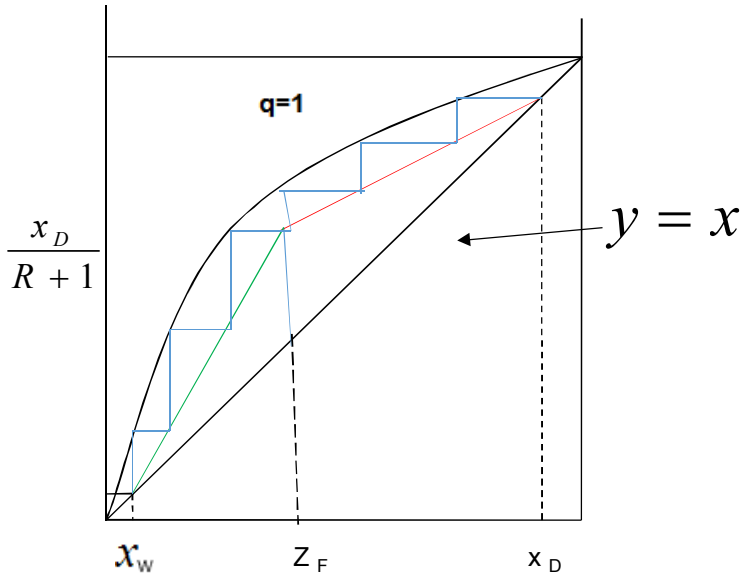
اگر خوراک به صورت سوپرهیت **وارد سیستم شود (خط خوراک) بین خط افق و خط 225 درجه خواهد بود**

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$

برای مایع اشباع q=1



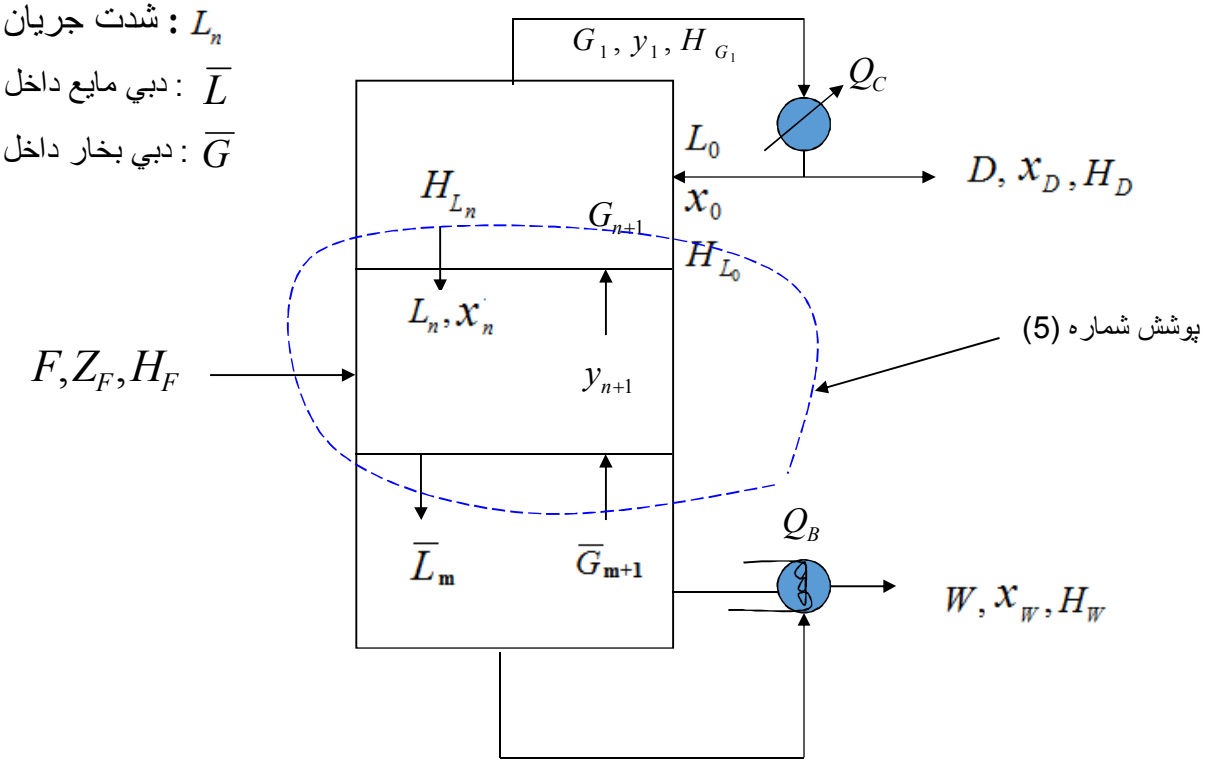
اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

