



Proyecto Final

Cálculo y diseño de sistema de iluminación, instalación de gas natural, acondicionamiento de ambiente e instalación de aire comprimido en la empresa Línea E Ingeniería.

Carrera:

Ingeniería Electromecánica

Estudiante:

POLLO, Juan Ignacio

D.N.I: 34.536.761

Tutor por la Facultad:

Ing. MANDRILE, Daniel Alberto

Tutor por la Empresa:

Ing. ADAMO, Sebastián



Índice General

·	Introducción	4
·	Memoria descriptiva general	5
·	Iluminación	7
·	Memoria técnica	8
·	Luminarias	8
·	Circuitos	8
·	Tablero	9
·	Suportación	10
·	Memoria de cálculo	11
·	Cálculo luminotécnico	11
·	Descripción de la instalación eléctrica	12
·	Cálculo de la potencia del circuito	13
·	Elección del conductor	14
·	Cálculo de la corriente asignada a la protección	14
·	Verificación de la protección por sobrecarga	14
·	Cálculo de la corriente de cortocircuito en T.S	15
·	Verificación de la máxima energía pasante I^2t	16
·	Verificación de la actuación de la protección.	17
·	Verificación de la caída de tensión	17
·	Canalización	17
·	Conductor de puesta a tierra de protección	17
·	Cálculo de elementos de maniobra	18
·	Suportación de las luminarias	17
·	Anexo	19
·	Instalación de aire comprimido	23
·	Memoria técnica	24
·	Compresor	25
·	Pulmón	27
·	Cañerías	28
·	Recomendaciones	29
·	Memoria de cálculo	30
·	Dimensionado de cañerías	31
·	Cañería principal	35
·	Cañerías secundarias	38
·	Cañerías de servicio	39
·	Verificación del compresor	40
·	Cálculo del tanque pulmón	42
·	Cálculo del condensado	43
·	Anexo	46
·	Instalación de gas natural	47
·	Memoria técnica	48
·	Cañerías	48



·	Accesorios	49
·	Memoria de cálculo	50
·	Propiedades del Gas Natural	50
·	Perdidas de carga	53
·	Tabla de cañerías	55
·	Anexo	58
·	Acondicionamiento de ambiente	59
·	Memoria Técnica	60
·	Calefactores	60
·	Memoria de Cálculo	61
·	Perdidas de calor por transmisión	61
·	Perdidas de calor por infiltración de aire	65
·	Anexo	68
·	Bibliografía	69



Introducción

El siguiente texto forma parte de la práctica profesional supervisada de la carrera Ingeniería Electromecánica, Plan 2004. La misma se llevó a cabo en la empresa Línea E Ingeniería.

La empresa, perteneciente al Ingeniero. Fabio Speroni está radicada desde el año 1955 en la ciudad de General Pico, provincia de La Pampa. Se dedica a la fabricación y comercialización de máquinas para tratamiento de efluentes. Cuenta con dos plantas de fabricación ubicadas a escasos metros una de la otra.

Dentro de los principales productos que se fabrican tenemos los equipos deshidratadores de doble banda, que se utilizan para la eliminación artificial del agua en lodos y para la extracción de jugos de diversos frutos, los barredores de fondo y superficie, que se utilizan para el barrido de lodos sedimentados en Plantas Depuradoras, las turbinas de aireación utilizadas para incorporar oxígeno a piletas y por último equipos separadores de grasa tipo DAF.

Uno de los talleres de producción de dichos equipos, se encuentra en la Calle 308 N° 31. El mismo posee una superficie de 500 m² cubiertos destinados a las tareas de armado de los equipos en cuestión y será este el edificio sobre el cual se plantearán las mejoras o modificaciones.

En el mismo se realizan tareas de soldadura, amolado, corte por plasma, agujereado y pintado de piezas metálicas por lo que se encuadra dentro del rubro metalmecánico.

Cuenta con una oficina, local de ventas y baños asociados al taller en una edificación contigua al mismo.

El propietario solicitó diversas reformas en las instalaciones con el fin de mejorar las condiciones de trabajo. Las mismas incluyen la modificación de la instalación de aire comprimido, la iluminación interior, el acondicionamiento del ambiente y la instalación de gas natural.



Memoria descriptiva general

El proyecto consta de 4 partes:

- Cálculo y diseño del sistema de iluminación.
- Instalación de sistema de aire comprimido.
- Instalación de gas natural.
- Acondicionamiento de ambiente.

Iluminación

El galpón cuenta con un grupo de 15 luminarias del tipo colgante debido a que por debajo de las mismas trabaja un puente grúa de 3,2 Toneladas de capacidad que recorre todo el ancho y largo del taller. Las mismas resultaron ser insuficientes para lograr el nivel lumínico recomendado para las tareas que allí se desarrollan. Por lo tanto se optó por realizar el proyecto correspondiente y reemplazar el sistema de iluminación actual.

El nuevo sistema de iluminación se realizará con luminarias de tipo colgante por el motivo que ya mencionamos, contará con un total de 17 luminarias de tecnología LED, repartidas de manera uniforme dentro de la estructura. El encendido se realizará en forma automática utilizando un temporizador para de esta forma evitar el consumo de energía en horarios en los que no se justifica el uso de luces. También se utilizarán interruptores de respaldo por si falla el temporizador.

Los circuitos contarán con un tablero en el que se ubicarán tanto los dispositivos de protección como también así los de maniobra. La canalización se realizará por medio de bandeja portacables para así aprovechar las que ya fueron colocadas para la canalización del sistema de iluminación anterior.

Aire comprimido

La instalación de aire comprimido cuenta con un compresor a pistón de 7,5 hp y $58.8 \frac{Nm^3}{h}$ a $8,44 \frac{kg}{cm^2}$, con un tanque pulmón de $0,3 m^3$ de capacidad. Las cañerías están colocadas mediante grampas atornilladas a las paredes del galpón, y recorren el perímetro del mismo.

El parque de máquinas está compuesto por dos amoladoras, una pistola de pintar, dos sopletes, una cortadora de plasma, y una deshidratadora que a la que se le realizan las pruebas neumáticas.



Se realizó el cálculo de la instalación y se encontraron puntos a mejorar, los cuales se detallarán debidamente en la memoria técnica.

Gas Natural

El taller será abastecido con gas natural en baja presión ($0,02\text{kg/cm}^2$). La instalación deberá alimentar los 3 calefactores y un horno de taller, las cañerías se colocarán mediante grampas atornilladas a la pared a 4 metros del piso. Las mismas serán de color amarillo para permitir su inmediata identificación, antes de la conexión a cada equipo se colocarán válvulas esféricas para poder cortar el suministro en forma independiente.

Acondicionamiento de ambiente

Debido a las condiciones climatológicas de la zona en la época invernal, y a la poca aislación con que cuenta el edificio de la planta, la temperatura dentro de ella no alcanza un nivel adecuado, a pesar de que ya cuenta con un calefactor de 40000 kcal, éste resultó ser insuficiente.

Se buscó lograr una temperatura mínima de 18 °C. Para lograr dicha temperatura se colocarán 2 artefactos más de 60000 Kcal cada uno. Los mismos se distribuirán para lograr que la temperatura sea lo más uniforme posible. Se colocarán sobre ménsulas amuradas a las paredes a una altura de 2,5 metros.

Los nuevos calefactores serán del tipo cañón a gas natural. Se optó por este tipo de equipo por su reducido costo frente a máquinas de similar potencia pero de otra tecnología, además aportan gran cantidad de calor en relación a su tamaño y la entrega es prácticamente instantánea, evitando tener que encender el equipo mucho tiempo antes del inicio de las actividades. Tienen la desventaja que los gases de combustión son arrojados al ambiente, es decir no tienen salida al exterior, pero esto no es un problema cuando se montan en ambientes grandes y bien ventilados como lo es un galpón.



Cálculo y diseño de sistema de iluminación



Memoria Técnica

Luminarias

El nivel mínimo de servicio de iluminancia, se seleccionará de acuerdo a lo establecido en la norma IRAM - AADL J 20-06. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales), AADL (Asociación Argentina De Luminotecnia). Para talleres metalúrgicos, con tareas de cometido visual medio el nivel de iluminancia recomendado es de 250 LUX

Para alcanzar el nivel iluminancia mínimo recomendado para este tipo de locales (250 LUX), se instalarán en el taller 17 luminarias con las siguientes características:

Marca: PHILIPS o similar.

Modelo: Philips Lighting BY460P 1xLED100S/740 HRO GC

Flujo luminoso de lámparas: 10000 lm

Flujo luminoso de las luminarias: 9981 lm

Potencia: 108,0 W

Rendimiento lumínico: 92.4 lm/W

Grado de eficacia de funcionamiento: 99,81%

Se realizarán 2 circuitos de iluminación general (IUG), los circuitos serán monofásicos, no siendo necesaria una distribución por fases debido al bajo consumo que poseen este tipo de luminarias.

La potencia total instalada de iluminación es de 1836 W, en un circuito se conectarán 9 luminarias y en el otro las 8 restantes.



Circuitos

Circuito IUG 1:

Conductores tipo subterráneo 3 x 2,5mm² de cu IRAM NM 2178

Interruptor termomagnético 2 x 10 A capacidad de ruptura 3000 A clase de limitación C.

Canalización por medio de bandejas porta cables fijadas a la estructura.

Circuito IUG 2:

Conductores subterráneo 3 x 2,5mm² de cu IRAM 2178

Interruptor termomagnético 2 x 10 A capacidad de ruptura 3000 A clase de limitación C.



Canalización por medio de bandejas porta cables fijadas a la estructura.

Tablero

El mismo se ubicará contiguo al tablero principal de la planta como se observa en el plano (anexo).

En el adverso de la puerta se colocará un plano con el esquema unifilar del mismo.

En el frente llevará contratapa que permitirá el acceso a las palancas o elementos de mando de los dispositivos de maniobra, impidiendo establecer contacto con las partes de tensión, e irá fijada mediante tornillos.

El grado de protección será IP 40 y sus dimensiones serán ancho 200 mm, largo 200 mm y profundidad 150 mm

En el mismo se instalarán los dos interruptores termomagnéticos marca Sneider Electric 2x10A, y una bornera para separar ambos circuitos. Además se colocará un temporizador para el encendido automático de luces y dos llaves unipolares para poder encender las luces en forma manual.

Características técnicas del temporizador:

Interruptor digital programable semanal.

Tensión nominal: 220V/240V - 50/60Hz

Capacidad de contacto (inversor): 16 A /240 Vca resistivas

Cargas induc.(cosØ=0,6): 10A/250Vca.

Precisión: +/- 1seg/día

Consumo: 10VA

Reserva de marcha: 150 h

Temperatura de operación: -10°C a 45°C

Batería de memoria: 100 horas

Conex.: 2,5mm².

Grado IP: 20

Conforme a normas EN 60947-5-1

Módulos DIN: 2 módulos (36mm)

Display: LCD

1 canal. 8 programas.





Soportación

Se utilizará un cable de acero galvanizado 6 x 7 + 1 de 2 mm de diámetro, cuya carga de rotura mínima es de 239 kg, el mismo se vinculará a la estructura metálica del galpón.



Memoria de Cálculo iluminación

Cálculo Luminotécnico

Empleamos el software Dialux EVO para el cálculo, el mismo permite realizar la construcción del edificio en tres dimensiones y seleccionar los materiales de construcción así como también elegir los colores y la reflectividad de cada uno. Comenzamos entonces con la construcción del edificio, una de las opciones que posee el programa es tomar un plano de planta realizado en AUTOCAD y comenzar con la construcción del edificio con dicha base. La construcción empieza con el contorno externo del edificio, se realiza insertando puntos en cada una de las aristas y el software los une con una línea que simboliza la pared. Posteriormente se hace lo mismo con el contorno interno y se prosigue a seleccionar la altura de las paredes. Al terminar podemos continuar con el techo, en la barra de herramientas se selecciona de una lista los distintos tipos de techos, en nuestro caso el techo es un tinglado parabólico. Una vez colocado el techo se procede a ubicar las aberturas, el programa cuenta con una librería de aberturas con las dimensiones más usadas comúnmente, no obstante se pueden modificar y darle las medidas a gusto. Al finalizar con la colocación de aberturas, se selecciona el material, color y reflectividad de cada superficie de la construcción. El paso siguiente es seleccionar la luminaria a montar, las mismas se descargan de la página web del fabricante y se copian en una de las librerías del programa. Cada fabricante aporta los datos luminotécnicos necesarios que son tomados por el programa para realizar el cálculo. En nuestro caso se optó por luminarias de tecnología LED.

