TABLE 13.25 *(continued)*

Cu Ft Free Air Per Min	Nominal Diameter, In. ½	¾	1	1¼	1½	1¾	2	2½	3	3½	4	4½	5	6	8	10	12
1,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	76.1	39.0	21.3	11.8	4.4			
1,600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	86.6	44.3	24.2	13.4	5.1			
1,700	....	....	....	....	....	....	....	....	....	97.8	50.1	27.4	15.1	5.7			
1,800	....	....	....	....	....	....	....	....	....	110	56.1	30.7	16.9	6.4			
1,900	....	....	....	....	....	....	....	....	....	122	62.7	34.2	18.9	7.1	1.6		
2,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	135	69.3	37.9	20.9	7.8	1.8		
2,100	....	....	....	....	....	....	....	....	....	149	76.4	40.8	23.0	8.7	2.0		
2,200	....	....	....	....	....	....	....	....	....	166	83.6	45.8	25.3	9.5	2.2		
2,300	....	....	....	....	....	....	....	....	....	179	91.6	50.1	27.6	10.4	2.4		
2,400	....	....	....	....	....	....	....	....	....	195	99.8	54.6	30.1	11.3	2.6		
2,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	212	108.2	59.2	32.6	12.3	2.9		
2,600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	229	117.2	64.0	35.3	13.3	3.1		
2,700	....	....	....	....	....	....	....	....	....	247	126	69.1	38.1	14.3	3.3		
2,800	....	....	....	....	....	....	....	....	....	265	136	74.3	41.0	15.4	3.6		
2,900	....	....	....	....	....	....	....	....	....	285	146	79.8	43.9	16.5	3.9		
3,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	305	156	85.2	47.0	17.7	4.1		
3,200	....	....	....	....	....	....	....	....	....	347	177	97.1	53.5	20.1	4.7		
3,400	....	....	....	....	....	....	....	....	....	391	200	109.5	60.4	22.7	5.3		
3,600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	438	224	122.8	67.7	25.4	5.6	1.8	
3,800	....	....	....	....	....	....	....	....	....	488	250	137	75.5	28.4	6.6	2.0	
4,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	542	277	151	83.6	31.4	7.3	2.2	
4,200	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	305	168	92.1	34.6	8.1	2.4	
4,400	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	335	183	101.2	38.1	8.9	2.7	
4,600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	366	200	110.5	41.5	9.7	2.9	
4,800	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	399	218	120.4	45.2	10.5	3.2	
5,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	433	236	131	49.1	11.5	3.4	
5,250	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	477	260	144	54.1	12.6	3.4	
5,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	524	286	158	59.4	13.9	4.2	1.6
5,750	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	313	173	64.9	15.2	4.6	1.8
6,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	341	188	70.7	16.5	5.0	1.9
6,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	402	222	82.9	19.8	5.9	2.3
7,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	464	256	96.2	22.5	6.8	2.6
7,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	532	294	110.5	25.8	7.8	3.0
8,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	335	125.7	29.4	8.8	3.6
9,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	423	159	37.2	10.2	4.4
10,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	523	196	45.9	13.8	5.4
11,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	237	55.5	16.7	6.5
12,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	282	66.1	19.8	7.7
13,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	332	77.5	23.3	9.0
14,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	387	89.9	27.0	10.5
15,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	442	103.2	31.0	12.0
16,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	503	117.7	35.3	13.7
18,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	636	148.7	44.6	17.4
20,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	184	55.0	21.4
22,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	222	66.9	26.0
24,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	264	79.3	30.1
26,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	310	93.3	36.3
28,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	360	108.0	42.1
30,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	413	123.9	48.2

* To determine the pressure drop in psi, the factor listed in the table for a given capacity and pipe diameter should be divided by the ratio of compression (from free air) at entrance of pipe, multiplied by the actual length of the pipe in feet, and divided by 1000.

