

OFFSITE FACILITIES SERIES FLARE SYSTEM

Oleh : Ichsan Muchtar ST.,MT. *)

Abstrak

Off site facilities merupakan sarana yang harus dimiliki oleh suatu industri migas .off site facilities ber fungsi menunjang onsite facilities agar dapat berfungsi dengan baik, yang secara garis besar fungsi offsite facilities adalah dalam 5 hal : Crude & Feedstock Storage & Handling; Product Handling / Storage; Penyediaan Utilities; Safety & Invironment Protection; Disposal of Liquid & Vapours

Dari segi biaya, offsite merupakan bagian biaya terbesar dari segi ongkos investasi maupun ongkos operasi, dalam suatu kilang. Ongkos investasi : 75 – 200% dari process unit; Ongkos operasi : 30 – 50% dari total direct cost

I. PENDAHULUAN

Apakah yang termasuk kedalam offsite facilities ?

Umumnya offsite facilities meliputi fasilitas diluar proses unit (onsite facilities). Termasuk didalamnya adalah :

1. Boiler House / Power Plant / Water Treating Plant
2. Cooling Towers
3. Process & Instrument Air System
4. Tankage & Pressure Vessel
5. Pumphouse
6. Jetty / Dock
7. TEL Blending Plant
8. Sewer and oil separator
9. Flare system
10. Electrical Distribution Station
11. Fire Fighting Facilities
12. Relief Values
13. Laboratory
14. DII.

III. Pembahasan

FUNGSI :

Membakar gas buangan agar tidak berbahaya bagi kilang itu sendiri dan bagi lingkungan.

II. Tujuan Penulisan

Pada penulisan ini, secara umum offsite facilities berfungsi menunjang onsite facilities agar dapat berfungsi dengan baik, yang secara garis besar fungsi offsite facilities adalah dalam 5 hal :

- Crude & Feedstock Storage & Handling
- Product Handling / Storage
- Penyediaan Utilities
- Safety & Invironment Protection
- Disposal of Liquid & Vapours

Dari segi biaya, offsite merupakan bagian biaya terbesar dari segi ongkos investasi maupun ongkos operasi, dalam suatu kilang.

Ongkos investasi : 75 – 200% dari process unit

Ongkos operasi : 30 – 50% dari total direct cost

MACAM & TYPE :

Umumnya secara garis besar terdapat 2 macam / type flare :

1. Ground Flare
2. Elevated Flare

DASAR PEMILIHAN :

Untuk menentukan type flare yang akan dipilih dalam suatu design maka ditimbulkan oleh faktor :

1. Ekonomis / teknis
2. Tingkat pembatasan polusi yang diperkenankan (faktor lingkungan)

Faktor Lingkungan Lingkungan :

1. Kadar senyawa kimia yang berbahaya bagi manusia dalam gas hasil pembakaran (flue gas)
2. Asap dalam gas hasil pembakaran.
3. Nyala pembakaran gas Hydrocarbon.
4. Radiasi panas oleh pembakaran gas.
5. Suara yang ditimbulkan.

GROUND FLARE

Design dengan type ini dapat dipilih apabila :

1. Lokasi hilang di tempat terpencil
2. Tidak ada pembatasan mengenai asap dari flare.
3. Memerlukan kapasitas pembuangan gas yang relatif kecil.

ELEVATED FLARE :

Type ini umumnya dipakai pada hampir semua design kilang dimana gas Hydrocarbon dibakar pada flare stack pada ketinggian diatas permukaan tanah.

Ada 2 macam Elevated Flare :

1. Non Smokeless Flare
2. Smokeless Flare

Non Smokeless Flare

Flare dengan design pembakaran gas akan menghasilkan juga asap terutama pada load pembakaran yang besar.

Smokeless Flare

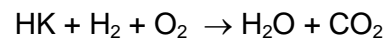
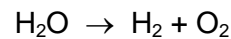
Pada system flare ini diinjeksikan steam untuk menghasilkan hasil pembakaran yang tidak menimbulkan asap dan nyala.

Asap dan nyala adalah akibat dari pembakaran yang kurang sempurna karena pencampuran yang tidak sempurna antara udara dengan Hydrocarbon.

Dengan injeksi steam maka terjadi :

- Penyempurnaan pencampuran udara dengan Hydrocarbon

- Terjadi reaksi :



Yang menghasilkan hasil pembakaran tidak berasap dan tidak menimbulkan nyala besar yang merah (nyala kebiru-biruan dan hampir tidak tampak).

Kebutuhan steam untuk Smokeless Flare :
0.2 - 0.4 lb steam per lb Hydrocarbon

Untuk menghemat pemakaian steam biasanya dipakai injeksi steam hanya didesign pada jumlah gas Hydrocarbon yang dibakar pada normal condition sehingga biasanya pada waktu emergency dimana buangan gas Hydrocarbon banyak nyala flare tidak smokeless lagi.

Flare System :

Suatu flare system terdiri atas :

1. Flare Stack
2. Seals

Fasilitas yang dipakai untuk mencegah terjadinya air back flow dan flash back ke dalam knock out drum.

Dapat dipakai :

- Water Seal Drum
- Purge Gas
- Sand & Gravel Seals

3. Knock Out Drum

Untuk memisahkan cairan dari gas

4. Pilot and Ignition System

Bagian ini terletak pada flare stack dan berfungsi agar tetap terdapat nyala api untuk membakar gas yang sewaktu-waktu dibuang melalui flare stack.

5. Flare Tip : ujung dari Stack dilengkapi dengan Burness dan Windshield.

Flare Stack

Flare stack sebaiknya terletak pada lokasi bawah angin pada suatu kilang, pada jarak yang cukup aman dari peralatan kilang lainnya dan tanki-tanko serta tempat-tempat personel kilang berada.

Tinggi dari flare stack ditentukan oleh efek radiasi dan juga oleh kadar gas hasil buangan yang aman (terutama untuk Petrochemical Plant).

Intensitas radiasi yang diperkenankan dari panas matahari dan panas nyala api dari flare stack ialah pada maksimum :

3000 BTU/hr/ft² untuk equipment

1500 BTU/hr/ft² untuk personel

Tinggi flare stack berkisar 20 sampai 300 ft tergantung dari faktor-faktor diatas.

PERHITUNGAN FLARE SYSTEM

Flare Stack Diameter

Flare Stack harus mempunyai diameter agar tidak terjadi kecepatan uap keluar flare yang menyebabkan blow out.

Kecepatan tersebut yang memenuhi syarat adalah 20 – 30% dari kecepatan sonic dari uap (Sonic Velocity). Maka untuk menghitung diameter flare stack didasarkan kecepatan uap /. Garis Hydrocarbon pada 20% Sonic Velocity.

Sonic Velocity : Kecepatan suara dalam fluid tersebut. Pada kecepatan ini yang merupakan critical velocity fluida tidak akan mengalami penurunan tekanan.