Una vez seleccionada la luminaria, se realiza la distribución de luminarias en el plano y se selecciona el tipo de montaje, siendo en dicho caso montaje en forma colgante a 5,5 metros de altura, de manera que el puente grúa pueda correr libremente a lo largo de la planta.

Ya terminada la construcción del edificio, seleccionado el tipo de luminaria y la forma de montaje, se procede a correr el cálculo, este demora unos minutos y luego nos muestra el resultado en forma gráfica mediante curvas isolux en el área de cálculo y con datos numéricos como se muestra a continuación.



Local1 / Sinopsis de locales



Altura del local: 7,500 m.

Altura del plano útil: 0,850 m.

Zona marginal: 0,000 m

Grado de reflexión:

Techo 70,0%.

Paredes 55,7%

Suelo 20,0%

Factor de degradación: 0,80

Plano útil:

Resultado	Media (nominal)	-Min	-Max	-Mín./medio	-Mín./máx
Intensidad lumínica perpendicular [lx]	262	(250)	-52	-442	-0.198 -0,118.

Número de luminarias: 17

Luminarias Utilizadas:

Philips Lighting BY460P 1xLED100S/740 HRO GC.

Grado de eficacia de funcionamiento: 99,81%.

Flujo luminoso de lámparas: 10000 lm.

Flujo luminoso de las luminarias: 9981 lm.

Potencia: 108,0 W.

Rendimiento lumínico: 92,4 lm/W.



Flujo luminoso total de lámparas: 170000 lm.

Flujo luminoso total de luminarias: 169677 lm.

Potencia total: 1836,0 W.

Rendimiento lumínico: 92,4 lm/W

Potencia específica de conexión: $3,66 \text{ W/m}^2 = 1,40 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base 502,00 m^2).

En el anexo podremos observar los datos luminotécnicos de las luminarias.

Descripción de la instalación eléctrica

El sistema eléctrico que alimentará las luminarias a instalar, constará de 2 circuitos independientes, uno de ellos proveerá energía a 9 luminarias y el otro a las restantes 8. Los mismos serán monofásicos, debido a que una distribución trifásica es innecesaria por el muy bajo consumo de las luminarias, por otra parte de esta manera evitamos el tendido de 1 conductor extra en la canalización.

Ambos circuitos contarán con un tablero en el cual se ubicarán los dispositivos de comando y protección necesarios.

Selección de conductor

Se calcula la sección del conductor para el circuito terminal IUG más desfavorable de la instalación y luego se adopta dicha sección el restante, en este caso el circuito más desfavorable es el que posee 9 bocas.

Calculo de la potencia del circuito IUG.

La potencia de cada luminaria es de 108 W y según fabricante poseen un factor de potencia de 0,95, de todas maneras por seguridad se considera que cada boca consume 150 VA. Por lo tanto la potencia total será:

$$P = 9 * 150 = 1350 \text{ VA}$$

La corriente máxima de dicho circuito la obtenemos al dividir la potencia por la tensión de suministro.

$$I_B = \frac{P}{U} = \frac{1350 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 6.13 \text{ A}$$

Por lo tanto nuestro conductor deberá soportar una corriente mayor.



Elección de la sección del conductor.

Elegimos la sección del conductor a partir de la corriente I_Z , siendo esta la admisible del conductor afectada por los coeficientes de apilamiento y de temperatura. Dicha corriente debe cumplir la condición $I_Z \geq I_B$.

$$I_Z = I_{adm} \cdot f_t \cdot f_a$$

La canalización solo transportará dicho circuito por lo tanto el factor de apilamiento $f_a = 1$.

El factor de temperatura también es igual a 1 pues la temperatura ambiente no supera los 40 °C.

Para cada sección de conductor normalizado la AEA (Asociación Electrotécnica Argentina), nos indica en tablas cuál es su corriente admisible.

En este caso seleccionamos un conductor IRAM 2178 de $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ y luego verificamos si cumple con las condiciones. Se optó por un conductor IRAM 2178 pues el conductor IRAM 247/3 no es apto para ser canalizado por bandeja porta cable. (Ver tabla de conductores en anexo).

$$I_{adm} = 21 \text{ A}$$

$$I_Z = I_{adm} \cdot f_t \cdot f_a = 21 > I_B$$

Cálculo de la corriente asignada al dispositivo de protección

El dispositivo de protección debe tener una corriente asignada que este entre la corriente I_B del circuito y la corriente I_Z .

$$I_B < I_N < I_Z \quad \text{entonces} \quad 6.13 \text{ A} < I_N < 21 \text{ A}$$

En el mercado existen 2 interruptores termomagnéticos que se encuentran entre estas dos corrientes, uno es el de 10 A y el otro de 16 A.

Seleccionamos el interruptor termomagnético de $I_N = 10 \text{ A}$, curva C (2x10 A)

Capacidad de ruptura de $I = 3000 \text{ A}$ clase de limitación 3.

Verificación de la protección por sobrecarga

El siguiente paso es verificar la protección del interruptor ante una sobrecarga, se debe verificar que $I_2 < 1,45 \cdot I_Z$, siendo $I_2 = 1,45 \cdot I_N$ en el caso de interruptores termomagnéticos que cumplan con IEC 60898 esta condición siempre se cumple si calculamos bien la corriente asignada al dispositivo.

$$I_2 < 1,45 \cdot I_Z = 30,45 \quad \text{entonces} \quad I_2 = 1,45 \cdot I_N = 1,45 \cdot 10 = 14.5 \text{ A, verifica.}$$



Cálculo de la corriente de cortocircuito en el tablero seccional

Se realiza para verificar si el interruptor termomagnético será capaz de soportarla sin sufrir daños que puedan ocasionar incendios o riesgos de algún tipo a las personas.

Determino la corriente de cortocircuito máxima I''_K

El conductor de distribución que alimenta a la planta es del tipo LAD, conductor pre ensamblado IRAM 2263 de 3x95/50 Al y el transformador al cual está conectado dicho circuito tiene una potencia $S= 315 \text{ kVA}$ y $V_{cc}= 4\%$.

Comenzaremos calculando el valor de la corriente de cortocircuito en el transformador de distribución y recorreremos los circuitos calculando por tramos este valor hasta llegar al tablero seccional.

Podemos estimar la corriente de cortocircuito del transformador mediante tablas de orientación dispuestas por la A.E.A, o se puede realizar el cálculo de la misma.

Según dichas tablas la corriente de cortocircuito es de 11,028 kA (ver anexo).

A continuación realizamos el cálculo para comprobar esto.

Si tenemos en cuenta que la potencia del trafo es de 315 kVA y la tensión de cortocircuito es del 4% entonces podemos calcular la corriente de cortocircuito mediante las siguientes ecuaciones:

$$S''_K = 315/0,04 = 7815 \text{ kVA} \quad \text{entonces} \quad I''_{KT} = 7815/(1,73 \cdot 0,4) = 11293 \text{ A}$$

Siendo S''_K la potencia de cortocircuito y I''_{KT} la corriente de cortocircuito, la constante 1,73 se debe a que el sistema es trifásico.

Ahora este valor es en los bornes del transformador, se calcula a continuación la corriente de cortocircuito en el pilar de bajada.

La planta está ubicada a 100 m del transformador, en los bornes de la bajada tendremos $I''_{Kb}=3892\text{A}$. Dicho valor se obtiene mediante tablas también dispuestas por la A.E.A (ver anexo).

La bajada es de cable de $S=10\text{mm}^2$ y 5 metros de largo.

El tablero principal está pegado al medidor, por lo tanto la corriente en él es muy similar a la del medidor ya que la distancia es despreciable.

El circuito seccional va del tablero principal hasta el seccional que se encuentra a 17 m de distancia y el cable es de 10 mm^2 de sección.

Realizamos el cálculo de la impedancia del conductor para poder determinar con ella el valor de la corriente de cortocircuito en el tablero principal.



$$Z_{ant}=380/(1,73 \cdot 3892)= 0,056 \Omega$$

Calculamos el conductor de bajada, donde Z_1 para conductor de 10 mm² Cu, consideramos $Z_1= R_1$

$$R_{10mm-40^\circ C}= R_{10mm-20^\circ C} \cdot [1 + \alpha \cdot (40 - 20)]$$

$$R_{10mm-20^\circ C}= 1,91 \Omega/km$$

$$R_{10mm-40^\circ C}= 2,06 \Omega/km$$

$$Z_1= 2,06 \cdot 0,005= 0,0103 \Omega$$

$$Z_{Tp}= Z_{ant} + Z_1= 0,056 + 0,0103= 0,066 \Omega$$

Obtenido el valor de la impedancia de los conductores desde el trafo hasta el tablero principal, podemos calcular la corriente en el mismo.

$$I'_{KTp}=380/(1,73 \cdot 0,066)= 3328 A$$

Finalmente nos resta calcular la impedancia del conductor hasta el tablero seccional, simplemente sumamos la impedancia del conductor seccional a la ya calculada y con esta obtenemos el valor de la corriente de cortocircuito en el tablero seccional.

$$I''_{kTs} = \frac{380}{1,73 * Z_{Ts}}$$

$$Z_{Ts} = Z_{ant} + Z_1 + Z_2 = 0,056 + 0,0103 + 1,91 \cdot 0,017 = 0,09877\Omega \quad \text{Donde } Z_2 \text{ es la impedancia del conductor del circuito seccional.}$$

$$I''_{kTs} = \frac{380}{1,73 * Z_{Ts}} = 2224 A$$

Como podemos observar el interruptor seleccionado soporta la corriente de cortocircuito.

Verificación de la máxima energía pasante $I^2 \cdot t$

Para dispositivos limitadores de la corriente de cortocircuito con tiempo de apertura inferior a 0,1s.

$$k^2 \cdot S^2 \geq I^2 \cdot t$$

De tablas provistas por la A.E.A (ver anexo), obtenemos el valor de la máxima energía pasante para cada clase de limitación de energía, que en nuestro caso $I^2 \cdot t = 18000$.

Para conductores IRAM $k= 115$.

Calculamos entonces y obtenemos:

$$115^2 \cdot 2,5^2 \geq 18000 \rightarrow 82656 > 18000 \text{ por lo tanto la máxima energía pasante verifica con lo exigido en las normas.}$$



Verificación de la actuación de la protección por I''_{Kmin} , en la boca más alejada del circuito.

$$Z = Z_{Ts} + Z_c = 0,09877\Omega + Z_c$$

$$Z_c = 7,98 \cdot 0,04 = 0,3192 \Omega \rightarrow Z = 0,41797\Omega.$$

$$I''_{Kmin} = 380 / (1,73 \cdot 0,175) = 525,5 \text{ A} \quad \rightarrow \quad I_N \cdot 10 = 100 \text{ A} < 525,5 \text{ A}$$

verifica.

Verificación de la caída de tensión en el extremo del circuito

Donde por ser un circuito terminal, $\Delta U \leq 2\% = 220 \cdot 0,02 = 4,4 \text{ V}$

Supongo la peor de las condiciones, es decir el conductor a 70°C

$$R_{conductor} = 7,98 \cdot [1 + 0,00393 \cdot (70 - 20)] = 9,5 \Omega/\text{km}$$

$$\Delta U = k \cdot I \cdot L \cdot (R \cdot \cos \varphi + R \cdot \sin \varphi) \quad \text{donde: } \cos \varphi = 0,93 \text{ y } \sin \varphi \cong 0$$

$$\Delta U = 2 \cdot 6,13 \cdot 0,04 \cdot 9,5 \cdot 0,93 = 4,33 \text{ V} < 4,4 \text{ V verifica}$$

Canalización:

La canalización se realiza por medio de bandeja porta cable, sujeta a la cabreada del galpón, la misma ya se encuentra instalada puesto que la iluminación actual esta canalizada de dicha manera.