TABLE 13.25 *(continued)*

Cu Ft Free Air Per Min	Nominal Diameter, In. ½	¾	1	1¼	1½	1¾	2	2½	3	3½	4	4½	5	6	8	10	12
1,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	76.1	39.0	21.3	11.8	4.4			
1,600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	86.6	44.3	24.2	13.4	5.1			
1,700	....	....	....	....	....	....	....	....	....	97.8	50.1	27.4	15.1	5.7			
1,800	....	....	....	....	....	....	....	....	....	110	56.1	30.7	16.9	6.4			
1,900	....	....	....	....	....	....	....	....	....	122	62.7	34.2	18.9	7.1	1.6		
2,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	135	69.3	37.9	20.9	7.8	1.8		
2,100	....	....	....	....	....	....	....	....	....	149	76.4	40.8	23.0	8.7	2.0		
2,200	....	....	....	....	....	....	....	....	....	166	83.6	45.8	25.3	9.5	2.2		
2,300	....	....	....	....	....	....	....	....	....	179	91.6	50.1	27.6	10.4	2.4		
2,400	....	....	....	....	....	....	....	....	....	195	99.8	54.6	30.1	11.3	2.6		
2,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	212	108.2	59.2	32.6	12.3	2.9		
2,600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	229	117.2	64.0	35.3	13.3	3.1		
2,700	....	....	....	....	....	....	....	....	....	247	126	69.1	38.1	14.3	3.3		
2,800	....	....	....	....	....	....	....	....	....	265	136	74.3	41.0	15.4	3.6		
2,900	....	....	....	....	....	....	....	....	....	285	146	79.8	43.9	16.5	3.9		
3,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	305	156	85.2	47.0	17.7	4.1		
3,200	....	....	....	....	....	....	....	....	....	347	177	97.1	53.5	20.1	4.7		
3,400	....	....	....	....	....	....	....	....	....	391	200	109.5	60.4	22.7	5.3		
3,600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	438	224	122.8	67.7	25.4	5.6	1.8	
3,800	....	....	....	....	....	....	....	....	....	488	250	137	75.5	28.4	6.6	2.0	
4,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	542	277	151	83.6	31.4	7.3	2.2	
4,200	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	305	168	92.1	34.6	8.1	2.4	
4,400	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	335	183	101.2	38.1	8.9	2.7	
4,600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	366	200	110.5	41.5	9.7	2.9	
4,800	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	399	218	120.4	45.2	10.5	3.2	
5,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	433	236	131	49.1	11.5	3.4	
5,250	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	477	260	144	54.1	12.6	3.4	
5,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	524	286	158	59.4	13.9	4.2	1.6
5,750	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	313	173	64.9	15.2	4.6	1.8
6,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	341	188	70.7	16.5	5.0	1.9
6,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	402	222	82.9	19.8	5.9	2.3
7,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	464	256	96.2	22.5	6.8	2.6
7,500	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	532	294	110.5	25.8	7.8	3.0
8,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	335	125.7	29.4	8.8	3.6
9,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	423	159	37.2	10.2	4.4
10,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	523	196	45.9	13.8	5.4
11,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	237	55.5	16.7	6.5
12,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	282	66.1	19.8	7.7
13,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	332	77.5	23.3	9.0
14,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	387	89.9	27.0	10.5
15,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	442	103.2	31.0	12.0
16,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	503	117.7	35.3	13.7
18,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	636	148.7	44.6	17.4
20,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	184	55.0	21.4
22,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	222	66.9	26.0
24,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	264	79.3	30.1
26,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	310	93.3	36.3
28,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	360	108.0	42.1
30,000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	413	123.9	48.2

* To determine the pressure drop in psi, the factor listed in the table for a given capacity and pipe diameter should be divided by the ratio of compression (from free air) at entrance of pipe, multiplied by the actual length of the pipe in feet, and divided by 1000.

low oil pressure or excessive vibration, demand immediate shutdown. Protective control systems employing shutdown without indication, which merely drops out the holding coil of the motor starter, are usually warranted only on very small compressors.

Fail-safe circuitry is generally desirable. That is, added security is gained when a protective circuit must remain energized for normal compressor operation. A broken wire or burned-out component is guarded against automatically in this type of design.

A hand-reset sensing device or relay circuit that locks in the fault indication can be employed. This feature makes the protective system a troubleshooting aid.