Diameter flare stack dapat dihitung sebagai berikut :

$$W = 3600 \rho_G v A_c \quad (1)$$

Dimana :

W = kecepatan massa = dari flare stack, lb/hr

ρ_G = density dari gas yang melalui flares, lb/cuff

Dari segi konstruksi, flare stack dapat berupa :

- Self Supporting (Stack ditahan oleh Stack sendiri)
- Guy Supported (Stack ditahan oleh Guy Wire)
- Derrick type structure supported (Stack ditahan oleh konstruksi Derek)

Self Supporting flare stack hanya ekonomis terbatas pada height-diameter ratio 30 : 1.

Bila tempat sangat terbatas sehingga sulit untuk memasang guy wire dipakai derrick type structure supported flare stack sampai tinggi stack 200 ft.

Keuntungan type ini adalah memudahkan pemasangan dan maintenance dari flare tip, pilot dan ignitors.

A_c = luas permukaan melintang dari flare stack,

v = kecepatan keluar dari flare, ft/sec

$$v = 20\% \text{ sonic velocity} \quad (2)$$

$$= 0,20 \sqrt{\frac{g K R T}{M}}$$

$$K = \frac{C_p}{C_v}$$

g = Gravitasi bumi

R = Gas constan, 1, 5, 4 6 (ft lb force / (°Rankine) (mole)

T = Satu gas °Rankine

M = Berat molekul gas

Luas permukaan melintang flare :

$$A_c = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_c = \frac{0,785}{144} d^2 \quad (3)$$

Dimana :

d = diameter flare stack

Density gas :

$$\rho_g = \frac{Mp}{10,73} \quad (4)$$

Dimana :

M = Besar molekul gas, mole

p = Tekanan gas, psia

T = Suhu as, °Rankine

10,73 = Gas constant dalam satuan (psia) (ft²) / (°Rankine) (mole)

Dengan mengkombinasikan persamaan (1)

(2) (3) dan (4),

Maka didapat :

$$W = (3600) \left(\frac{Mp}{10,73} \right) \left(0,20 \sqrt{\frac{g k RT}{M}} \right) \left(\frac{0,785}{144} \right) d^2$$

$$d^2 = \frac{W \times 10,73 T}{(3600) \times MP} \frac{144}{0,785} \times \frac{1}{0,20} \sqrt{\frac{M}{g k RT}}$$

$$d^2 = \frac{W}{85.p} \times \sqrt{\frac{1}{k} \times \frac{T}{M}} \quad (5) \Rightarrow \rho = 14,7 \text{ psia}$$

$$d^2 = \frac{W}{1250} \times \sqrt{\frac{1}{k} \times \frac{T}{M}} \quad (5)$$

Tinggi Stack

Untuk menentukan tinggi Flare Stack maka didasar kan pack maximum radiasi panas yang diperkenankan terhadap personil dan terhadap equipment lain yang ada dikilang.

Intensitas radiasi dihitung dengan rumus :

$$I = \frac{\theta \times F}{4 \pi R^2} \quad (6)$$

Dimana :

I = Intensitas cahaya . BTu/(hr)(ft²)

Q = Panas yang dikeluarkan oleh pembakaran sebagai radiasi, % terhadap panas yang dikeluarkan.

Panas yang dikeluarkan oleh pem-bakaran dapat dilihat pada tabel-tabel calorific value

: bahwa Heating Value dari Hydrocarbon yang dibakar (LHV) dikalikan volume Hydrocarbon.

Faktor Emisi : E tergantung dari beberapa faktor a.1 :

- Kesempurnaan pembakaran
- Kadar karbon yang dihasilkan, yang mempengaruhi faktor emisi. Makin besar kadar Carbon bebas dalam hasil gas pembakaran, asap makin hitam dan menghalangi radiasi panas sekelilingnya.

- Makin jauh letak/jarak radiasi makin kecil faktor emisi.

- Inyeksi Steam

Makin besar ratio steam terhadap Hydrocarbon yang dibakar (makin smokeless) makin kecil faktor emisi.

Faktor Emisi : E diperkirakan dengan rumus :

$$E = 0,048 \sqrt{M}$$

M = berat molekul Hydrocarbon

Dengan demikian maka jarak minimum terhadap sumber nyala (sumbu radiasi) dapat dihitung menurut rumus diatas :

$$E = \left(\frac{E Q}{4 \pi I} \right)^{1/2} = \left(\frac{0,048 \sqrt{M \times Q}}{4 \pi I} \right)^{1/2} \quad (7)$$

Nyala flare idealnya adalah tegak lurus dengan menghasilkan kecepatan angin.

Tetapi pada kecepatan sebenarnya : nyala flare miring karena pengaruh kecepatan angin.

Kemiringan nyala dapat dihitung :

$$\theta = \frac{\text{Kecepa tan angin}}{\text{Kecepa tan keluar flare}} \quad (8)$$

θ = Sudut kemiringan nyala api

Untuk mendapatkan nyala yang stabil maka didapat rumus empiris :

$$L = 120 d \quad (9)$$

Dimana :

L = Panjang nyala api flare

D = Diameter stack

Dengan memakai rumus diatas dapat dihitung tinggi flare stack :

F = Pusat radiasi menurut eksperimen terletak pada jarak 1/3 panjang nyala api dari flare tip

$$TF = \frac{1}{3}L$$

$$b = TF \sin \theta = \frac{1}{3}L \sin \theta$$

$$a = TF \cos \theta = \frac{1}{3}L \cos \theta$$

$$R^2 = (\chi - b) + (H + a)^2$$

χ = jarak minimum terhadap equipment yang diperkenankan dan flarestack.

Dengan memasukan harga diatas (a dan b) didapat hubungan antara H dan x

$$R^2 = \left(\chi - \frac{1}{3}L \sin \theta \right)^2 + \left(H + \frac{1}{3}L \cos \theta \right)^2 \quad (10)$$

Dengan memasukkan harga R menurut persamaan (7) didapat :

$$\frac{(0,048\sqrt{M})(Q^2)}{4\pi d} = \left(x - \frac{1}{3}L \sin \theta \right)^2 + \left(H + \frac{1}{3}L \cos \theta \right)^2$$

$$= (x - 40d \sin \theta)^2 + (H + 40d \cos \theta)^2$$

Dari persamaan (11) ini M dan Q adalah konstanta, sudut θ adalah konstanta tergantung dari kecepatan angin dan kecepatan keluar dari gas hidrokarbon (persamaan (2) didepan), maka terdapat hubungan antara tinggi stack H dengan jarak antara equipment/personel dengan flarestack yang minimum.

Dari persamaan tersebut kelihatan bahwa makin besar H maka makin kecil x yang berarti apabila tersedia lokasi yang terbatas maka stack harus tinggi dan sebaliknya apabila tersedia lokasi/area yang luas (x = besar) maka tinggi stack dapat lebih rendah (kecil).