Conductor de puesta a tierra de protección

Los conductores de puesta a tierra para ambos circuitos tendrán la misma sección que los conductores de energía y serán de color verde-amarillo. Se fijarán a las carcasas metálicas de cada equipo de iluminación mediante una grapa normalizada de manera de no interrumpir o seccionar el conductor de ninguna forma posible. De la misma forma que con las luminarias se los vinculará a las bandejas porta cables en cada una de las secciones de las mismas. Los conductores de ambos circuitos se fijarán dentro del tablero a una bornera a la cual se unirá el conductor de protección proveniente del tablero general.

Suportación de las luminarias

Las luminarias serán suspendidas por medio de cable de acero galvanizado, cada una de ellas pesa entre 15 y 20 kg, la reglamentación de la AEA establece que los accesorios de fijación deben ser capaces de soportar 5 veces el peso del artefacto y como mínimo 25 kg. Para dicha tarea seleccionamos un cable de acero galvanizado de 2 mm de diámetro 6x7+1 cuya carga de rotura mínima es de 239 kg, el mismo se fijará por medio de un lazo unido por mordazas a la luminaria y el otro extremo de la misma forma, al reticulado del galpón.



Cálculo elementos de maniobra

En el tablero de iluminación además de los interruptores termomagnéticos correspondientes se colocarán elementos que se encarguen de realizar el encendido y apagado automático de luces. A continuación detallaremos los cálculos para la selección de dichos elementos.

Los circuitos de iluminación son dos, uno posee 9 luminarias conectadas y el restante posee 8. Para la determinación de la corriente se toma la suma de ambos pues el temporizador que accionará las luces comandará ambos circuitos.

$$I_n = \frac{P}{U * \cos(\phi)}$$

La potencia total del circuito la obtenemos de la información que nos provee el fabricante, Cada luminaria consume 108 W, por lo tanto la suma de las 17 luminarias da un total de 1836 W.

La tensión de la red eléctrica U es de 220 V, y el $\cos \Phi$ es de 0,95, con lo cual la corriente nominal resulta:

$$I_n = \frac{1836}{220 * 0,95} = 8,78 A$$

Con la corriente nominal podemos comenzar con el proceso de selección.

Elegimos un temporizador de la marca ZURICH serie TS-GE2, pues soporta 16 A y el anclaje es apto para riel DIN.

Las características técnicas del temporizador mencionado se muestran en el anexo.



Anexo

Datos Eléctricos						
Sección nominal	Método B1 y B2 Caño Embutido en pared Caño a la vista		Método C Bandeja no perforada o de fondo sólido		Método E Bandeja perforada	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
mm ²						
1,5	14	13	17	15	19	16
2,5	20	17	23	21	26	22
4	26	23	31	28	35	30
6	33	30	40	36	44	37
10	45	40	55	50	61	52
16	60	54	74	66	82	70
25	78	70	97	84	104	88
35	97	86	120	104	129	110
50	-	103	146	125	157	133
70	-	130	185	160	202	170
95	-	156	224	194	245	207
120	-	179	260	225	285	240
150	-	-	299	260	330	278
185	-	-	341	297	378	317
240	-	-	401	350	447	374
300	-	-	461	403	516	432

(1) Un cable bipolar.
 (2) Un cable tripolar o tetrapolar
 (3) Un cable bipolar o dos cables unipolares
 (4) Un cable tripolar o tetrapolar o tres cables unipolares
 (5) Un cable bipolar
 (6) Un cable tripolar o tetrapolar



771-H.2.2: Tablas de orientación para determinar corrientes presuntas de cortocircuito

Nota: Las tablas que se presentan a continuación se han confeccionado basadas en las hipótesis de cálculo mencionadas en 771-H.2.

Tabla 771-H.II - Valores de las máximas corrientes presuntas de cortocircuito previstas para los transformadores de distribución

$S_{rT} [kVA]$	$I_k'' [kA]$
100	3,568
200	7,074
315	11,028
400	13,899
500	17,229
630	21,458
800	21,768
1000	26,838
1250	27,876



 ASOCIACIÓN ELECTROTÉCNICA ARGENTINA	REGLAMENTACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN INMUEBLES	AEA 90364-7-771 © Edición 2006 Página 226
--	---	--

Tabla 771-H.III

Corrientes máximas de cortocircuito aguas abajo, con conductores IRAM 2263 - Aluminio

Sección del conductor [mm²]	Longitud del conductor IRAM 2263 - AI [m]														
	2,7	4,1	5,5	6,9	8,2	9,6	11,0	12,4	13,7	16,5	19,2	22,0	24,7	27,5	
3 x 25 / 50	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,6	11,0	12,3	13,7	16,4	19,2	21,9	24,6	27,4	
3 x 35 / 50	5,1	7,7	10,2	12,8	15,3	17,9	20,4	23,0	25,5	30,6	35,7	40,8	45,9	51,0	
3 x 50 / 50	7,3	11,0	14,7	18,3	22,0	25,6	29,3	33,0	36,6	44,0	51,3	58,6	65,9	73,3	
3 x 95 / 50	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	

Nivel de corto-circuito aguas arriba [A]	Corriente de cortocircuito aguas abajo [A]																			
	2858	2791	2728	2668	2610	2555	2502	2451	2402	2310	2224	2145	2071	2002						
3000	4617	4446	4288	4141	4003	3874	3753	3640	3533	3337	3162	3004	2862	2732						
5000	5456	5220	5003	4804	4619	4449	4290	4143	4005	3755	3535	3339	3163	3006						
6000	6271	5961	5680	5424	5190	4976	4778	4596	4427	4124	3860	3627	3421	3237						
7000	7830	7352	6929	6552	6214	5909	5633	5381	5151	4745	4399	4099	3838	3608						
8000	9301	8634	8057	7552	7106	6710	6356	6037	5749	5248	4828	4469	4160	3892						
9000	10692	9820	9080	8443	7890	7405	6976	6594	6252	5664	5177	4767	4418	4116						
10000	12009	10920	10012	9244	8585	8014	7514	7073	6680	6013	5467	5012	4627	4297						
11000	14443	12897	11649	10622	9761	9029	8400	7852	7372	6568	5922	5392	4949	4573						
12000	15570	13788	12372	11219	10263	9457	8769	8174	7654	6791	6103	5541	5074	4680						
13000	18160	15781	13952	12504	11328	10354	9534	8835	8231	7242	6464	5838	5322	4890						
14000	19113	16496	14509	12949	11692	10657	9791	9055	8422	7389	6581	5933	5401	4956						



	ASOCIACIÓN ELECTROTÉCNICA ARGENTINA	REGLAMENTACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN INMUEBLES	AEA 90364-7-771 © Edición 2006 Página 232
---	---	---	--

771-H.2.4: Tablas de orientación para conocer la máxima energía específica pasante $I^2 \cdot t$ en los interruptores automáticos fabricados según las normas IEC 60898 y EN 60898

La característica de máxima energía específica pasante $I^2 \cdot t$ se encuentra ligada a la clase de limitación que posee el elemento de protección. Para los interruptores automáticos fabricados según IEC 60898 esta clase no está marcada en el dispositivo, pero el fabricante deberá entregar la información a solicitud del proyectista, en forma de curvas o dato garantizado. En los productos que responden a la norma europea EN 60898 (Norma IEC 60898, modificada), la clase de limitación está grabada en el frente del aparato, con el número respectivo dentro de un cuadrado.

Para disponer de datos de orientación se indican a continuación los valores máximos normalizados para $I^2 \cdot t$ (energía específica pasante) para los interruptores automáticos con una corriente asignada hasta 16 A inclusive, (Tabla 771-H.IX) y para los comprendidos entre 16 y 32 A (Tabla 771-H.X) de los interruptores construidos según Norma EN 60898, y para diferentes capacidades de ruptura.

Poder de corte asignado [A]	Clases de limitaciones de energía				
	Clase 1	Clase 2		Clase 3	
	$I^2 \cdot t$ máx. [A ² s]	$I^2 \cdot t$ máx. [A ² s]		$I^2 \cdot t$ máx. [A ² s]	
	Tipos B y C	Tipo B	Tipo C	Tipo B	Tipo C
3000	Sin límite especificado	31 000	37 000	15 000	18 000
4500		60 000	75 000	25 000	30 000
6000		100 000	120 000	35 000	42 000
10000		240 000	290 000	70 000	84 000

Poder de corte asignado [A]	Clases de limitaciones de energía				
	1	2		3	
	$I^2 \cdot t$ máx. [A ² s]	$I^2 \cdot t$ máx. [A ² s]		$I^2 \cdot t$ máx. [A ² s]	
	Tipos B y C	Tipo B	Tipo C	Tipo B	Tipo C
3000	Sin límite Especificado	40 000	50 000	18 000	22 000
4500		80 000	100 000	32 000	39 000
6000		130 000	160 000	45 000	55 000
10000		310 000	370 000	90 000	110 000

Nota: Las clases de limitación de energía pueden encontrarse indicadas en los interruptores automáticos conformes a la Norma EN 60898 mediante un número indicativo de la clase encerrado en un cuadrado. Ejemplo:

3



Instalación de aire comprimido



Memoria técnica

La instalación de aire comprimido alimenta dos amoladoras, una pistola de pintar, dos sopletes, una cortadora de plasma, y una deshidratadora en la que se le realizan las pruebas neumáticas. El sistema actual no posee la capacidad para abastecer dichas máquinas, ocasionando caídas de presión en determinados momentos del día, principalmente cuando se utilizan las amoladoras y la pistola de pintar al mismo tiempo.

Para solucionar este inconveniente se realizó el cálculo de toda la instalación y a continuación se presentarán los resultados obtenidos como así también las propuestas para mejorar el servicio.

Compresor

El encargado de generar el aire comprimido es en la actualidad un compresor a pistón de 7,5 hp y $58,8 \frac{Nm^3}{h}$ a 8.3 bar, con un tanque pulmón de $0,3 m^3$ de capacidad.

En la tabla siguiente se muestran los consumos de cada máquina y los estimados para la ampliación.

Maquina/Herramienta	Consumo afectado (Nm³/h)	
Amoladora Nº1	24	
Amoladora Nº2	24	
Cortadora por plasma	6	
Pistola pintar	9	
Pico prueba deshidratadora	8	
Soplete limpieza Nº1	4,32	
Soplete limpieza Nº2	4,32	
Soplete limpieza Nº3	4,32	
Horno	18	subt. 101,96
Acople futura reforma	15	
Acople futura reforma	15	
Acople futura reforma	15	Tot. 146,96



Como podemos observar, el caudal de aire que proporciona dicha máquina resulta escaso, teniendo en cuenta que las máquinas en la actualidad consumen $101,96 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$ esto sin tener en cuenta los acoples para la futura ampliación, los cuales elevan el consumo a $146,96 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$.

Para subsanar este problema se propone reemplazar el compresor actual por un compresor a tornillo de mayor capacidad. La otra alternativa es mantener el compresor actual y sumar a éste otro compresor a pistón de similares características con la idea de que ante una parada de cualquiera de ellos el restante podrá cubrir parte de la demanda y con algunas restricciones continuar con la producción.

Cada una de las alternativas anteriores presenta sus ventajas y desventajas, los compresores a tornillo tienen un muy buen rendimiento, ocupan poco espacio y el mantenimiento es extremadamente bajo, aunque frente a los compresores a pistón el precio es muy superior. De cualquier forma a continuación se presentarán las dos opciones.

Compresor a tornillo:

El compresor que seleccionamos es de la marca Tausem modelo SKY 25 cuya presión es de $7,8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ y su caudal es de $180 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Posee un motor de 25 hp y sus dimensiones son de 1080x880x1415 mm. El mismo reemplaza al viejo compresor a pistón siendo innecesaria su utilización.





Compresor a pistón:

El cabezal seleccionado es de la marca Zebra modelo BP 200, entrega $120 \frac{m^3}{h}$ a $8 \frac{kg}{cm^2}$, potencia 20 hp.