چگونگی محاسبه q در برج :

L_n : شدت جريان مايع خروجي از سينيn

$\overline{L}$: دبي مايع داخل برج

$\overline{G}$: دبي بخار داخل برج



$$\ell' = \bar{L} \qquad x_F = z_F$$

$$\bar{G} = G' \qquad \text{or} \quad \bar{V} = V'$$

چگونگی محاسبه q در برج :

موازنه کلی : $F + G' + \ell = G + \ell'$

$$FH_F + G'H_{G'_{K+1}} + \ell H_{\ell_{K+1}} = GH_{GK} + \ell' H_{\ell' K}$$

$$H_{G'_{K+1}} = H_{G_K} = H_G$$

$$FH_F + G'H_G + \ell H_\ell = GH_G + \ell' H_\ell$$

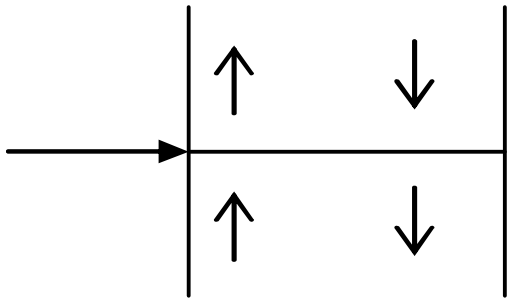
ازطرفی می دانیم

$$(G' - G) = (\ell' - \ell) - F$$

$$FH_F + \left[\left(\ell' - \ell\right) - F\right]H_G = \left(\ell' - \ell\right)H_\ell \Rightarrow$$

$$FH_F - FH_G + \left(\ell' - \ell\right)H_G = \left(\ell' - \ell\right)H_\ell$$

$$\Rightarrow F\left(H_F - H_G\right) = \left(\ell' - \ell\right)\left(H_\ell - H_G\right)$$



$$\left.\begin{aligned} \frac{\ell' - \ell}{F} &= \frac{H_G - H_F}{H_G - H_\ell} \\ \frac{\ell' - \ell}{F} &= q \end{aligned}\right\} \Rightarrow q = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_\ell}$$

مثال:

یک برج تقطیرمداوم سینی دارجهت جداسازی $30000^{lb}/_{hr}$ مخلوطی شامل ۴۰٪ وزنی بنزن و۶۰٪ وزنی تولوئن ویک محصول شامل ۹۷٪ وزنی بنزن و محصول پایینی شامل ۲٪ وزنی بنزن طراحی شده. مقداربرگشتی۳.۵ مول مایع برگشتی به ازای هرمول محصول بالای برج می باشد. مقدارگرمای نهان تبخیربنزن $7360^{cal}/_{gml}$ وبرای تولوئن $7960^{cal}/_{gml}$ می باشد. بنزن وتولوئن تشکیل یک مخلوط ایده آل با ضریب جداسازی۲.۵ می دهند. نقطه جوش خوراک در $1atm$ برابر ۹۵ درجه سانتیگراد است. مطلوبست تعداد مولهای محصول بالا و پایین برج وتعداد سینی ها وموقعیت سینی خوراک درصورتی که :

1)خوراک به صورت مایع ودردمای نقطه جوش باشد.

۲) اگر خوراک به صورت مایع و در دمای 20^{0c} باشد و ظرفیت حرارتی آن $\left({}^{cal}/_{g.c^0}\right)$ ۰.۴۴ باشد .

۳) اگرخوراک به صورت مخلوطی از $^{2}/_{3}$ بخار(مولی) و$^{1}/_{3}$ مولی مایع باشد .

موازنه کلی : $F = D + W$

موازنه جزئی روی بنزن : $F.x_F = D.x_D + W.x_W$ $x_F = z_F$

$$x_F = \frac{\frac{30000 \times 0.4}{78}}{\frac{30000 \times 0.4}{78} + \frac{30000 \times 0.6}{92}} = 0.44$$ درصد مولی

$$x_W = \frac{2/78}{2/78 + 98/92} = 0.0235 \qquad x_D = \frac{97/78}{97/78 + 3/92} = 0.974$$

$$(MW)_{ave} = 0.44 \times 78 + 0.56 \times 92 = 85.8$$

$$F = \frac{30000}{85.5} = 350\ {}^{lbmol}/_{hr}$$

موازنه کلی : $F = D + W \Rightarrow 350 = -D + W$

موازنه جزئی :

$$F.x_F = D.x_D + W.x_W \Rightarrow 350 \times 0.44 = D \times 0.974 + W \times 0.023$$

$$\Rightarrow \begin{cases} D = 153.4\ {}^{lbmol}/_{hr} \\ W = 196.6\ {}^{lbmol}/_{hr} \end{cases}$$