To insure repeatability in sensing device set points, the sensing devices should be selected with positive adjustment features and should not be susceptible to vibration.

COMPRESSED-AIR DISTRIBUTION SYSTEM

Any drop in pressure between the compressor and the point of use is an unrecoverable loss. The distribution system is therefore one of the most important elements of the compressed air plant. In planning it, the following general rules should be observed:

1. Pipe sizes should be large enough that the pressure drop between the receiver and the point of use will not exceed 10 per cent of the initial pressure. Fittings offering least resistance to flow, such as long-radius elbows, should be selected. Provision should be made not only for present requirements but also for reasonable future growth.
2. Where it is possible, a loop system around the plant and within each shop and building is recommended. This gives a two-way distribution to the point where air demand is greatest. The loop pipe should be made large enough that the pressure drop will not be excessive at any outlet regardless of the direction of flow around the loop.
3. Long distribution lines, including those in a loop system, should have receivers of liberal size located near the far ends or at points of occasional heavy use. Many peak demands for air are of short duration, and storage capacity near such points avoids excessive pressure drop and may permit the use of a smaller compressor. Certain applications such as starting diesel engines or gas turbines are examples of this type of demand where the required rate may exceed the total compressor capacity.
4. Each header or main should be provided with outlets as close as possible to the point of application. This permits the use of the shorter hose lengths and avoids large pressure drops through the hose. Outlets should always be taken from the top of the pipe line to prevent carryover of condensed moisture to tools.
5. All piping should be sloped so that it drains toward a drop leg or moisture trap in order that condensation may be removed to prevent its reaching air-operated devices in which it would be harmful. The slope of the lines should always be away from the compressor to prevent flow back into the compressor cylinder. A slope of about 1/4 in./ft (2.0 mm/m) may be used, with drains provided at all low points. These may consist of a short pipe with a trap or drain at the bottom.
6. For a system using only oil-free compressors, it is strongly recommended that corrosion-resistant pipe be used. Unlike a system using lubricated compressors in which an oil film will form to protect the pipe from the corrosive effect of the moisture in the warm air, a nonlubricated system will experience corrosion. This corrosion can lead to contamination of products and control systems.

Distribution Piping

Pipe size may be taken from Tables 13.21 to 13.26 once the air requirement is known. Such a determination is shown in the following example. For design purposes, pressure drop in a main line may be taken at 3 psig (0.20 bar) or less.

Example

Determination of pipe size for the plant air-distribution system (see Fig. 4.8). Compressor pressure is 105 psig (7.2 bars). The main air line to the cleaning room is 100 ft (30.5 m) long.

Step 1. *Air flow*: The tabulated requirement of the cleaning room is 332 cfm (564 cmh) of free air. Allowing 10 per cent for leakage and 135 ft³ (229 cmh) for additions, the requirement is 500 cfm (849.5 cmh).

Step 2. *Fittings*: Referring to Table 13.26 and assuming a 2-in. pipe (which may prove later to be incorrect), the length of straight pipe equivalent to the fittings is as follows:

One elbow at 5.17 ft	5.17 ft (1.58 m)
Two tees, reducing, at 5.17 ft	10.34 ft (3.16 m)
Two crosses, taken same as tees, at 5.17 ft	10.34 ft (3.16 m)
Total for fitting	25.85 ft (7.89 m)
Total equivalent length	125.85 ft (38.36 m)

Step 3. *Allowable pressure drop*: Pressure drop for entire line should not exceed 3 psig (0.20 bar). For part of line leading to cleaning room, allow 1 psig (0.07 bar).

Step 4. *Predicted pressure drop*: For the assumed 2-in. pipe and opposite 500 cfm, Table 13.26 gives a pressure drop of 19.2 psig per 1000-ft length. Thus, the pressure drop is

$$\frac{125.85 \text{ ft} \quad (38.4 \text{ m})}{1000} \times 19.2 = 2.40 \text{ psig } (0.166 \text{ bar})$$

which when added to the 1 psig (0.070 bar) allowed for the room line is excessive.