CABEZALES A PISTÓN | Transmisión a correa | alta/baja (AB) y baja/baja (BB)

- Lubricado por aceite
- Uso industrial (larga vida útil)
- Block de hierro fundido para altas exigencias
- Polea incluida
- Desde los 5.5 hasta los 20 hp



PB 0.40



BP 0.60 | BP 0.80 | BP 110 | BP 1512



PB 0.48



BP 0.67 | BP 0.90 | BP 1508 | BP 200

MODELO	MOTOR		POTENCIA		VEL.	CILINDROS		RENDIMIENTO EN LITROS		PRESIÓN DE TRABAJO MÁX.		DIMENSIONES cm	PESO NETO Kg.	
	KW	HP	V	HZ	RPM	No x Ø mm	Stroke mm	L min	CFM	MPA	PSI	largo x ancho x alto		
BP 0.40	4	5.5	380	50	1000	1x90 / 1x65	60	400	14	1.25	180	50x31x46	39	VER MÁS
BP 0.60	5.5	7.5	380	50	950	2x80 / 1x65	70	600	21	1.25	180	55x35x50	50	VER MÁS
BP 0.80	7.5	10	380	50	950	2x90 / 1x80	70	800	28	1.25	180	56x36x52	70	VER MÁS
BP 110	11	15	380	50	860	3x100	100	1100	39	1.25	180	72x47x65	137	VER MÁS
BP 1512	15	20	380	50	860	3x100	100	1500	53	1.25	180	76x51x65	140	VER MÁS
BP 0.48	4	5.5	380	50	1000	2x90	60	480	17	0.8	115	50x31x46	39	VER MÁS
BP 0.67	5.5	7.5	380	50	1000	3x80	70	670	23	0.8	115	55x35x50	48	VER MÁS
BP 0.90	7.5	10	380	50	950	3x90	70	900	32	0.8	115	56x36x52	70	VER MÁS
BP 1508	11	15	380	50	860	3x100	100	1500	53	0.8	115	72x47x65	137	VER MÁS
BP 200	15	20	380	50	860	3x120	100	2000	71	0.8	115	76x51x65	140	VER MÁS

Para impulsar dicho cabezal de compresión será necesario acoplarle un motor de 20 hp y 6 polos. Se seleccionó uno de la marca SIEMENS de 15 kw (20 hp), carcasa con patas (IMB3), tamaño 180 L.



Potencia Nominal	Tamaño		Motor tipo en forma constructiva	Eficiencia s/cemad	Valores de servicio a la potencia nominal y con 380V ⁽¹⁾					Par de arranque en veces del par nominal	Intensidad de Arranque en veces de la I nominal	Par máximo en veces del par nominal	Clase de par	Momento de Inercia J	Peso neto
	CV	KW			IEC	IMB3	Clase EFF	Velocidad nominal rpm	Rendimiento %						
1000 rpm, 6-polos															
0,12	0,09	63 M	11A7 063 - 6AA..	-	850	45	0,66	0,46	1,0	1,8	2,0	1,9	13	0,00037	4,0
0,25	0,18	71 M	11A7 070 - 6AA..	-	835	56	0,75	0,65	2,0	2,1	2,3	1,9	16	0,00055	5,0
0,33	0,25	71 M	11A7 073 - 6AA..	-	830	61,0	0,76	0,9	2,8	2,2	2,7	2,0	16	0,0008	6,0
0,50	0,37	80 M	11A7 080 - 6AA..	-	920	62,0	0,72	1,3	3,9	1,9	3,1	2,1	16	0,0014	9,0
0,75	0,55	80 M	11A7 083 - 6AA..	-	910	67,0	0,74	1,75	5,8	2,1	3,4	2,2	16	0,0017	10,0
1,0	0,75	90 L	11A7 090 - 6AA..	-	915	69,0	0,76	2,3	7,8	2,2	3,7	2,2	16	0,0024	13,0
1,5	1,1	90 L	11A7 096 - 6AA..	-	915	72,0	0,77	3,1	11,5	2,3	3,8	2,3	16	0,0033	16,0
2,0	1,5	100 L	11A7 106 - 6AA..	-	925	74,0	0,75	4,1	15,0	2,3	4,0	2,3	16	0,0047	21
3,0	2,2	112 M	11A7 113 - 6AA..	-	940	78,0	0,78	5,5	22,0	2,2	4,6	2,5	16	0,0091	26
4,0	3,0	132 S	11A7 130 - 6AA..	-	950	79,0	0,76	7,7	30,0	1,9	4,2	2,2	16	0,015	38
5,5	4,0	132 M	11A7 133 - 6AA..	-	950	80,5	0,76	10	40,0	2,1	4,5	2,4	16	0,019	44
7,5	5,5	132 M	11A7 134 - 6AA..	-	950	83,0	0,76	13,5	52,0	2,3	5,0	2,6	16	0,025	52
10,0	7,5	160 M	11A7 163 - 6AA..	-	960	86,0	0,74	18	75,0	2,1	4,6	2,5	16	0,044	74
15,0	11,0	160 L	11A7 166 - 6AA..	-	960	87,5	0,74	26	109,0	2,3	4,8	2,6	16	0,063	95
20,0	15,0	180 L	11G4 186 - 6AA..	-	970	88,9	0,83	31	148,0	2,3	5,3	2,5	16	0,18	150
25,0	18,5	200 L	11G4 206 - 6AA..	-	975	89,8	0,81	38,5	181,0	2,5	5,6	2,5	16	0,24	195
30,0	22,0	200 L	11G4 207 - 6AA..	-	975	90,3	0,81	46	215,0	2,6	5,7	2,5	16	0,29	205
40,0	30,0	225 M	11G4 223 - 6AA..	-	978	91,8	0,83	60	293,0	2,7	5,6	2,5	16	0,49	280
50,0	37,0	250 M	11G4 253 - 6AA..	-	980	92,3	0,83	74	360,0	2,7	6,0	2,3	16	0,76	370
60,0	45,0	280 S	11G4 280 - 6AA..	-	985	92,4	0,85	85	438,0	2,4	6,1	2,4	16	1,1	475
75,0	55,0	280 M	11G4 283 - 6AA..	-	985	92,7	0,86	104	534,0	2,5	6,3	2,5	16	1,4	510
100,0	75,0	315 S	11G4 310 - 6AA..	-	988	93,5	0,84	145	725,0	2,5	6,5	2,8	16	2,1	685
125,0	90,0	315 M	11G4 313 - 6AA..	-	988	93,9	0,84	173	870,0	2,6	6,8	2,9	16	2,5	750
150,0	110,0	315 L	11G4 316 - 6AA..	-	988	94,3	0,86	206	1063,0	2,5	6,8	2,9	16	3,2	890
180,0	132,0	315 L	11G4 317 - 6AA..	-	988	94,8	0,86	247	1276,0	3,1	7,3	3,0	16	4,0	980
220,0	160,0	315 L	11G4 318 - 6AA..	-	988	95,0	0,86	300	1547,0	3,0	7,5	3,0	16	4,7	1180
270,0	200,0	315	11A8 315 - 6AB..	-	989	95,7	0,87	363	1930,0	2,0	6,3	2,5	13	6,0	1300
340,0	250,0	315	11A8 317 - 6AB..	-	989	95,9	0,87	455	2410,0	2,0	6,3	2,5	13	7,3	1500
430,0	315,0	355	11A8 355 - 6AB..	-	993	96,2	0,87	570	3030,0	2,2	6,5	2,8	13	13	2000
480,0	355,0	355	11A8 357 - 6AB..	-	993	96,5	0,87	727	3850,0	2,2	6,5	2,8	13	16	2200
600,0	450,0	400	11A8 403 - 6AB..	-	992	96,5	0,86	825	4330,0	2,2	6,5	2,8	13	21	2800
680,0	500,0	400	11A8 405 - 6AB..	-	992	96,5	0,87	903	4810,0	2,3	6,5	2,8	13	24	3000
760,0	560,0	400	11A8 407 - 6AB..	-	992	96,7	0,87	1010	5390,0	2,3	6,5	2,8	13	27	3200

1) En la placa de características figuran los datos para 400 V 50 Hz y 460V 60 Hz (2) Tensión de servicio 690 V (3) Próximamente se recibirán del tipo 1 LG4

Pulmón

El tanque pulmón actual es demasiado chico (0,3m³) para la demanda de aire de la planta, provocando que el compresor realice más ciclos de los que debería, si a esto le sumamos el bajo caudal que entrega el compresor actual el problema es mayor provocando el desgaste prematuro del cabezal de compresión.

Para subsanar este inconveniente se seleccionó un nuevo pulmón de aire de mayor capacidad, el mismo es de la marca ZEBRA y tiene un volumen de 1 m³, con una presión de trabajo de 10 bar.



TANQUES DE AIRE VERTICALES Y HORIZONTALES

Incluye todos los accesorios (manómetro, válvula de seguridad y válvula de purga) y el certificado de prueba hidráulica y verificación de espesores.




TANQUES VERTICALES

VOLUMEN	PRESIÓN	ESPESOR DE CHAPA mm	Ø metros	ALTO metros	PESO	
160 litros	10 bar	3,2	0,45	1,40	58	VER MAS
300 litros	10 bar	3,25	0,60	1,60	128	VER MAS
480 litros	10 bar	4,8	0,70	2,10	232	VER MAS
1000 litros	10 bar	5,71	0,90	2,10	281	VER MAS

Tanques Verticales y Horizontales

TANQUES HORIZONTALES

VOLUMEN	PRESIÓN	ESPESOR DE CHAPA mm	Ø metros	ALTO metros	LARGO metros	PESO kilogramo	
140 litros	10 bar	3,25	0,40	0,60	1,20	60	VER MAS
220 litros	10 bar	3,25	0,50	0,60	1,40	100	VER MAS
300 litros	10 bar	3,25	0,55	0,60	1,80	120	VER MAS

El mismo viene provisto de fábrica con manómetro, válvula de seguridad y válvula de purga, aunque se recomienda la colocación de una válvula de purga automática para eliminar el condensado.

Cañerías

En base a los datos obtenidos de las máquinas y a una estimación de lo que podría ser una futura ampliación, se realizó el cálculo de las cañerías para el transporte del aire comprimido. A continuación se presenta una tabla indicando cada tramo de cañería con su respectivo diámetro y el obtenido con el cálculo. En todos los casos las cañerías son SCHEDULE 40, pintadas color azul para su correcta identificación.



Cañerías	Diámetro actual	Diámetro de calculo
Principal	3/4"	1"
Secundaria A-J	3/4"	1"
Secundaria A-K	3/4"	1"
Bajadas de servicio	1/2"	1/2"

Como podemos observar en algunos tramos es necesario ampliar la sección de la cañería.

Recomendaciones generales

Se recomienda para la ejecución de las bajadas de aire, que su finalización sea a través de una tee, de manera de acoplar al extremo recto una válvula que permita el purgado de la cañería antes de comenzar la jornada laboral.

También es recomendable que ambos ramales de la cañería secundaria posean una inclinación del 0,3 % para garantizar que el condensado escurra de la línea.



Memoria de cálculo

A continuación se realizará el cálculo de la instalación de aire comprimido, tanto de cañerías como así también su disposición y el compresor de aire.

Comenzamos con el dimensionado de las cañerías, cabe aclarar que se respeta la ubicación de las que están actualmente en planta, con el fin de poder hacer una comparativa, además de que su distribución es la más lógica en función de la ubicación de las máquinas.



Dimensionado de cañerías:

Para poder realizar el cálculo de las cañerías de aire necesitamos conocer el caudal de aire que debe transportar cada tramo de cañería y para poder determinar dicho caudal debemos conocer el consumo de cada máquina-herramienta conectado a la línea.

Las cañerías tendrán una inclinación de 0,3 % en favor del flujo para facilitar la extracción del condensado.

En la tabla siguiente se muestra cada máquina-herramienta que se conecta a la línea, su consumo de aire expresado en $\frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$ y su ubicación en la planta.

Maquina/Herramienta	Consumo (Nm ³ /h)	Factor de simultaneidad	Consumo afectado (Nm ³ /h)	Referencia
Amoladora Nº1	48	0,5	24	E
Amoladora Nº2	48	0,5	24	F
Cortadora por plasma	15	0,4	6	G
Pistola pintar	30	0,3	9	C
Pico prueba deshidratadora	20	0,4	8	K
Soplete limpieza Nº1	43,2	0,1	4,32	B
Soplete limpieza Nº2	43,2	0,1	4,32	H
Soplete limpieza Nº3	43,2	0,1	4,32	M
Horno	60	0,3	18	D
Acople futura ampliación	30	0,5	15	J
Acople futura ampliación	30	0,5	15	I
Acople futura ampliación	30	0,5	15	L
			146,96	

Una vez obtenidos los datos del consumo de aire de cada máquina se muestra en la siguiente tabla los tramos de cañería (referenciados en plano), el caudal de aire que por ellos circula y los metros de cañería de dicho tramo.