Knock Out Drum

Untuk menentukan diameter Knock Out Drum dipakai rumus-rumus sebagai berikut :

Horizontal drum dengan ukuran particle drop 400 mikron

$$G = 1500 \sqrt{(\rho_L - \rho_G)\rho_G} \quad (12)$$

Dimana :

G =Kecepatan massa dalam drum, lb/hr ft² uap Hydrocarbon

ρ_L = density uap Hydrocarbon, lb/ft²

ρ_G =density cairan Hydrocarbon, lb/ft³

W = G A_c W = lb/hr uap Hydrocarbon

$$= 1500 A_c \sqrt{(\rho_L - \rho_G)\rho_G}$$

$$\rho_G = \frac{M \cdot P}{10.73T}$$

$$A_c = \frac{\pi D^2}{4}$$

D = diameter K.O Drum

$$W = 1500 \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{(\rho_L - \rho_G) \frac{M}{T} P}$$

$$W = 360 D^2 \sqrt{(\rho_L - \rho_G) \frac{M}{T} P}$$

$$D^2 = \frac{W}{360 \sqrt{(\rho_L - \rho_G) \frac{M}{T} P}} \quad (13)$$

Untuk sementara panjang K.O Drum dipakai hubungan :

$$L = 2 \text{ sampai } 3D \quad (14)$$

Untuk menentukan jumlah steam injection yang diperlukan dipakai rumus empiris (untuk smokeless flare)

Lb Steam/lb Hydrocarbon

$$= (0.68 - 10.8/M)$$

M = berat molekul Hydrocarbon

CONTOH PERHITUNGAN : FLARE DESIGN

Suatu kilang mempunyai flare load : 975.927 lb/hr gas, dengan berat molekul 60, suhu 414°F, $c_p/c_v = 1.2$ pada tekanan 1 atm. Dicoba mendesign flare system dalam kilang tersebut. Kecepatan angin rata-rata 44 FPS, Tekanan dalam K.O Drum = 17 psi, $\rho_L = 40 \text{ lb/cF}$

1. Menghitung Flare Stack Diameter

$$\begin{aligned} d^2 &= \frac{W}{1250} \sqrt{\frac{1}{k} \frac{T}{M}} \\ &= \frac{975.927}{1250} \sqrt{\frac{1}{1.2} \frac{(414 + 460)}{60}} \\ &= 2723 \\ d &= 52 \text{ in} \end{aligned}$$

2. Sonic Velocity

$$\begin{aligned} \text{Sonic Velocity} &= \sqrt{\frac{k g R T}{M}} \\ &= \sqrt{\frac{(1.2)(32.17)(1.546)(414 + 460)}{60}} \\ &= 932 \text{ ft/sec} \end{aligned}$$

3. Kecepatan keluar stack

20% sonic velocity
 $0.20 * 932 = 186 \text{ FPS}$

4. Perhitungan tinggi stack & radius terlarang dari lokasi flare stack

$$R = \frac{0.048 Q \sqrt{M}}{4\pi d}$$

Q = panas yang dihasilkan dari pembakaran

Untuk M = 60

$$Q = \frac{W}{M} * LHV * 379$$

1 lb mole gas = 379 seF

LHV untuk M = 60

LHV = 3100 BTU/scF (lihat grafik)

$$\begin{aligned} Q &= \frac{975.927}{60} * 379 * 3100 \\ &= 19.10 * 10^6 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

I = intensitas radiasi yang diperkenankan

Untuk personel : 1200 BTU/hr/ft²

Untuk equipment : 3000 BTU/hr/ft²

$$R = \frac{0.048 * 19.110 * 10^6 \sqrt{60}}{4\pi(1200)}$$

= 685 ft untuk personel

$$R = \frac{0.048 * 19.110 * 10^6 \sqrt{60}}{4\pi(3000)}$$

= 274 ft untuk equipment

L = flame length = 120 d

= 120 * 52 m = 6540 m = 520 ft

1/3L = 173.3 ft

$$\tan \theta = \frac{44}{186} = 0.2366$$

$\theta = 13.31^\circ$

$\sin \theta = \sin 13.31 = 0.2302$

$\cos \theta = \cos 13.31 = 0.9731$

$$R^2 = \left(x - \frac{1}{3}L \sin \theta\right)^2 + \left(H + \frac{1}{3}L \cos \theta\right)^2$$

$$R^2 = (x - 173.3 * 0.2302)^2 + (H + 173.3 * 0.9731)^2$$

$$685^2 = (x - 39.9)^2 + (H + 168.6)^2$$

$$469225 = (x - 39.9)^2 + (H + 168.6)^2$$

$$469225 = (x - 39.9)^2 + (H + 168.6)^2$$

H	(H + 168.6) ²	(x - 39.9) ²	(x - 39.9)	x
20	35570	433655	658.5	698.4
30	39442	429783	655.6	695.5
40	43514	425711	652.5	692.3
50	47786	421439	649.2	689.1
100	72146	3979079	630.1	670.0
200	135866	333359	577.4	617.3

300	219586	249639	499.6	539.5
400	323306	145919	381.9	421.8

Knock Out Drum

Diameter :

$$D^2 = \frac{W}{360\sqrt{(\rho_L - \rho_G)} \frac{M * P}{T}}$$

$$D^2 = \frac{975.927}{360\sqrt{(40 - 0.11)} \frac{60 * 17}{874}}$$

$$D^2 = 397.3$$

$$D = 19.9 \text{ FT} \quad \text{say } 20 \text{ FT}$$

Panjang :

$$L = 2D \quad L = 2 * 20 = 40 \text{ ft}$$

Ambil hold up time : 10 menit

5% liquid dalam vapour

W_L = flow rate liquid

$$= 0.05 * 975.927 \text{ lb/hr}$$

$$= \frac{0.05 * 975.927}{40}$$

$$= 1220 \text{ FT}^2/\text{hr} = 20 \text{ FT}^3/\text{min}$$

W_V = vapour flow rate

$$= 0.95 * 975.927$$

$$= 927.130 \text{ lb/hr}$$

$$= \frac{927.130}{60 * 0.11}$$

$$= 140.474 \text{ FT}^3/\text{min}$$

$$= 140.474 \text{ FT}^3/\text{min}$$

Dalam 10 menit

$$\text{Volume liquid} = 10 * 20 = 200 \text{ FT}^3$$

Cross sectinual liquid area :