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} \Rightarrow y = \frac{2.5x}{1 + 1.5x}$$

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
y	0	0.217	0.385	0.517	0.625	0.714	0.789	0.854	0.909	0.957	1

معادله خط کار بالا :

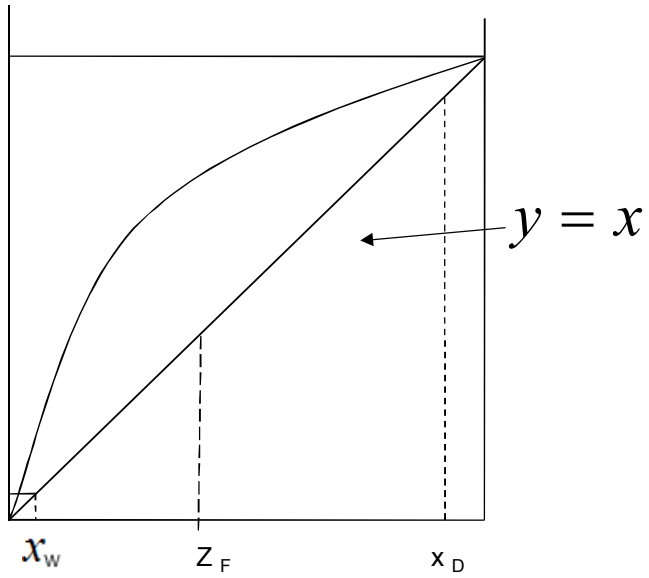
$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

عرض از مبدأ :

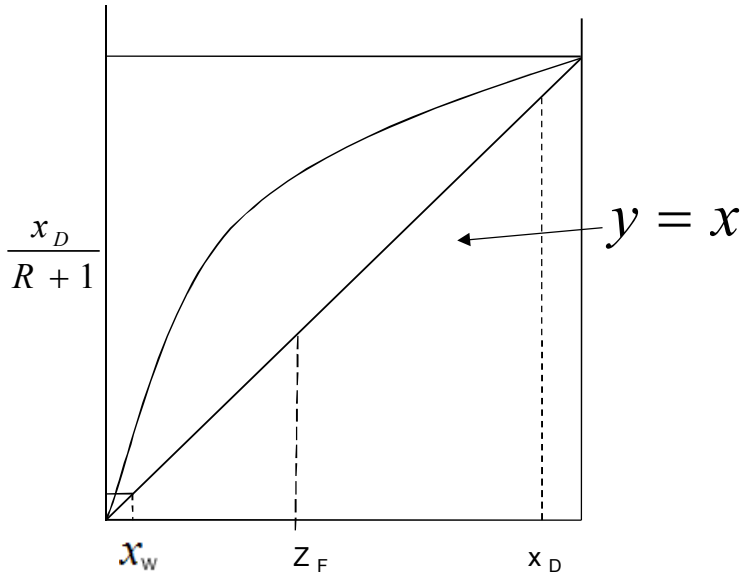
$$\frac{x_D}{R+1} = \frac{0.974}{3.5+1} = 0{\cdot}216$$

1) اگرخوراک به صورت مایع ودردمای نقطه جوش خود باشد.

چگونگی رسم نمودار تعادلی:

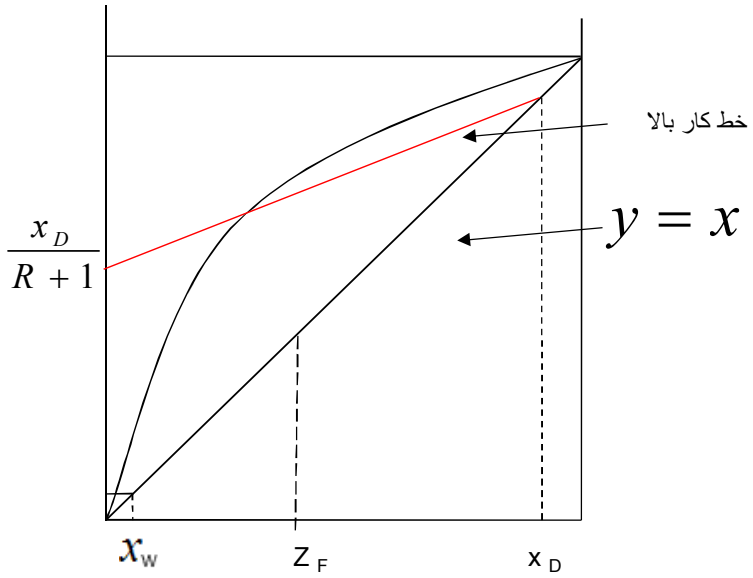


چگونگی رسم نمودار تعادلی:



$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}.x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

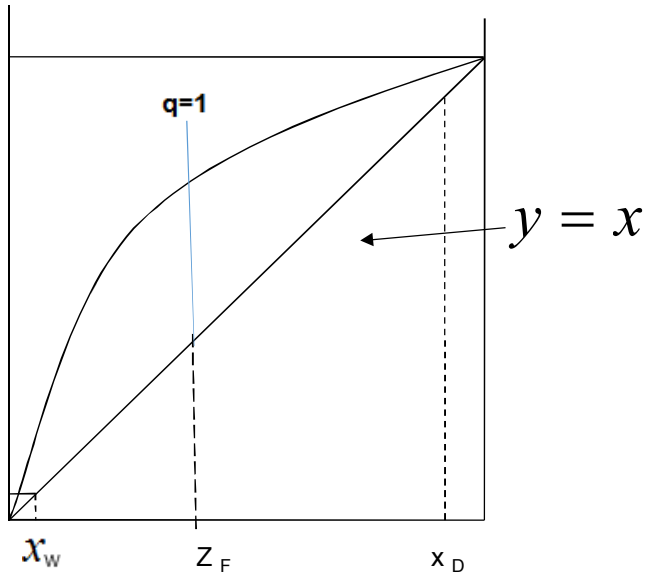
چگونگی رسم خط کار بالای برج :



چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

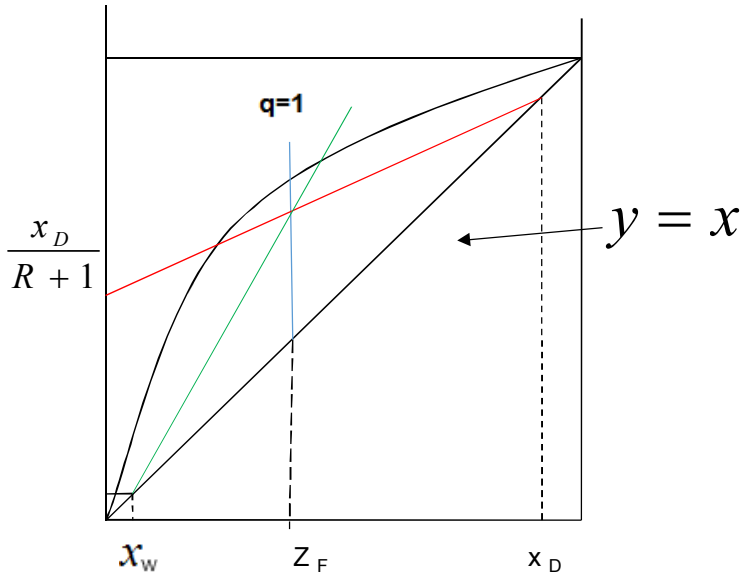
چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}.x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

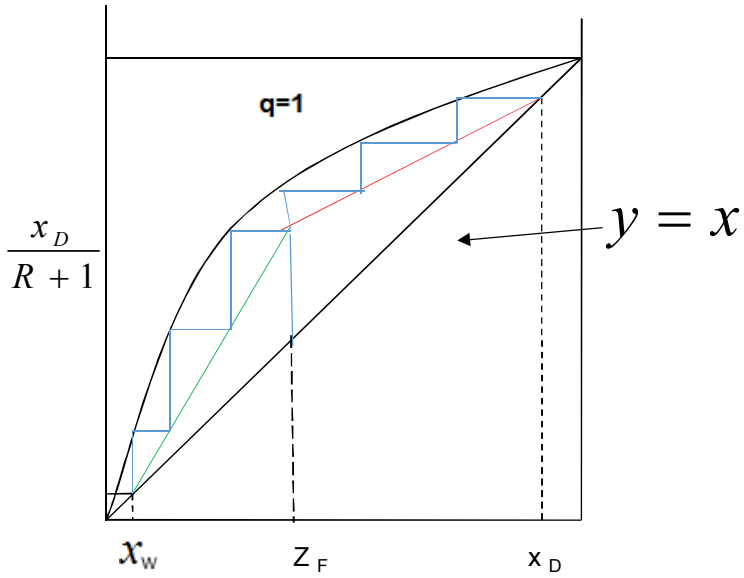
$$y_{m+1} = \frac{\ell'}{\ell' - W}.x_m - \frac{W.x_W}{\ell' - W}$$

$$\ell' = \bar{L} \qquad x_F = z_F$$
$$\bar{G} = G' \qquad \text{or} \quad \bar{v} = v'$$



اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

چگونگی رسم سینی ها در برج :



تعداد سینی ها 12 تا و خوراک بالای سینی 7 وارد می شود و یک سینی مربوط به ریبویلر است.