El cálculo se realizará teniendo en cuenta los acoples para la futura ampliación.

El caudal de cada tramo de cañería lo obtenemos sumando los puntos de consumo de todas las máquinas que se encuentran aguas abajo de dicho tramo.

Tramo	Longitud (m)	Caudal (Nm ³ /h)
Principal-A	2,48	146,96
A-B	3	119,64
B-C	6	115,32
C-D	9,75	106,32
D-E	8	88,32
E-F	3	64,32
F-G	10,2	40,32
G-H	5	34,32
H-I	9	30
I-J	5,75	15
A-M	3,45	27,32
M-L	4	23
L-K	27,1	8

Ya obtenidos los caudales de aire que cada tramo de cañería transporta vamos a proceder al cálculo del diámetro de las mismas.

Tenemos que considerar para dicho cálculo que existen tres tipos de cañerías:

Cañería principal:

Es aquella que sale del tacho pulmón y conduce la totalidad del caudal de aire comprimido. Para dicha cañería la velocidad máxima admisible del aire es de 8 m/s.

Cañerías secundarias:

Son aquellas que se derivan de la principal y se distribuyen por las áreas de trabajo y de la cual se desprenden las tuberías de servicio. La velocidad máxima admisible es de 10 a 15 m/s.



Cañerías de servicio:

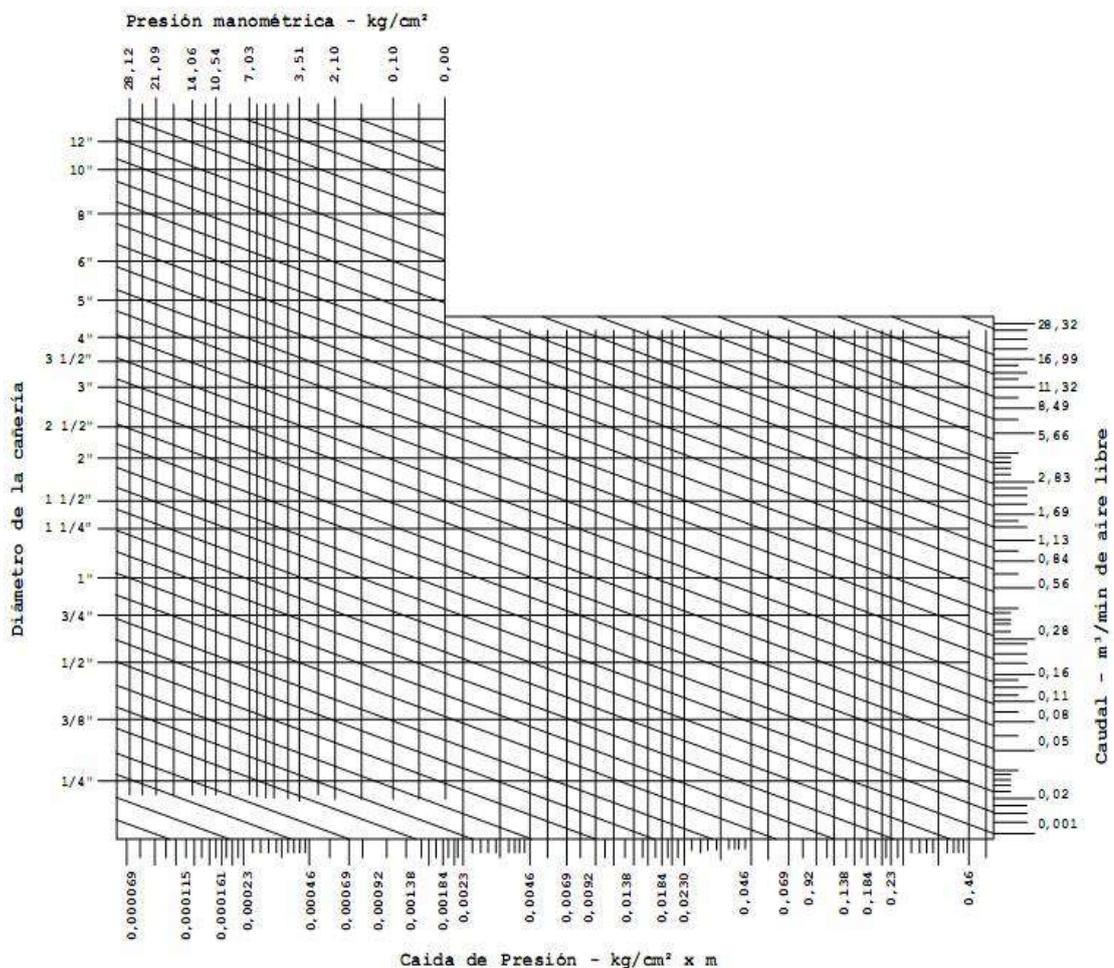
Son aquellas que se desprenden de las cañerías secundarias y son las que alimentan a los equipos neumáticos. La velocidad máxima admisible es de 15 a 20 m/s.

Debemos considerar además que la pérdida de carga admisible en las bocas de utilización no debe ser mayor que el 3 % de la presión de servicio del compresor.

Las pérdidas de presión o carga se originan de dos maneras, por rozamiento del aire comprimido contra las paredes del caño, y por cambios de dirección o estrangulamiento en accesorios (codos, válvulas, etc).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente vamos a realizar el pre-dimensionado de cada tramo de cañería. Cabe destacar que para las cañerías de servicio el diámetro mínimo a colocar será de ½" aunque no fuese necesaria, pues un diámetro menor comprometería la rigidez estructural.

Para la selección de diámetro de las cañerías se utiliza el siguiente ábaco.





Se ingresa a la tabla con la presión manométrica expresada en kg/cm^2 y se interseca con el caudal expresado en $\frac{\text{Nm}^3}{\text{min}}$, luego se traza la diagonal hasta llegar a la caída de presión de cálculo y se selecciona el diámetro.

Las pérdidas de presión en accesorios se obtienen por tabla y están expresadas como metros de cañería recta, a continuación se muestra la tabla.

PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS DE TUBERIAS. VALORES EQUIVALENTES EN METROS DE CAÑERIA RECTA

Elemento intercalado en tuberías	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Válvula esclusa (completam. abierta)	0,09	0,09	0,1	0,13	0,17	0,22	0,26	0,33
T" (paso recto)	0,15	0,15	0,21	0,33	0,45	0,54	0,67	0,91
T" (paso a derivación)	0,76	0,76	1	1,28	1,81	2,13	2,46	3,16
Curva 90°	0,42	0,42	0,52	0,84	0,79	1,06	1,24	1,58
Curva 45°	0,15	0,15	0,23	0,29	0,37	0,48	0,57	0,73
Válvula globo (completamente abierta)	4,26	4,26	5,66	7,04	8,96	11,76	13,77	17,67
Válvula angular (completam. abierta)	2,43	2,43	2,83	3,50	4,48	5,88	6,88	8,83

Todas las cañerías serán de acero al carbono ASTM A. 53 Gr A / ASTM A.106 Gr A.

En la siguiente tabla podemos observar todos los datos técnicos de las cañerías, como la presión máxima de trabajo, diámetro interno, etc.



MATERIAL: ACERO AL CARBONO
ASTM A. 53 Gr A
ASTM A. 106 Gr A

Temperatura °C →				-30 a 340°	341 a 370°	371 a 400°	401 a 410°
Ø In (Pulg)	De m-m	SH	Esp mm	TENSION DE TRABAJO - σ_{adm} . Kg/cm ² (material)			
				860 Kg/cm ²	832 Kg/cm ²	764 Kg/cm ²	700 Kg/cm ²
				PRESION MAXIMA DE TRABAJO [Kg/cm ²] (fluido)			
1/2	21.3	40	2.76	62	60	55	51
	21.3	80	3.73	139	133	122	112
	21.3	160	4.77	222	216	198	182
	21.3	---	7.46	473	459	421	388
3/4	26.7	40	2.87	56	54	50	46
	26.7	80	3.91	119	115	106	98
	26.7	160	5.56	236	230	202	186
	26.7	--	7.82	391	380	349	321
1	33.4	40	3.38	68	66	60	55
	33.4	80	4.54	125	122	112	103
	33.4	160	6.35	218	212	195	179
	33.4	---	9.09	375	364	335	308
1 1/4	42.2	40	3.56	61	59	54	50
	42.2	80	4.85	109	106	97	90
	42.2	160	6.35	169	164	151	139
	42.2	---	9.70	315	305	280	258
1 1/2	48.3	40	3.69	57	55	50	46
	48.3	80	5.08	102	99	91	84
	48.3	160	7.14	174	169	155	143
	48.3	---	10.16	288	280	257	236
2	60.3	40	3.91	51	49	45	42
	60.3	80	5.54	94	91	83	77
	60.3	160	8.74	182	177	163	150
	60.3	---	11.07	252	245	225	207
2 1/2	73	40	5.15	69	67	61	56
	73	80	7.01	109	106	98	90
	73	160	9.52	167	162	149	137
	73	---	14.02	278	270	248	229
3	88.9	40	5.48	62	60	55	51
	88.9	80	7.62	100	97	89	82
	88.9	160	11.12	166	161	148	136
	88.9	---	15.24	248	241	221	204
3 1/2	101.6	40	5.74	58	56	51	47
	101.6	80	8.07	95	91	84	77

Cañería principal

Establecemos para el dimensionado que la cañería principal tendrá como máximo una pérdida de carga del 1%, la misma tiene una longitud de 2,48 metros y transporta un caudal de $146,96 \frac{Nm^3}{h}$ ($2.44933 \frac{Nm^3}{min}$).



La distribución del aire por las cañerías se realiza a la presión de trabajo del compresor siendo de 7,8 bar (8 kg/cm²).

Lo que implica una caída de presión máxima por metro de cañería de:

$$\frac{\Delta P}{l} = \frac{8 * 0.01}{2.48} = 0.0322$$

Con los datos anteriores ingresamos a la tabla y seleccionamos una cañería de ½”, Schedule 40.

A continuación agregamos la pérdida de carga expresada en metros lineales de cañería que producen los accesorios de dicho tramo, en particular tenemos una válvula esférica y 3 curvas a 90°.

Accesorios	Perdida de carga (m)
curva 90°	0,52
curva 90°	0,52
curva 90°	0,52
válvula esférica	0,1

En total sumamos 1,66 metros de pérdida de carga.

Con lo cual la longitud de cálculo para la cañería es de 2,48 más 1,66 metros sumando un total de 4,14 metros.

Por lo tanto la caída de presión máxima por metro de cañería para el cálculo es:

$$\frac{\Delta P}{l} = \frac{8 * 0.01}{4.14} = 0.019$$

Con este nuevo $\frac{\Delta P}{l}$ ingresamos a la tabla y volvemos a seleccionar el diámetro de la cañería, que para el caso sería de ¾”, Schedule 40.

Como cambiamos el diámetro de la cañería, las pérdidas en los accesorios también cambian, por lo tanto la nueva tabla para pérdidas en accesorios es la siguiente.

Accesorios	Pérdida de carga (m)
curva 90°	0,84
curva 90°	0,84
curva 90°	0,84
válvula esférica	0,13



En total las pérdidas para los accesorios suman 2,65 m. Con lo cual el nuevo

$$\frac{\Delta P}{l} = \frac{8 * 0.01}{2.45 + 2.65} = 0.156$$

Finalmente con este nuevo valor reingresamos a la tabla y comprobamos que la cañería de ¾” sigue verificando. En caso que esto no fuera así deberíamos seguir con la iteración.

Teniendo en cuenta que seleccionamos una cañería de ¾” SCHEDULE 40, el diámetro interno es de 20.96 mm, y la velocidad del fluido será.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0408222 \frac{m^3}{s}}{0.000345 m^2} * \frac{1}{E} = \frac{m}{s}$$

El factor E es una constante que se utiliza para pasar el caudal de aire libre a aire a presión, y se calcula:

$$E = \frac{1.033}{P + 1.033}$$

La presión de trabajo es de 8 kg/cm² por lo tanto E = 8,74.