$$\frac{200 \text{ FT}^3}{40 \text{ FT}} = 5 \text{ FT}^2$$

Cross Sectinual Vapour Area

$$\frac{\pi - D^2}{4} - 5 \text{ FT}^2 = \frac{\pi(20)^2}{4} - 5 \text{ FT}^2$$

$$= 314 - 5 = 309 \text{ FT}^2$$

V_v = vapour velocity

$$= \frac{140.474}{309} = 440 \text{ FT}/\text{min} = 7.3 \text{ min}$$

$$V_c = 0.4166 \sqrt{\frac{40 - 0.11}{0.11}} = 7.9 \text{ FT}/\text{min}$$

$V_v < V_c$ OK

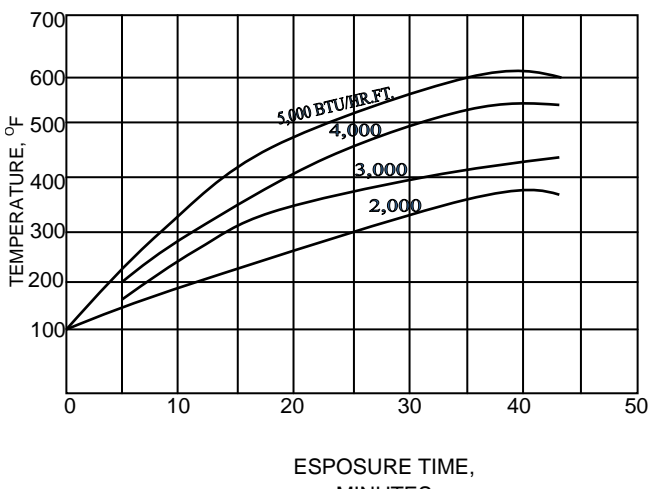


Fig. 2—Temperature of steel equipment vs. time of exposure to radiant heat intensities of 2,000, 3,000, 4,000 and 5,000 Btu/hr. sq. ft. Assumption : large equipment with place thickness of ¼-inch, effective emissivity of 10 and view factor of 0.5.

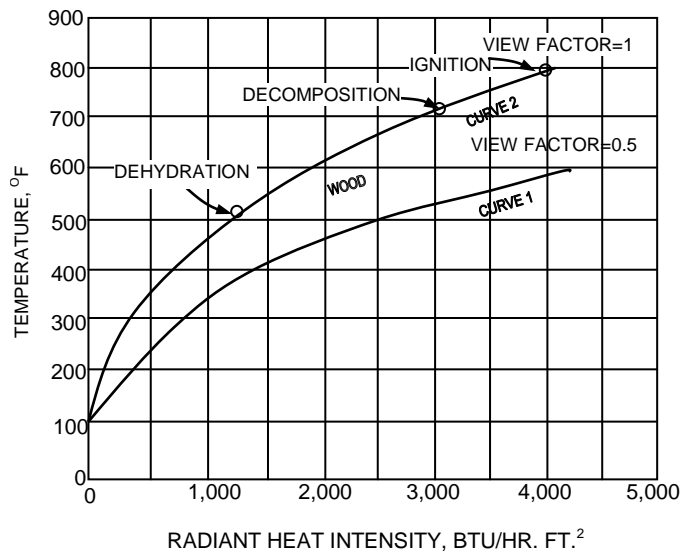


Fig. 3—Equilibrium temperature vs. radiant heat intensity. Curve 1 applies to metal equipment; Curve 2 applies to wooden objects.

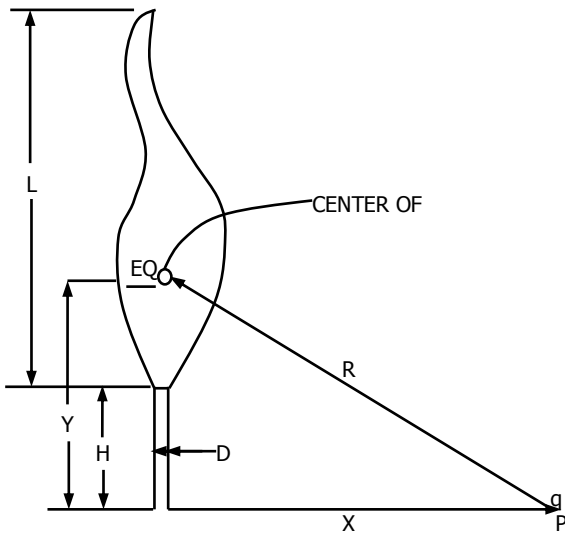


Fig. 5—The radiant heat intensity q at any given point P at grade is inversely proportional to the square of the distance from the center of the flame to P.

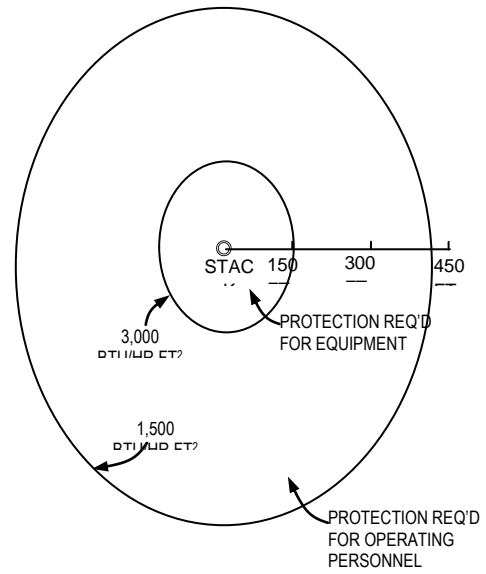


Fig. 4—Circles of 1,500 and 3,000 Btu/hr. sq. ft. heat intensity for one 48-inch flare stack; height, 200 feet; flare load, 970,000 lb.hr., and molecular weight, 44.

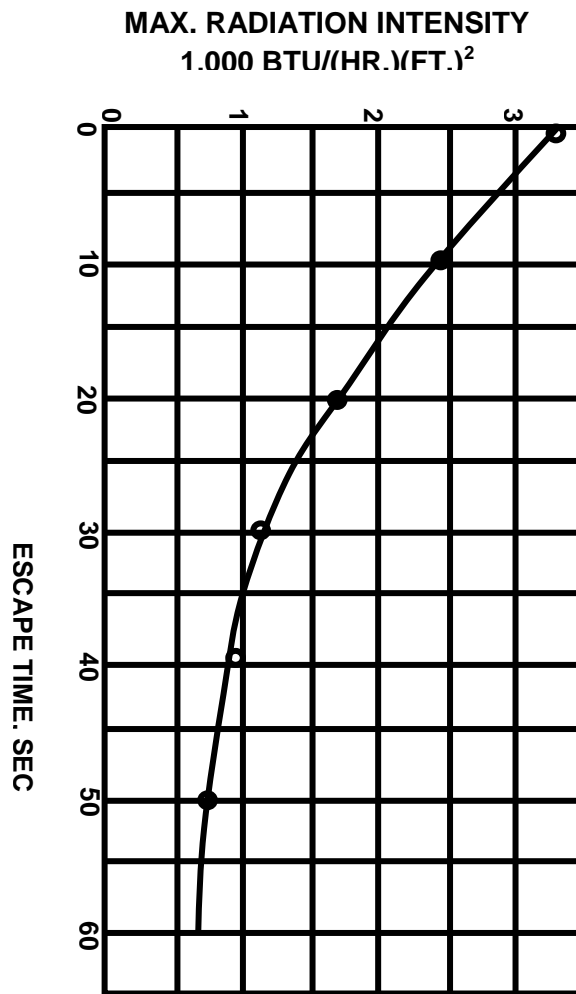


FIGURE 6—Maximum radiation intensity vs escape time based on 5 seconds reaction time.