2) اگر خوراک به صورت مایع و در دمای 20 درجه سانتیگراد باشد

$$\lambda_{ave} = \lambda_A x_A + \lambda_B (1 - x_A) \quad = 7360(0.44) + 7690(0.56) = 7696 \, cal/gmol$$

$$\Rightarrow q = \frac{0.44 \, cal/gmol.c^0 \, (95 - 20)}{7696 \, cal/gmol \times \frac{1}{85.8} \, gmol/gr} = 1.37$$

$$\text{شیب خط خوراک} = \frac{q}{q-1} = \frac{1.37}{1.37-1} = 3.7$$

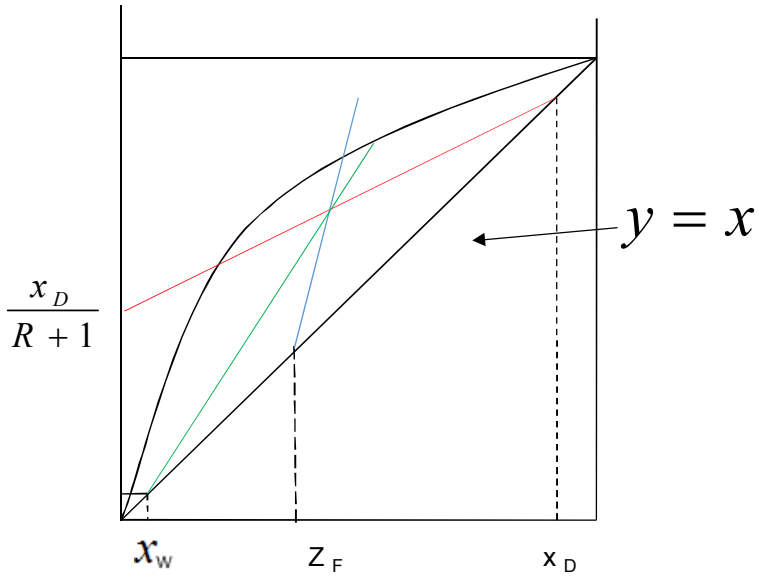
$\mathbf{tg^{-1}} 3.7 \approx 75$ خطی به شیب ۷۵ درجه بایدرسم کنیم

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}.x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

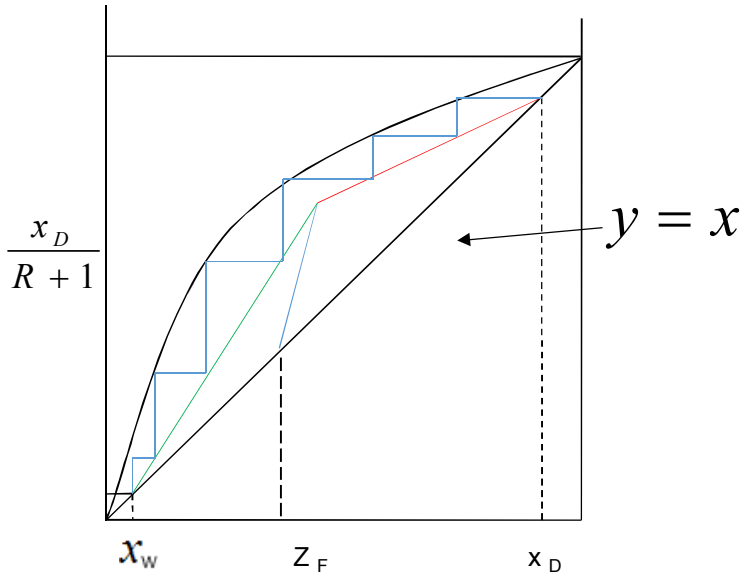
$$y_{m+1} = \frac{\ell'}{\ell' - W}.x_m - \frac{W.x_W}{\ell' - W}$$



$$\ell' = \bar{L} \qquad x_F = z_F$$
$$\bar{G} = G' \quad \text{or} \quad \bar{V} = V'$$

خطی خوراک به شیب 75 درجه رسم شده

چگونگی رسم سینی ها در برج :