Con lo que la velocidad del aire será V = 13,53 m/s.

Como definimos una velocidad de circulación máxima de 8 m/s, este diámetro de cañería no es suficientemente grande, por lo tanto seleccionamos el diámetro inmediatamente superior que es de 1”, ahora volvemos a comprobar la velocidad para dicho diámetro.

La cañería de 1” tiene un diámetro interno de 26,64 mm, y una sección de 0,00055738 m².

Por lo tanto la velocidad para esta cañería será:

$$V = \frac{0.0408222 \frac{m^3}{s}}{0.00055738 m^2} * \frac{1}{8.74} = 8.37 \frac{m}{s}$$

Aún seguimos por encima de los 8 m/s pero la diferencia es muy poca y por lo tanto aceptable.

Finalmente la cañería de 1” Schedule 40 es la que mejor se adapta a los requerimientos.



Cañerías secundarias

Desde la cañería principal, se desprenden 2 cañerías secundarias que distribuyen el aire comprimido a las áreas de trabajo, el caudal que por ellas circula es máximo en su extremo inicial y comienza a decaer a medida que pasa por cada bajada de servicio, para no realizar el cálculo de cada tramo de cañería, se pueden optar por dos opciones, una es tomar el caudal medio de la cañería y calcular toda ella para dicho caudal y la otra opción es calcularla para el caudal máximo, es decir el caudal de entrada.

Teniendo en cuenta que en la actual instalación se presentan algunos problemas como falta de presión en determinados tramos de la cañería el cálculo se realizará para el caudal máximo, es decir el caudal de entrada a la cañería secundaria y la cañería se mantendrá constante en toda su extensión.

Comenzaremos con el cálculo del ramal A-J, el mismo transporta un caudal de $119,64 \frac{Nm^3}{h}$ ($1,994 \frac{Nm^3}{min}$) y tiene una longitud de 58,7 metros.

La distribución del aire por las cañerías se realiza a la presión de trabajo del compresor siendo esta de 8 kg/cm^2 , y consideramos una caída de presión máxima de 1%.

Lo que implica una caída de presión máxima por metro de cañería de:

$$\frac{\Delta P}{l} = \frac{8 * 0.01}{58.7} = 0.00136$$

Con los datos anteriores ingresamos a la tabla y seleccionamos una cañería de 1", Schedule 40.

A continuación agregamos la pérdida de carga expresada en metros lineales de cañería que producen los accesorios de dicho tramo, en esta en particular tenemos una te paso derivación, una válvula esférica, 3 curvas a 90° y 9 te paso recto.

Accesorios	Perdida de carga (m)
curva 90°	0,79
Te paso derivación	1.61
Te paso recto	0.45
válvula esférica	0,17



En total sumamos 8,2 metros de pérdida de carga.

Con lo cual la longitud de cálculo para la cañería es de 58,7 más 8,2 metros sumando un total de 66,9 metros.

Por lo tanto la caída de presión máxima por metro de cañería para el cálculo es:

$$\frac{\Delta P}{l} = \frac{8 * 0.01}{66.9} = 0.00119$$

Con este nuevo $\frac{\Delta P}{l}$ ingresamos a la tabla y comprobamos que la cañería de 1" verifica.

Teniendo en cuenta que seleccionamos una cañería de 1" SCHEDULE 40, el diámetro interno es de 26,64 mm, y la velocidad del fluido será.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.03323 \frac{m^3}{s}}{0.000506 m^2} * \frac{1}{E} = \frac{m}{s}$$

El factor E es una constante que se utiliza para pasar el caudal de aire libre a aire a presión, y se calcula:

$$E = \frac{1.033}{P + 1.033}$$

La presión de trabajo es de 7,8 bar (8 kg/cm²), por lo tanto E = 8,74.

Con lo que la velocidad del aire será V = 7,5 m/s, siendo menor que la máxima que establecimos para el cálculo.

Cañerías de servicio

Asumimos para dicha cañería una pérdida de carga del 1%, como hay múltiples bajadas y no tiene sentido calcular la sección de todas ellas, vamos a tomar la de mayor consumo y realizaremos el cálculo, luego adoptaremos dicha sección para el resto de ellas, además permite tener más flexibilidad ante una posible reubicación de máquinas. Otro punto que debemos tener en cuenta es que por cuestiones de resistencia mecánica, el diámetro mínimo de cañería para las bajadas de aire será de ½".

La distribución del aire por las cañerías se realiza a la presión de trabajo del compresor siendo esta de 8 kg/cm², la bajada de mayor consumo utiliza 24 m³/h y tiene una longitud de 4 metros.

Lo que implica una caída de presión máxima por metro de cañería de:



$$\frac{\Delta P}{l} = \frac{8 * 0.01}{4} = 0.02$$

Con los datos anteriores ingresamos a la tabla y la cañería de 3/8", Schedule 40 es suficiente para transportar el caudal de aire solicitado, de todas formas como ya mencionamos la cañería tendrá como mínimo una sección de 1/2", por lo que procedemos solo a verificar que la velocidad del fluido en dicha cañería no pase de los 15 m/s.

Teniendo en cuenta que seleccionamos una cañería de 1/2" SCHEDULE 40, el diámetro interno es de 15,78 mm, y la velocidad del fluido será.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.00666 \frac{m^3}{s}}{0.000195 m^2} * \frac{1}{E} = \frac{m}{s}$$

El factor E es una constante que se utiliza para pasar el caudal de aire libre a aire a presión, y se calcula:

$$E = \frac{1.033}{P + 1.033}$$

La presión de trabajo es de 8 kg/cm² por lo tanto E = 8,74.

Con lo que la velocidad del aire será V = 3,9 m/s, verificando con holgura el límite impuesto.

Verificación del compresor

La planta posee un compresor a pistón que entrega 58,8 Nm³/h a 8 bar, si bien la presión es suficiente para el funcionamiento de la maquinaria no lo es el caudal siendo este muy inferior al requerido (146 Nm³/h). Por lo tanto a continuación seleccionaremos un compresor acorde a los requerimientos como una opción a tener en cuenta ante un posible reemplazo.

Establecemos como coeficiente de consumo un factor de 0,85, por lo tanto el caudal nominal será:

$$0.85 = \frac{Q_n}{Q_c} = \frac{146}{Q_c}$$

Entonces el caudal de compresor será $Q_c = \frac{146}{0.85} = 171.7 \frac{Nm^3}{h}$

El compresor que seleccionamos es de la marca Tausem modelo SKY 25 cuya presión es de 7,8 bar (8 kg/cm²) y su caudal es de 180 m³/h. Posee un motor de 25 hp y sus dimensiones son de 1080x880x1415 mm.



Como otra opción se selecciona un compresor a pistón (cabezal) que se acople al actual compresor y proporcione el caudal de aire comprimido faltante para cubrir la demanda.

El cabezal seleccionado es de la marca Zebra modelo BP 200, entrega 2000 l/min (120 m³/h) a 115 psi (8 bar), potencia 20 hp.

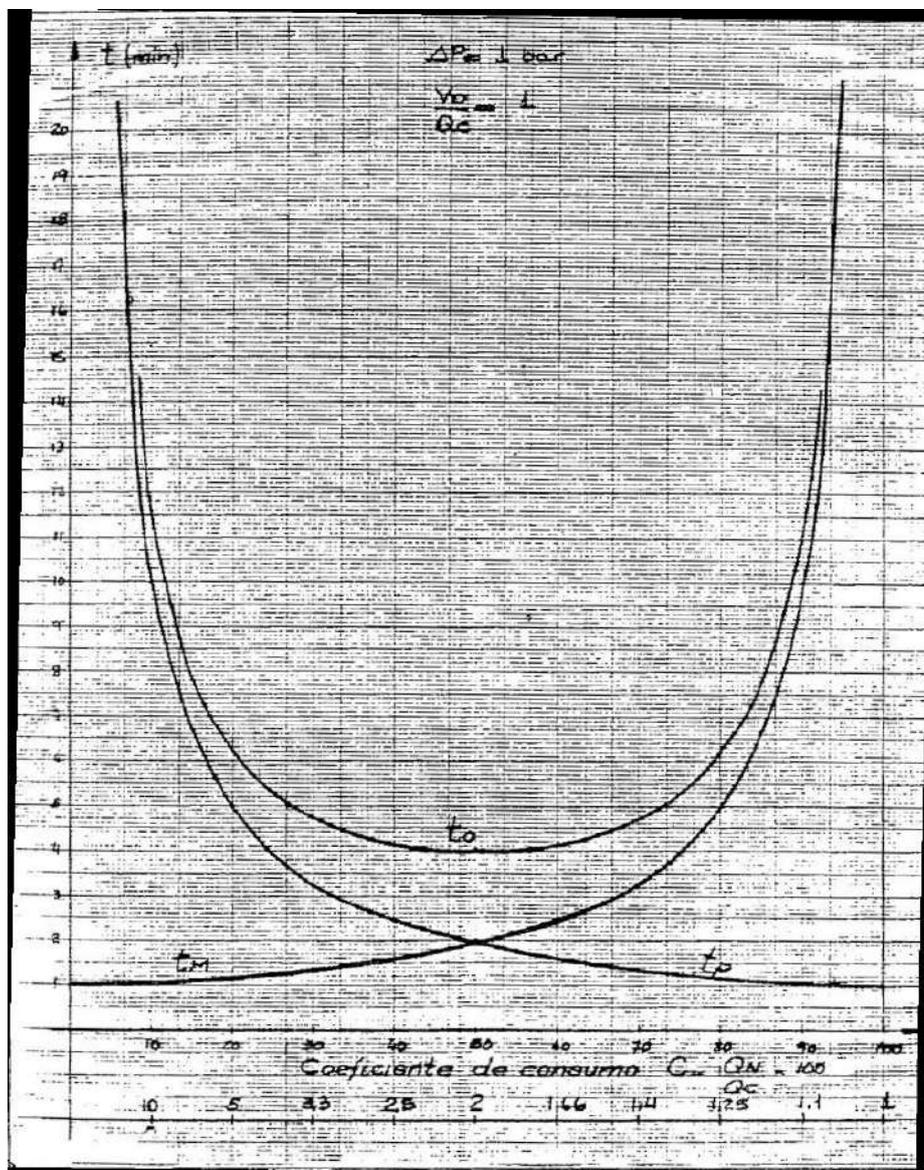
El mismo será impulsado por un motor de 20 hp y 1000 R.P.M.



Cálculo del tanque pulmón

Para la determinación del tanque pulmón utilizaremos un gráfico que nos muestra el tiempo de operación del compresor para saltos de presión entre la parada y el arranque de 1 bar, para esto se ingresa al gráfico con el coeficiente de consumo estimado y se traza una línea hasta intersectar la curva t_0 , luego nos desplazamos horizontalmente a la izquierda y obtenemos el tiempo de operación para dicho coeficiente.

Consideramos un coeficiente de consumo de 0,85, luego ingresamos al gráfico y nos da un tiempo $t_0=7,9$ min.





Para este tiempo tenemos:

$$\frac{60}{7.9} = 7.59 \quad \text{Operaciones por hora}$$

Queremos que el compresor realice como máximo 20 operaciones por hora, ya que el sistema no es modulante y es este un valor normal para compresores con arranque y parada entonces:

$$\frac{60}{20} = 3$$
$$\frac{VD}{QC} = \frac{3}{7.9} = 0.379$$

$$QC = Qn * \frac{1}{C} = 2.865 \frac{m^3}{min}$$

Qc es la capacidad del compresor.

Qn es el consumo de aire (146,96 Nm³/h o 2,44 Nm³/min).

C es el coeficiente de consumo (0,85).

Finalmente el volumen del tacho pulmón es:

$$VD = 0,379 * 2,865 = 1,08m^3$$

Este volumen fue calculado para una caída de presión de un bar y 20 ciclos por hora con un coeficiente de utilización de 0,85.

El tanque pulmón seleccionado es un Zebra de 1 m³ vertical que soporta una presión de 10 bar, tiene un diámetro de 0,9 metros y una altura de 2,1 metros.

Cálculo del condensado

En los sistemas de aire comprimido el aire aspirado por el compresor entra a la presión y temperatura ambiente con su consiguiente humedad relativa. Entonces se lo comprime a una presión más elevada que produce un calentamiento del aire al grado que toda su humedad pasará por el compresor al ser aspirado.