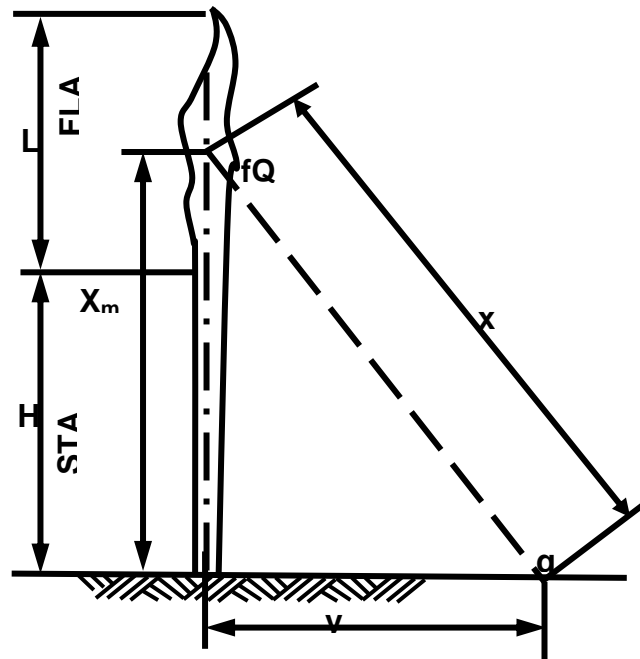


FIGURE 7—Diagram of flare stack and flame in still air