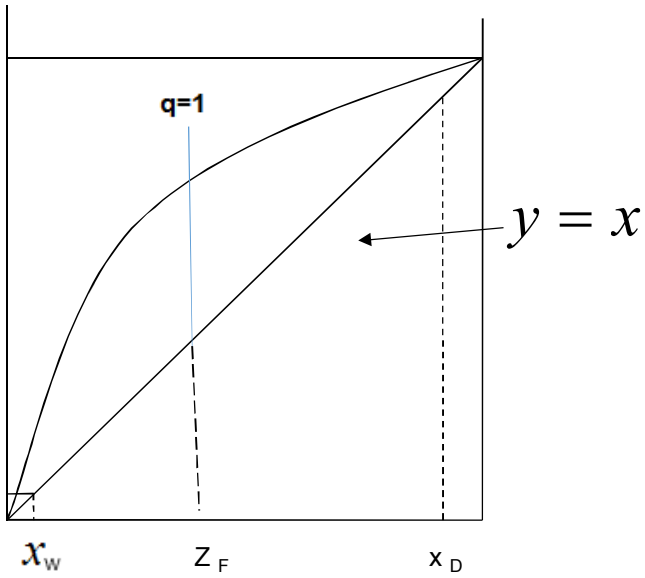
خطی خوراک به شیب 75 درجه رسم شده

تعداد سینی ها به 11 تا رسید که یکی مربوط به ریبویلر می شود و خوراک بین سینی 5 و6 وارد می شود .

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد **q>1**

$$q = 1 + \frac{Cp_l(T_b - T_F)}{\lambda}$$

برای حالت سوپرهیت **q<0**

$$q = \frac{-Cp_v(T_F - T_d)}{\lambda}$$

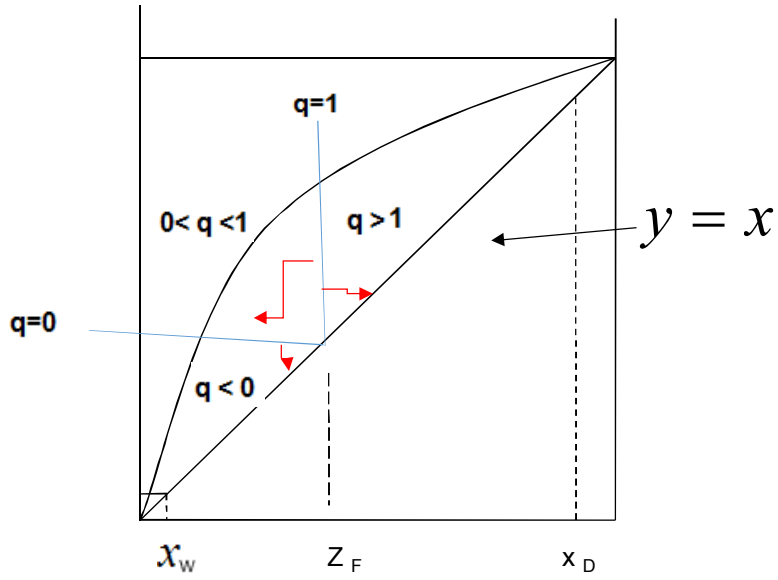
اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

ج)

$$slope = \frac{q}{q-1} = \frac{1/3}{1/3 - 1} = -0.5$$

اگرقرار باشد تمام محصولیtotal Reflux می خواهیم بگیریم رابه داخل برج برگردانیم جریان برگشتی می شود. چون

$$R = \frac{\ell_0}{D} = \infty$$

که دراینصورت خط کارروی خط $D = 0$ خواهد بود چون

$$slope = \frac{q}{q-1} = \frac{1/3}{1/3 - 1} = -0.5$$

که دراینصورت خط کارروی خط خواهدبود چون وقتی خط کاربالا و پایین روی هم منطبق شوند

$$N_{\min} + 1 = \frac{\log\left[\frac{x_D}{1 - x_D}\right]\left[\frac{(1 - x_W)}{x_W}\right]}{\log \alpha_{ave}}$$

$$\lim_{R \to \infty} \frac{R}{R + 1} = 1$$

اگرقرار باشد تمام محصولیtotal Reflux می خواهیم بگیریم رابه داخل برج برگردانیم جریان برگشتی می شود. چون