Este aire ahora comprimido al enfriarse en el depósito y tuberías de distribución hasta igualar la temperatura ambiente condensará parte de su humedad en forma de gotas de agua.

Para determinar la cantidad de condensado se utiliza la siguiente fórmula junto con el gráfico mostrado a continuación.

$$C = 7.2 * 10^{-4} * G * \emptyset * (x_{si} - x_{sf})$$

Dónde:

C = condensado en l/h.

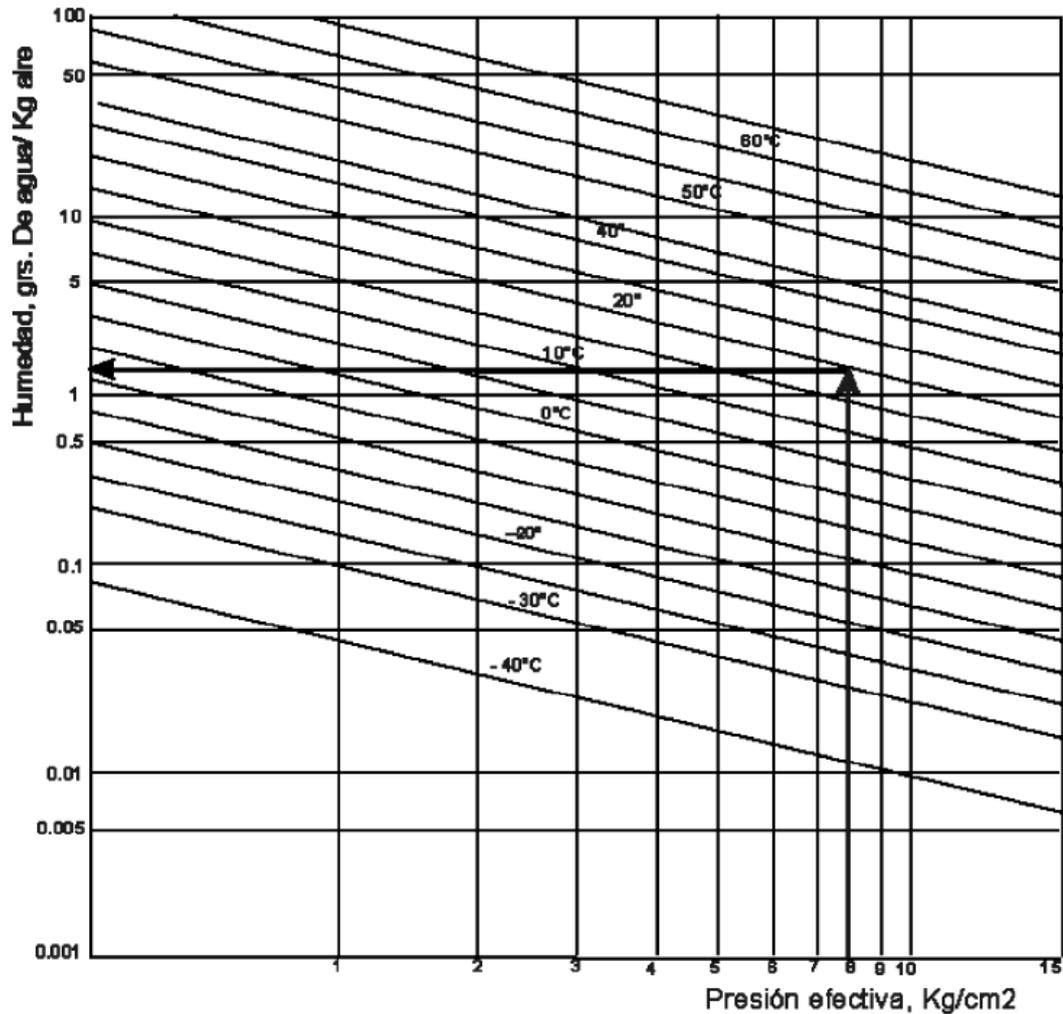
G = caudal nominal aspirado por el compresor Nm³/min.



\emptyset = porcentaje de servicio en carga del compresor - tiempo en carga/tiempo de maniobra.

X_{si} = humedad absoluta del aire aspirado (gr / kg. Aire seco).

X_{sf} = humedad absoluta del aire comprimido (gr / kg. Aire seco).



En nuestro caso en particular estimamos una temperatura media de 20 °C y una humedad relativa del 80%, el compresor trabaja a una presión de 8 kg/cm², con dichos datos entramos al gráfico.

X_{si} = 15 gr agua/ kg aire

Como la humedad relativa la consideramos del 80%, entonces $X_{si} = 0,8 \times 15 = 12$ gr/ kg.

X_{sf} = 1,5 gr agua/ kg aire

Aplicamos la fórmula y obtenemos:



$$C = 7.2 * 10^{-4} * 2.43 * 85 * (12 - 1.5) = 1.56 \frac{l}{h}$$

Si tenemos en cuenta una jornada de trabajo de 8 horas el total de condensado por día sería de 12,48 litros.

Dicho condensado debería ser separado en el propio tanque pulmón por medio de una purga automática y en equipos separadores, además es recomendable colocar al final de cada bajada una té con la boca en derivación conectada a la máquina y la otra acoplada a una válvula esférica que permita la purga del condensado al inicio de cada jornada laboral.



Anexo



Instalación de gas natural



Memoria técnica

El cálculo de las cañerías de baja presión se realiza por el método de Poole. El sistema debe alimentar un horno y 3 calefactores del tipo industrial.

La planta cuenta en la actualidad con una instalación de gas natural que provee el combustible a un calefactor del tipo industrial y a un horno de taller, por lo tanto la traza de la cañería se realizó de manera tal de poder utilizar parte de la instalación ya existente.

En las tablas siguientes se detallan las cañerías calculadas así como también los accesorios utilizados. (Cada tramo de cañería es referenciado en el correspondiente plano).

Todas las cañerías serán SCH 40 y los accesorios roscados conexión hembra-hembra.

Cañerías

Tabla cañerías Gas		
Tramo	Longitud (m)	Diámetro final (pulg)
CG-A	20	2 1/2
A-B	7,6	2
B-D	24,05	1 1/2
D-E	9,6	1
A-C	19,32	1
D-H	3,5	3/4
B-C2	1	3/4
C-C1	1	3/4
E-C3	1	3/4



Accesorios

Tramo	Accesorios	Diámetro final (pulg)	Observaciones
CG-A	2 Codos	2 ½	NAG 251
	1 Tee		NAG 251
	1 válvula esférica		BRONCE
A-B	1 Reducción	2	NAG 251
	1 Tee		NAG 251
B-D	1 Reducción	1 ½	NAG 251
	1 Tee		NAG 251
	2 codos		NAG 251
D-E	1 Reducción	1	NAG 251
	2 Codos		NAG 251
A-C	1 Reducción	1	NAG 251
	5 Codos		NAG 251
D-H	1 Reducción	¾	NAG 251
	1 Codo		NAG 251
	1 válvula esférica		BRONCE
B-C2	1 Reducción	¾	NAG 251
	1 válvula esférica		BRONCE
C-C1	1 Reducción	¾	NAG 251
	1 válvula esférica		BRONCE
E-C3	1 Reducción	¾	NAG 251
	1 válvula esférica		BRONCE



Memoria de cálculo

Para poder realizar un cálculo correcto de las instalaciones de gas natural debemos conocer las características del mismo, principalmente su poder calorífico para poder determinar el consumo de los equipos, y su densidad para poder determinar la sección de la cañería de transporte sin cometer errores.

Las características del gas dependen de su lugar de extracción, a continuación mostramos una tabla con las características del gas natural en nuestro país.

Propiedades del Gas en la Argentina			
Tipo	Poder calorífico (cal/m ³)	Densidad	Presión de trabajo (mm H ₂ O)
Gas natural seco residual	9000	0,6	200
Gas natural del Sud	9300	0,62	200
Gas natural de campo Durán	9600	0,64	200
Gas natural Mendoza	13000	0,65	200

En nuestro caso particular el gas natural posee un poder calorífico de 9600 cal/m³ y una densidad de 0,65 kg/m³.

En baja presión para la determinación del diámetro se utilizan tablas en las cuales se ingresa con la información de la longitud de cálculo y el consumo en litros por minuto y se obtiene el diámetro de la cañería.

La longitud de cálculo es el total que recorre el gas que pasa por el tramo de cañería a calcular.

Las tablas tienen en cuenta una caída de presión máxima de 10 mmc.a (5%). A continuación se muestra la tabla utilizada para la selección de las cañerías.



Caudal en litros de gas por hora, para cañerías de diferentes diámetros y longitudes (gas natural)
Densidad 0,65
Para caída de presión h= 10 mm (columna de agua)

Longitud de cañería en metros	Diámetros de la cañería en milímetros									
	9,5 (3/8")	13 (1/2")	17 (3/4")	25 (1")	32 (1 1/4")	38 (1 1/2")	51 (2")	63 (2 1/2")	76 (3")	101 (4")
2	1.745	3.580	9.895	20.260	35.695	55.835	114.615	198.330	312.851	624.217
3	1.425	2.825	8.065	16.540	28.900	45.585	93.580	161.915	255.411	524.304
4	1.235	2.535	6.985	14.325	25.080	39.480	81.050	140.219	221.186	454.046
5	1.105	2.265	6.250	12.810	22.685	35.310	72.490	125.419	197.840	406.125
6	1.005	2.070	5.705	11.695	20.435	32.230	66.165	114.511	180.634	370.802
7	930	1.915	5.280	10.835	18.920	29.845	61.265	106.025	167.250	343.325
8	870	1.790	4.940	10.130	17.695	27.910	57.295	99.185	156.425	321.108
9	820	1.690	4.655	9.550	16.685	26.320	54.025	93.479	147.457	302.698
10	780	1.600	4.420	9.060	15.825	24.965	51.245	88.689	139.903	287.189
12	710	1.460	4.035	8.270	14.450	22.790	46.790	80.957	127.705	262.151
14	660	1.355	3.735	7.655	13.375	21.100	43.315	74.963	118.249	242.740
16	615	1.265	3.495	7.160	12.510	19.595	40.515	70.109	110.593	227.024
18	580	1.195	3.290	6.750	11.795	18.605	38.190	66.110	104.283	214.071
20	550	1.130	3.125	6.405	11.190	17.655	36.240	62.709	98.919	203.062
22	525	1.080	2.980	6.105	10.670	16.830	34.550	59.794	94.322	190.784
24	500	1.035	2.850	5.845	10.215	16.110	33.060	57.244	90.298	185.363
26	480	990	2.740	5.620	9.815	15.485	31.785	54.991	86.690	178.092
28	465	960	2.640	5.415	9.460	14.920	30.630	53.002	83.608	174.449
30	450	925	2.550	5.230	9.135	14.100	29.580	51.202	80.768	165.800
32	435	895	2.470	5.065	8.850	13.955	29.075	49.582	78.312	160.553
34	420	870	2.395	4.910	8.580	13.535	27.785	48.094	75.865	155.735
36	410	845	2.330	4.775	8.340	13.155	27.005	46.739	73.728	151.349
38	400	820	2.265	4.650	8.120	12.805	26.295	45.496	71.767	147.322
40	390	800	2.210	4.525	7.910	12.480	25.615	44.344	69.951	143.594
42	380	780	2.155	4.420	7.720	12.180	25.005	43.277	68.267	140.138
44	370	765	2.105	4.320	7.545	11.900	24.430	42.279	66.692	136.905
46	360	745	2.060	4.220	7.375	11.635	23.895	41.349	65.227	133.897
48	355	730	2.015	4.135	7.225	11.395	23.395	40.478	63.852	131.075
50	350	715	1.975	4.035	7.075	11.165	22.920	39.660	62.560	128.424
55	330	685	1.885	3.860	6.750	10.845	21.850	37.815	59.650	122.403
60	315	655	1.805	3.695	6.460	10.190	20.920	36.205	57.109	117.233
65	305	630	1.730	3.550	6.210	9.695	20.105	34.784	54.870	112.638
70	295	605	1.670	3.420	5.980	9.430	19.360	33.521	52.876	108.545
75	285	585	1.615	3.310	5.780	9.115	18.715	32.383	51.081	104.860
80	275	565	1.565	3.200	5.595	8.830	18.120	31.354	49.459	101.531
85	265	550	1.515	3.105	5.425	8.555	17.565	30.419	47.994	98.502
90	260	535	1.470	3.015	5.270	8.315	17.070	29.563	46.634	95.729
95	250	520	1.435	2.940	5.135	8.100	16.630	28.774	45.389	93.175
100	245	505	1.400	2.865	5.005	7.895	16.205	28.043	44.237	90.800
110	235	485	1.330	2.730	4.770	7.530	15.460	26.738	42.178	86.583
120	225	460	1.275	2.615	4.570	7.210	14.800	25.600	40.384	82.900
130	215	445	1.225	2.515	4.390	6.930	14.225	24.896	38.800	79.649
140	205	430	1.180	2.420	4.230	6.670	13.695	23.701	37.387	76.749
150	200	415	1.140	2.340	4.090	6.450	13.340	22.898	36.120	74.158
160	195	400	1.105	2.265	3.955	6.240	12.815	22.170	34.972	71.791
170	190	390	1.070	2.195	3.835	6.050	12.425	21.509	33.929	69.649
180	185	380	1.045	2.135	3.730	5.890	12.085	20.902	32.972	67.687
190	175	370	1.015	2.070	3.625	5.730	11.765	20.344	32.092	65.879
200	170	360	990	2.025	3.540	5.580	11.460	19.830	31.230	64.217

Para poder seleccionar el diámetro de cañería de cada tramo se debe conocer el caudal que por el circula y su longitud. Lo primero a realizar entonces es el plano con la distribución de cañerías, este lo podremos visualizar en el anexo. En dicho plano están referenciados los tramos de cañería a dimensionar.