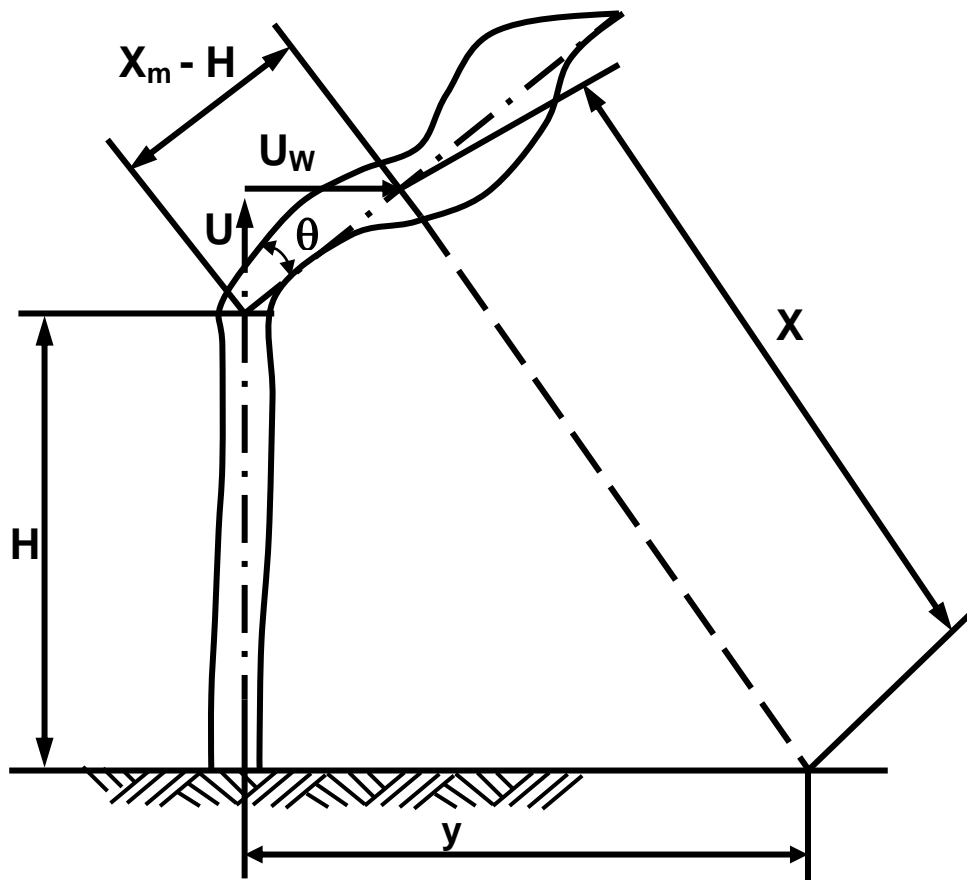
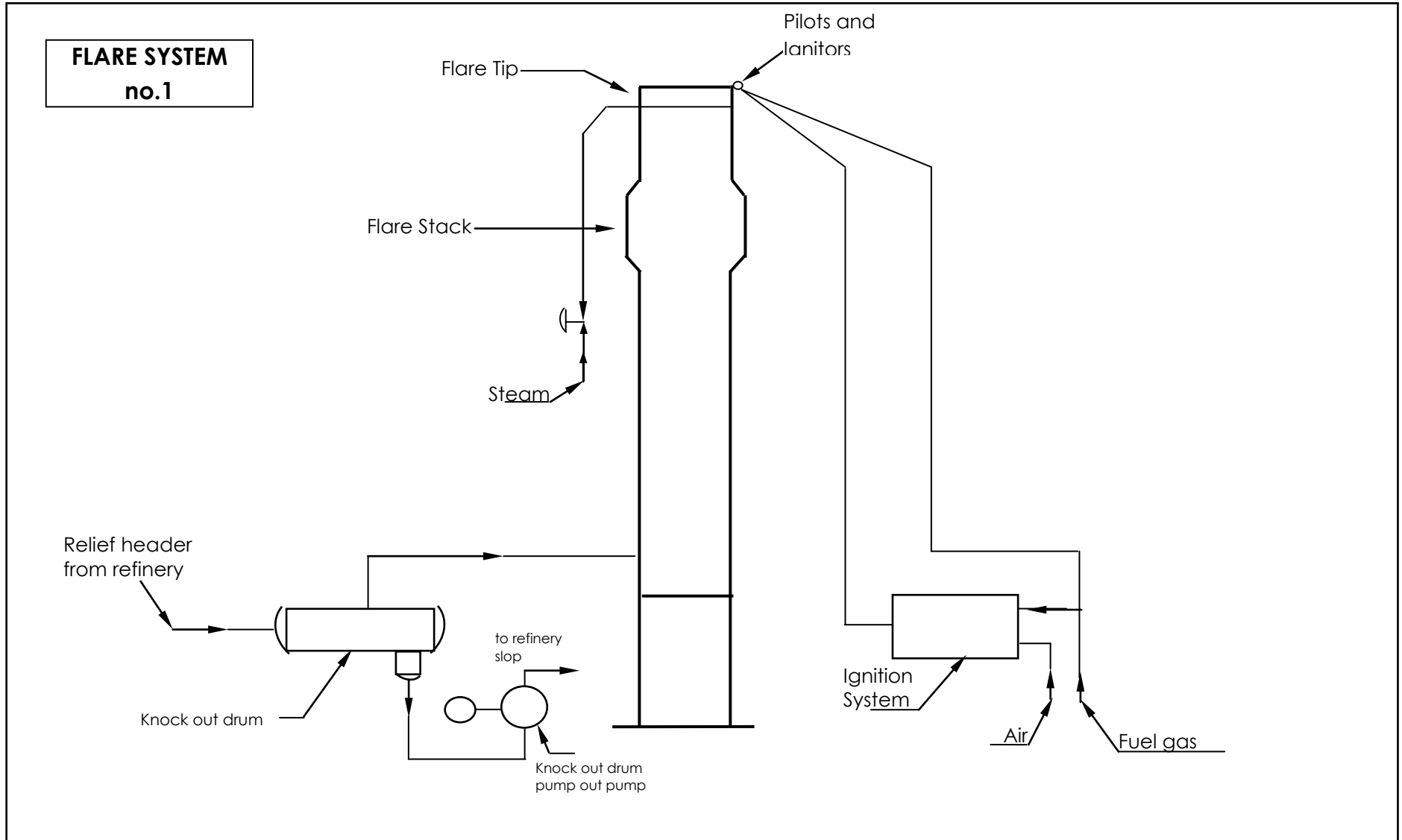
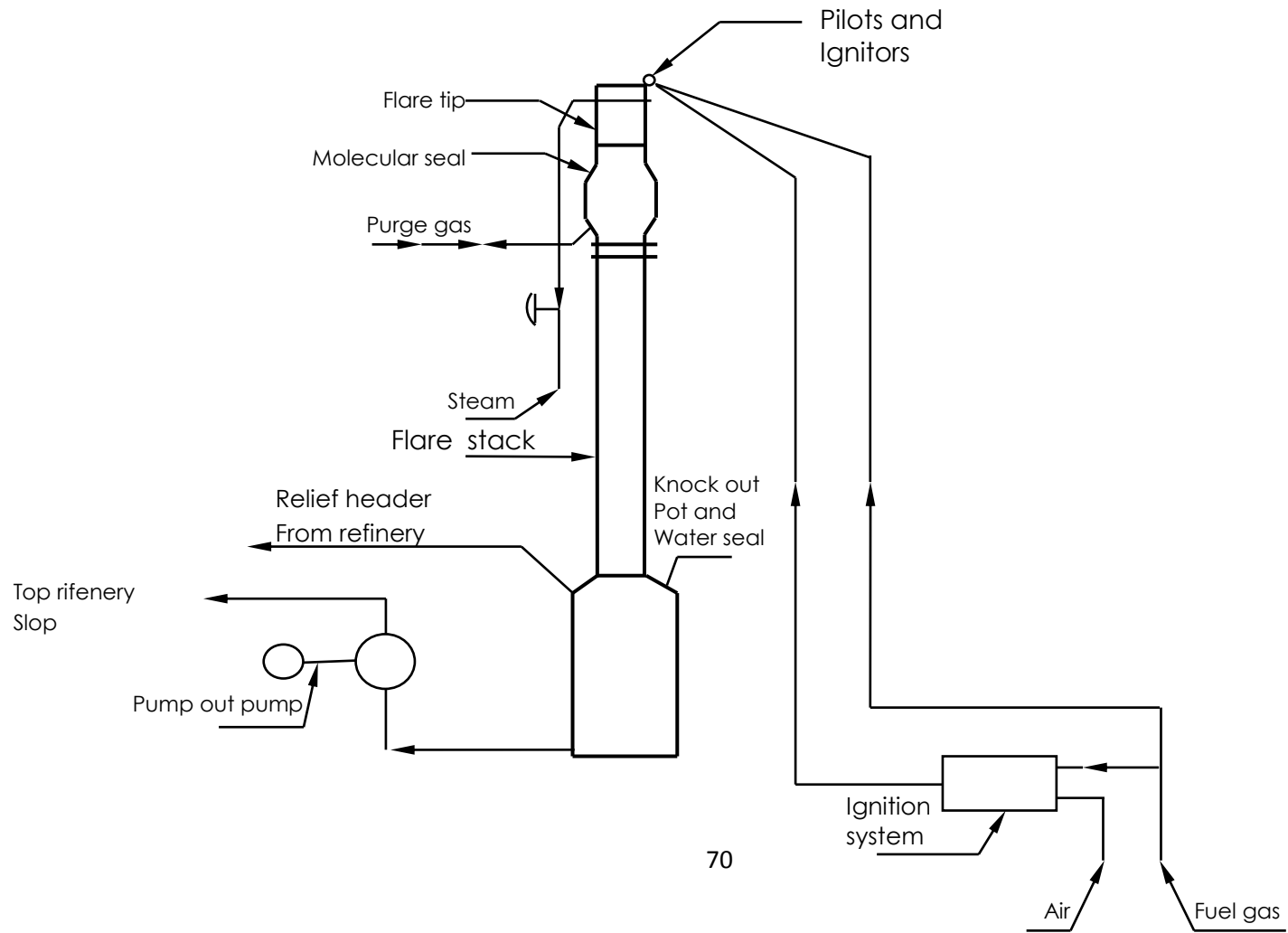