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1} \leftarrow$$

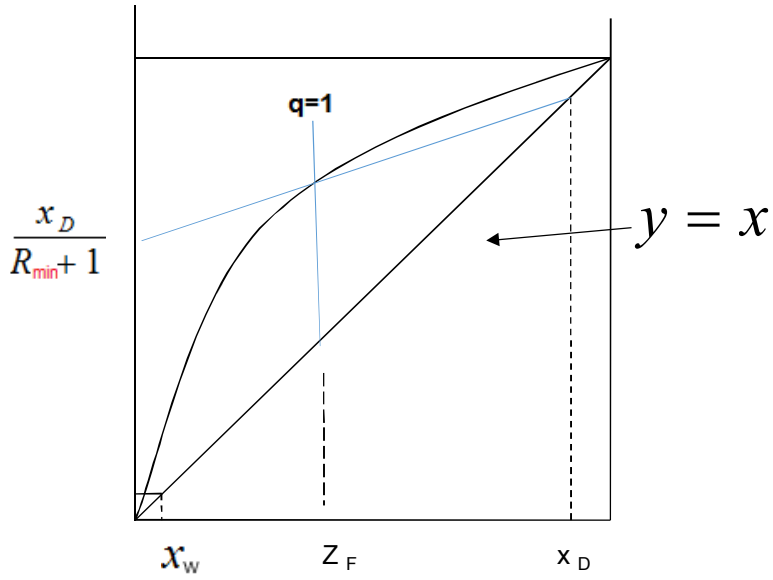
معادله خط کاربالا

باتوجه به عرض ازمبدأ خط کارپایین را رسم کرده وازآن تعداد پلکانها رارسم می کنیم باید ۱۴ تاپلکان شود (یکی مربوط به ریبویلراست).

چگونگی محاسبه حداقل جریان برگشتی در برج :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

جریان برگشتی حداقل

درحالتی که مقداربرگشتی، ازجریان برگشتی کامل کمتر باشد تعداد سینی ها بیشتر خواهد شد وهرچقدرمایع برگشتی کمتر شود تعداد سینی های مورد نیاز افزایش پیدا می کند.
درحالتی که مقدارجریان برگشتی بینهایت کم می شود. ($\frac{\ell_0}{D} \to \infty$) جریان برگشتی را، جریان برگشتی حداقل گوییم وتعداد سینی ها بی نهایت می شود .

$$\left(\frac{\ell}{D}\right)_{\min} < \frac{\ell_0}{D} < \infty \qquad R_{opt}=\beta R_{min} \qquad 1.2 < \beta \leq 2$$

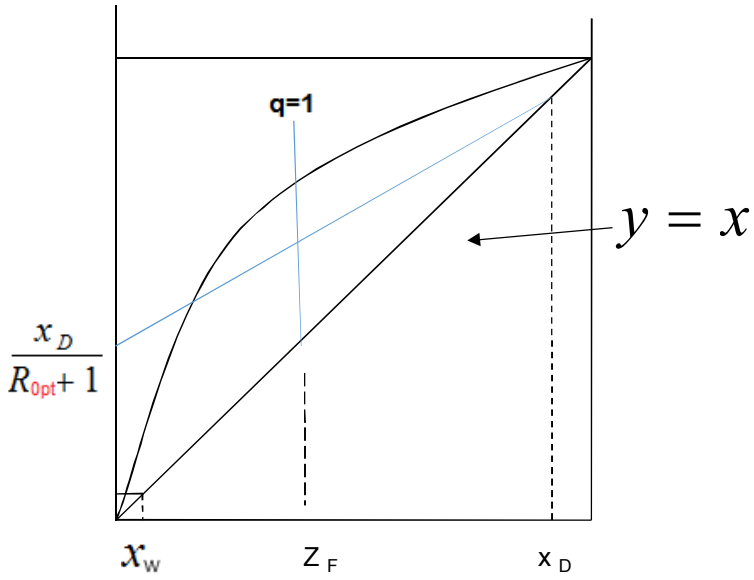
جریان برگشتی اپتیمم (بهینه) بین مقدار حداقل ومقداربی نهایت می باشد که بسته به نوع هرسیستم وخصوصیات حاکم بر آن مقدارش متفاوت می باشد .

چگونگی محاسبه جریان برگشتی بهینه در برج :

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}.x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$x_F = z_F$$



$$R_{opt}=\beta R_{min}$$

اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

چگونگی محاسبه جریان برگشتی بهینه در برج :