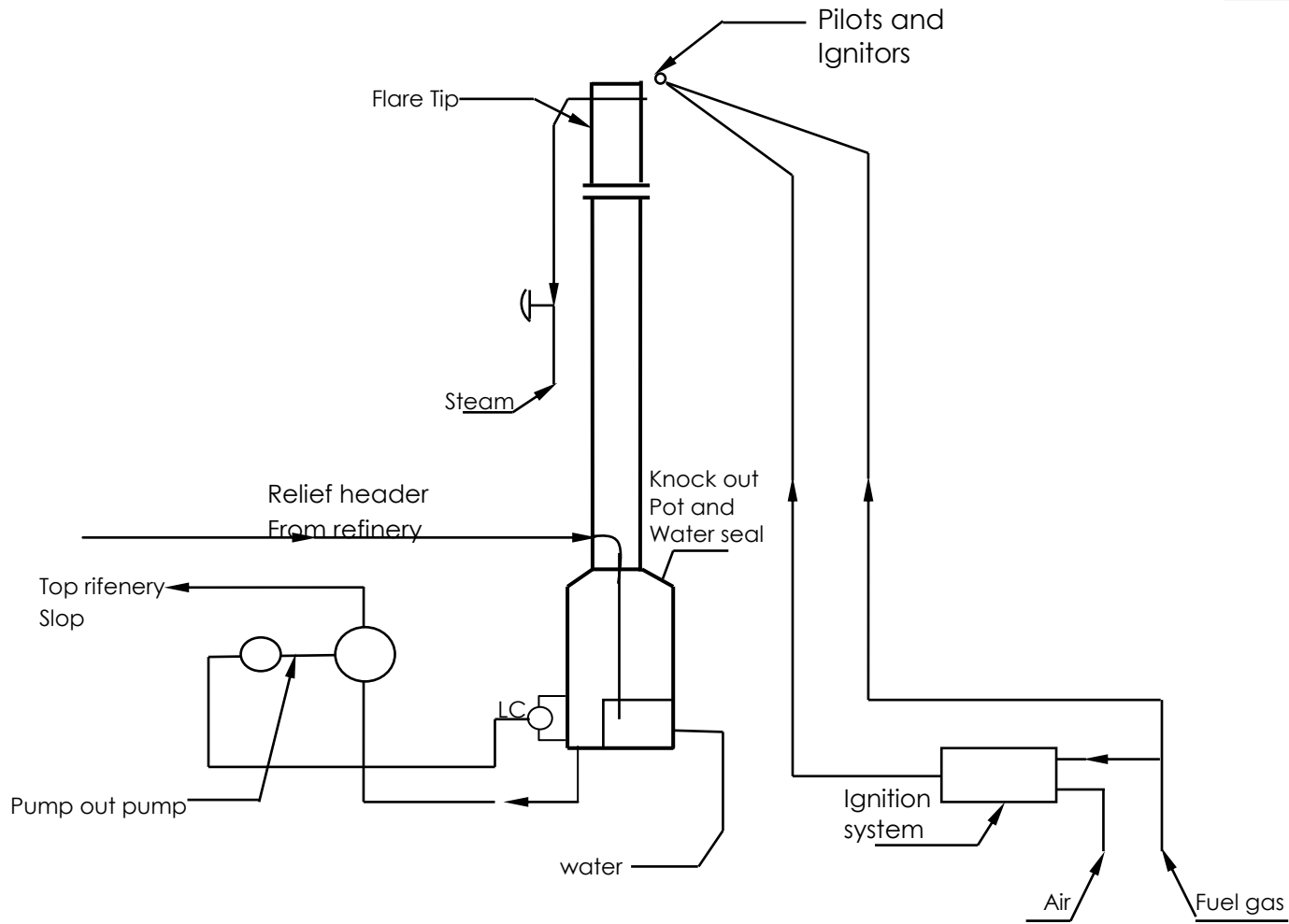
FIGURE 8—Diagram of flare stack and flame under the influence of wind

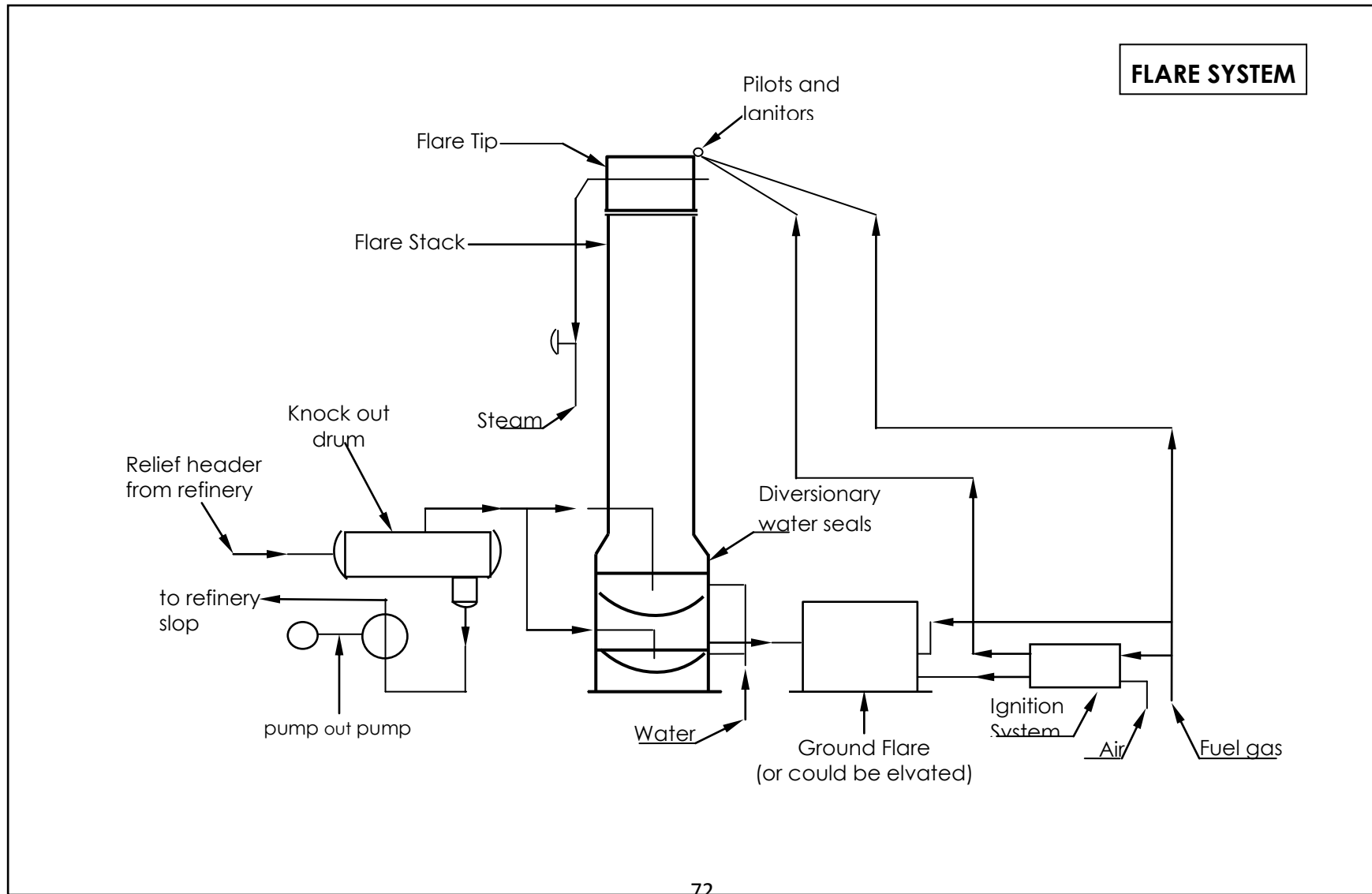


**FLARE SYSTEM
no.2**



**FLARE SYSTEM
no.3**





PHYSICAL CONSTANTS OF PARAFFIN HYDROCARBONS AND OTHER COMPONENTS OF NATURAL GAS
GPA Publication 2145⁽²⁷⁾ – APPROVAL PENDING
ABRIGED