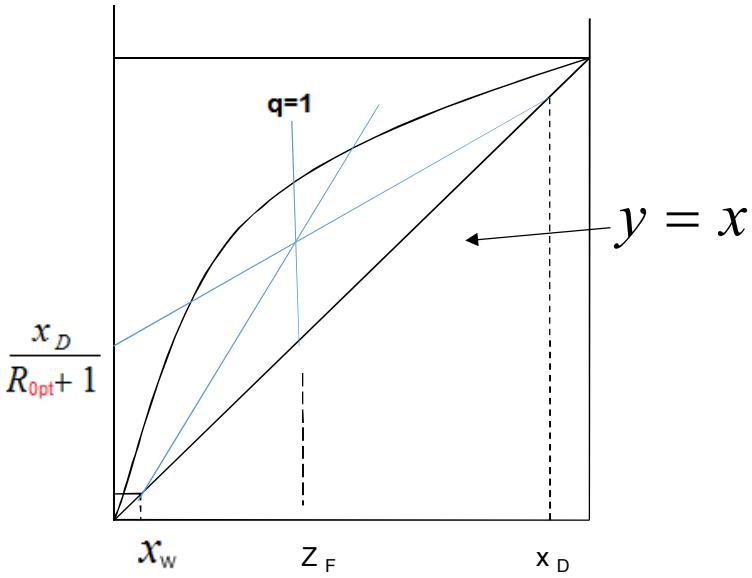
$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}.x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1}$$

$$y_{m+1} = \frac{\ell'}{\ell' - W}.x_m - \frac{W.x_W}{\ell' - W}$$

$$\ell' = \bar{L} \qquad x_F = z_F$$

$$\bar{G} = G' \qquad \text{or} \quad \bar{v} = v'$$



$R_{opt}=\beta R_{min}$

اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

در حالتی که مقدار جریان برگشتی از جریان برگشتی کامل کمتر باشد تعداد سینی ها بیشترخواهد شد و هر هر چقدر مایع برگشتی کمتر شود تعداد سینی مورد نیاز افزا یش می یابد در حالی که مقدار جریان برگشتی بی نهایت کم شود $\frac{\ell_0}{D} \to \infty$ جریان برگشتی را جریان برگشتی حداقل می گوییم و تعداد سینی ها بی نهایت است . جریان برگشتی بهینه بین مقدار حداقل و مقدار بی نهایت می باشد .

چگونگی محاسبه حداقل جریان برگشتی به صورت تحلیلی:

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

&

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_f}{q-1}$$

$x_F = z_F$

$$\alpha = \frac{x(1-y)}{y(1-x)}$$

$$\Rightarrow \frac{q}{q-1}x - \frac{z_f}{q-1} = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

چگونگی محاسبه حداقل جریان برگشتی به صورت تحلیلی:

$$\Rightarrow x\left(\frac{R}{R+1}-\frac{q}{q-1}\right)=\frac{-x_D}{R+1}-\frac{Z_f}{q-1} \qquad x_F=z_F$$

$$\Rightarrow x\left[R(q-1)-q(R+1)\right]=-(q-1)x_D-Z_f(R+1)$$

$$\Rightarrow x(Rq-R-qR-q)=-(q-1)x_D-Z_f\ (R+1)$$

$$\Rightarrow -x(R+q)=-\left[(q-1)x_D+Z_f(R+1)\right]$$

$$\Rightarrow x=\frac{z_f(R+1)+x_D(q-1)}{R+q}$$

چگونگی محاسبه حداقل جریان برگشتی به صورت تحلیلی:

$$x_F = z_F$$

$$y = \frac{R}{R+1}\left[\frac{z_f(R+1)+x_D(q-1)}{R+q}\right]+\frac{x_D}{R+1}$$

$$= \frac{R(R+1)\ z_f + Rx_D(q-1)+Rx_D+qx_D}{(R+1)(R+q)}$$

$$\Rightarrow y = \frac{R\,z_f + qx_D}{R+q}$$

چگونگی محاسبه حداقل جریان برگشتی به صورت تحلیلی:

$$\alpha = \frac{x(1-y)}{y(1-x)} = \frac{\left[\frac{z_f(R+1)+x_D(q-1)}{R+q}\right]\left[1-\frac{R\,z_f+qx_D}{R+q}\right]}{\frac{R\,z_f+qx_D}{R+q}\left(1-\frac{z_f(R+1)+x_D(q-1)}{R+q}\right)}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{\left[z_f(R+1)+x_D(q-1)\right]\left[R(1-z_f)+q(1-x_D)\right]}{(R\,z_f+qx_D)\left[(R+1)(1-z_f)+(q-1)(1-x_D)\right]}$$

چگونگی محاسبه حداقل جریان برگشتی به صورت تحلیلی:

$$x_F = z_F$$

$$IF\ q = 1 \rightarrow \quad R_{\min} = \frac{1}{\alpha - 1}\left[\frac{x_D}{x_f} - \frac{\alpha(1-x_D)}{1-x_f}\right]$$

$$IF\ q = 0 \rightarrow \quad R_{\min} = \frac{1}{\alpha - 1}\left[\frac{\alpha x_D}{y_f} - \frac{(1-x_D)}{1-x_f}\right] - 1$$