Component	Notes	Methane	Ethane	Propane	Iso- Butane	Iso- <i>n</i> -Butane	<i>n</i> - Pentane	<i>n</i> - Hexane	<i>n</i> - Heptane	<i>n</i> - Octane	<i>n</i> - Nonane	<i>n</i> - Decane	
Molecular Weight		16.043	30.070	44.097	58.124	58.124	72.151	72.151	86.178	100.205	114.232	128.259	142.286
Boiling Point @ 14.696 psia, °F		-	-127.44	-43.73	10.73	31.12	82.11	96.91	155.73	209.16	258.21	303.48	345.49
		258.74(28)											
Freezing Point @ 14.696 psia, °F		-296.45 ^d	-297.04 ^d	-305.82 ^d	-305.82 ^d	-217.05	-255.82	-201.51	-139.58	-131.05	-70.17	-64.28	-21.35
Vapor Pressure @ 100 °F, psia		(5000.)	(800.)	188.0	72.39	51.54	20.444	15.575	4.960	1.6201	0.5370	0.1796	0.0609
Density of Liquid @ 60 °F & 14.696 psia		(0.3) ⁱ	0.3563 ^h	0.5075 ^h	0.5630 ^h	0.5842 ^h	0.6244	0.6311	0.6640	0.6883	0.7070	0.7219	0.7342
Relative density @ 60 °F/60 °F..... <i>a.b</i>		(340.0) ⁱ	256.6 ^h	147.3 ^h	119.8 ^h	110.7 ^h	95.1	92.7	81.60	74.08	68.64	64.51	61.23
API		(2.5) ⁱ	2.970 ^{h,x}	4.231 ^{h,x}	4.694 ^h	4.870 ^h	5.206	5.261	5.536	5.738	5.894	6.019	6.121
.....		(2.5) ⁱ	2.960 ^h	4.221 ^h	4.684 ^h	4.861 ^h	5.196	5.252	5.527	5.729	5.885	6.010	6.112
<i>a.b</i>													
Absolute density, lbm/gal (in vacuum).....													
Apparent density, lbm/gal (in air)..... <i>c</i>													
Density of Gas @ 60 °F & 14.696 psia		0.5539	1.0382	1.5225	2.0068	2.0068	2.4911	2.4911	2.9753	3.4596	3.9439	4.4282	4.9125
Relative density, air = 1.00. ideal gas		42.28	79.24	116.20	153.16	153.16	190.11	190.11	227.07	264.06	301.02	337.95	374.95
Lb/M ft ³ , ideal gas													

.....												
Volume @ 60°F & 14.696 psia												
Liquid, gal/lb-mole	(6.4) ⁱ	10.12 ^h	10.42 ^h	12.38 ^h	11.93 ^h	13.86	13.71	15.59	17.46	19.38	21.31	23.26
.....												
	(59.1) ⁱ	37.48 ^h	36.41 ^h	30.65 ^h	31.80 ^h	27.38	27.67	24.38	21.73	19.58	17.81	16.32
ft ³ gas/gas liquid, ideal gas	(442.) ⁱ	280.4 ^h	272.3 ^h	229.3 ^h	237.9 ^h	204.8	207.0	182.4	162.6	146.5	133.2	122.1
.....												
Ratio, gas/liquid in vacuum.....												
Critical Conditions												
Temperature,	-166.68	90.10	206.01	274.96	305.62	369.03	385.6	453.6	512.7	564.10	610.54	651.6
°F.....	667.8	707.8	616.3	529.1	550.7	490.4	488.6	436.9	396.8	360.6	331.8	304.4
Pressure, psia												
.....												
Gross Calorific Value,												
Combustion @ 60 °F												
Btu/lb, liquid	23.881.	22.322.	21,662.	21,234.7	21,298.	21,037.	21,084.	,944.	20,840.	20,759.	20,700.	20,651.
..... *	1009.7	1768.7	2517.2	352.6	6262.0	3999.7	4008.7	4756,1	5502.8	6248.9	6996.3	7743.1
Btu/lb, gas	—	65,889. ^h	90,962. ^h	98,968. ^h	102,918. ^h	108,722.	110,071.	115,055.	118,662.	121,422.	123,642.	125,444.
..... *												
Btu/ft ³ , ideal gas												
..... * <i>p.t</i>												
Btu/gal												
liquid..... * <i>t</i>												
Volume air to burn one volume, ideal gas	9.54	16.70	23.86	31.02	31.02	38.18	38.18	45.34	52.50	59.65	66.81	73.97
Flammability Limits @ 100 °F & 14.696 psia												
Lower, vol % in air	5.0	2.9	2.1	1.8	1.8	1.4	1.4	1.2	1.0	0.96	0.87 ^s	0.78 ^s

.....	15.0	13.0	9.5	8.4	8.4	(8.3)	8.3	7.7	7.0	—	2.9	2.6
Upper, vol % in air												
.....												
Heat of Vaporization @ 14.696												
psia	219.20	210.39	183.03	157.52	165.63	147.12	153.58	143.94	136.00	129.52	124.7	118.68
Btu/lb @ boiling point												
Specific Heat @ 60 °F & 14.696												
psia	0.5266	0.4080	0.3887	0.3867	0.3951	0.3829	0.3880	0.3857	0.3842	0.3831	0.3822	0.3816
C_p gas, Btu/(lb . °F). ideal gas	0.4027	0.3419	0.3436	0.3526	0.3609	0.3554	0.3605	0.3626	0.3644	0.3657	0.3667	0.3676
.....	1.308	1.193	1.131	1.097	1.095	1.077	1.076	1.064	1.054	1.048	1.042	1.038
C_U gas, Btu/(lb . °F). ideal gas	—	0.9256	0.5920	0.566(41)	0.566(41)	0.5353	0.548(41)	0.5332	0.5280	0.5238	0.5220	0.5207
.....												
$\gamma = C_p/C_U$. ideal gas												
.....												
C_p liquid, Btu/(lb . °F)												
.....												
Octane Number												
Motor clear	—	+0.05 ^f	97.1	97.6	89.6 ^j	90.3	62.6 ^j	26.0	0.0	—	—	—
.....	—	+1.6 ^{f,j}	+1.8 ^{f,j}	+010 ^{f,j}	938 ^j	92.3	61.7 ^j	24.8	0.0	—	—	—
Research clear												
.....												
Refractive Index, n, @ 68°F	—	1.19949 ^h	1.28624 ^h	—	1.32943 ^h	1.35373	1.35748	1.37486	1.38764	1.39743	1.40542	1.41189

DAFTAR PUSTAKA

1. EQUIPMENT DESIGN AND BOOK FOR REFINERIES AND CHEMICAL PLANTS
"FRANK L.EVANS, Jr.
2. WASTE TREATMENT & FLARE STACK DESIGN HANBOOK. "GULF PUBLISHING
COMPANY 1968.