Los tramos de cañería CG-A, A-D y A-C son los que componen la instalación actual, de todas maneras se procede a realizar el cálculo de las mismas, ya que el caudal de gas aumentará debido a la instalación de dos calefactores y por consiguiente los diámetros se verán afectados.

En la tabla siguiente se detallan los puntos de consumo del sistema, con su correspondiente referencia para ubicarla en el plano.



Puntos de consumo		
Puntos	Consumo Kcal/h	Consumo m3/h
C1	40000	4,16666667
C2	60000	6,25
C3	60000	6,25
H	30000	3,125
TOTAL	190000	19,7916667

El método para el dimensionado consiste en varios pasos, en primer lugar se toma un tramo de cañería y se calcula el caudal de gas que por el circula, para la determinación debemos conocer el consumo de cada aparato que se encuentre vinculado a dicha línea, ya sea directamente o por medio de una línea que derive de ella.

El siguiente paso es ingresar a la tabla con la longitud calculada y desplazarse hacia la derecha hasta encontrar el caudal inmediatamente superior al que circulara por el tramo en consideración, luego subimos y obtenemos el diámetro de la cañería.

Obtenido el diámetro, podemos seleccionar los accesorios necesarios, y con ellos obtenemos las pérdidas que producen, que también se obtienen de tablas como las que se muestran a continuación.



Pérdidas de carga por accesorios									
Accesorio	Longitud equivalente								
	Diámetro								
	13	19	25	32	38	51	64	75	102
Codo a 45°	0,20	0,26	0,36	0,44	0,56	0,72	0,90	1,04	1,40
Codo a 90°	0,39	0,57	0,75	0,96	1,14	1,53	1,92	2,25	3,06
Curva	0,26	0,38	0,50	0,64	0,76	1,02	1,28	1,50	2,04
Te flujo a través	0,26	0,38	0,50	0,64	0,76	1,02	1,28	1,50	2,04
Te flujo a 90°	0,58	1,14	1,50	1,92	2,28	3,06	3,84	4,50	6,12
Válvula globo	4,35	6,35	8,30	10,30	12,75	17,00	21,50	25,00	34,00
Válvula exclusiva	0,10	0,13	0,18	0,22	0,29	0,36	0,45	0,52	0,70
Válvula macho lubricado	1,30	1,90	2,50	3,20	3,80	5,40	6,40	7,50	10,20
Reducción	10*D men.	10*D men.	10*D men.	10*D men.	10*D men.	10*D men.	10*D men.	10*D men.	10*D men.

Por último se suma la longitud en metros lineales y la longitud equivalente por pérdidas en accesorios y se recalcula el diámetro.

Para mostrar el procedimiento realizaremos el cálculo del tramo CG-A y luego utilizaremos la herramienta EXCEL para facilitar el cálculo del resto de las cañerías.

Comenzamos con la determinación del caudal de gas que circulara por dicho tramo de cañería, en este caso la cañería es la principal y por tanto circula la totalidad del caudal necesario para abastecer a la planta.

Dicho caudal lo obtenemos de dividir las kcal/h que aportan los equipos por el poder calorífico del gas, en este caso sería:

$$Q = \frac{190000}{9600} = 19,79$$

Ya obtenido el caudal que circula por la cañería debemos conocer la longitud de cálculo, para esto se le suma a la longitud de la cañería, la distancia al punto de consumo más alejado que esté conectado a ella, en este caso en particular la



cañería es de 20 metros y el punto de consumo más alejado se encuentra a 42.05 metros, por lo que la longitud de cálculo nos da 62.05 m.

Con ambos datos ingresamos a la tabla y seleccionamos el diámetro más reducido que encontremos que pueda transportar el caudal de gas calculado a dicha distancia, en particular el diámetro capaz de transportar dicho caudal es de 2 ½”.

Queda solo verificar que al agregar la longitud equivalente que suman los accesorios la cañería siga siendo capaz de transportar el gas.

Si seguimos la línea de gas que pasa hasta el punto más alejado de consumo la misma pasa por 6 codos, 3 tee paso recto, 1 válvula esférica (en la entrada al calefactor) y 4 reducciones.

La sumatoria de pérdida expresada en metros de cañería de cada accesorio se detalla a continuación.

Los 6 codos equivalen a 8,28 metros de cañería.

Las 3 tee paso recto equivalen a 3,02 metros de cañería.

La válvula esférica equivale a 0,18 metros de cañería.

Finalmente las 4 reducciones equivalen a 1,33 metros de cañería.

En total suman 12,81 metros de longitud equivalente.

A la longitud de cálculo se le suma la pérdida que generan los accesorios y verificamos si la cañería aun sirve, en caso de no ser así tenemos que adoptar una de mayor tamaño. Para el caso en particular la cañería verifica, por lo tanto este tramo de cañería deberá ser de 2 ½”.

A continuación con la ayuda de Excel terminamos los cálculos para el resto de las cañerías.

En la siguiente tabla se muestran los diámetros para cada tramo de la cañería antes de sumar la longitud equivalente de los accesorios, cada tramo de cañería está referenciado y se podrá observar en el plano adjunto.



Tabla cañería Gas Natural			
Tramo	Caudal (m ³ /h)	Longitud calculo (m)	Diámetro Tentativo (pulg)
CG-A	19,791	62,05	2 1/2
A-B	15,625	42,05	2
B-D	9,375	34,45	1 1/2
D-E	6,25	10,6	1
A-C	4,166	20,32	1
D-H	3,125	3,5	3/4
B-C2	6,25	1	3/4
C-C1	4,166	1	3/4
E-C3	6,25	1	3/4

Ya obtenido un diámetro desde el cual partir podemos sumar la pérdida que ocasionan los accesorios expresadas en metros de cañería recta. En la siguiente tabla podremos ver dicha pérdida.



Longitud equivalente aportada por accesorios		
Tramo	Accesorios	Longitud Equivalente (m)
CG-A	6 codos, 3 tee paso recto, 1 válvula esf, 4 reducciones.	12,14
A-B	4 codos, 2 tee paso recto, 3 reducciones, 1 válvula esf.	7,02
B-D	4 codos, 1 tee paso recto, 2 reducción, 1 válvula esf.	5,49
D-E	2 codos, 1 reducción, 1 válvula esf.	1,82
A-C	4 codos, 1 tee paso derivación, 2 reducciones, 1 válvula esf.	10,01
D-H	2 codos, 1 tee paso derivación, 1 reducción, 1 valvula esf.	2,6
B-C2	1 tee paso derivación, 1 reducción, 1 válvula esf.	1,46
C-C1	1 codo, 1 reducción, 1 válvula esf.	0,89
E-C3	1 codo, 1 reducción, 1 válvula esf.	0,89

Finalmente podemos sumar la longitud total y recalcular los diámetros de cada tramo de cañería.



Diámetro final		
Tramo	Longitud Total (m)	Diámetro Final (pulg)
CG-A	74,19	2 1/2
A-B	49,07	2
B-D	39,94	1 1/2
D-E	12,42	1
A-C	30,33	1
D-H	6,1	3/4
B-C2	2,46	3/4
C-C1	1,89	3/4
E-C3	1,89	3/4



Anexo



Acondicionamiento de ambiente



Memoria técnica

A partir de los datos de los materiales que constituyen las paredes, techo, suelo y aberturas de la planta, se calculó la pérdida de calor total que resultó ser de

$$121793 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} .$$

Los calefactores a colocar deberán compensar esta pérdida de calor de manera que se mantenga una temperatura interior de 18 °C, cuando la temperatura exterior sea de -2.8°C (El dato de la temperatura exterior se adoptó teniendo en cuenta las temperaturas mínimas para General Pico).

Se colocarán dos calefactores distribuidos en la planta, a continuación se muestran junto a sus características técnicas:

Marca: ELEMAK

Modelo: CDGN60

Capacidad: 60000 $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$

Motor: 0,25 hp 1400 R.P.M

Encendido: Automático con pre barrido

Peso: 35 kg

Dimensiones: Long. 920 mm, diám. 540 mm

Seguridad: Válvula solenoide

Se instalarán distribuidos en la planta a una

altura de 2,5 metros sobre ménsulas de sujeción de manera que no entorpezcan la labor de los operarios y el aire caliente no incida directamente en ninguna persona que pase frente a ellos. Se realizarán entradas de ventilación en los muros a los que fueron sujetos los equipos.





Memoria de cálculo

En primer lugar, vamos a determinar las pérdidas de calor del ambiente, conociéndolas podemos seleccionar el o los equipos que aporten el calor necesario para compensar dichas pérdidas.

Las mismas se producen por transmisión a través de las superficies y por infiltración de aire exterior.

Entonces para determinar esta fuga de calor vamos a calcular ambas y sumarlas.

$$Q_T = Q_t + Q_e$$

Dónde:

$$Q_T = \text{Pérdida de calor total del ambiente} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_t = \text{Pérdida de calor por transmisión} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$Q_e = \text{Pérdida de calor por infiltración de aire exterior} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right]$$

Se considera que las pérdidas de calor por transmisión solo ocurren en las paredes, puertas o ventanas que dan al exterior.

Pérdida de calor por transmisión:

Esta pérdida tiene que ver con el fenómeno de transmisión de calor a través de superficies y viene dada por:

$$Q_t = \left(\sum q_i \right) \cdot (1 + Z_d + Z_h + Z_c)$$

Dónde:

$$Q_t = \text{Pérdida de calor por transmisión} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right]$$

$$q_i = \text{Pérdida de calor por transmisión de cada superficie del ambiente} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right]$$

Z_d = Suplemento por interrupción del servicio

Z_h = Suplemento por orientación

Z_c = Suplemento por pérdidas de calor en conductos y cañerías



La pérdida de calor de cada superficie se obtiene de la siguiente ecuación:

$$q_i = k \cdot A \cdot (t_{int} - t_{ext})$$

Dónde:

$$q_i = \text{Pérdida de calor por transmisión de cada superficie del ambiente} \left[\frac{kcal}{h} \right]$$

$$k = \text{Coeficiente total de transmisión de calor} \left[\frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$A = \text{Superficie} [m^2]$$

$$t_{int} = \text{Temperatura en el interior del ambiente} [^\circ C]$$

$$t_{ext} = \text{Temperatura en el exterior del ambiente} [^\circ C]$$

El coeficiente total de transmisión de calor depende del material y las características constructivas de la superficie a analizar. Se obtiene de tablas o por medio de la siguiente ecuación:

$$k = \frac{1}{\sum R_T}$$

Dónde:

$$k = \text{Coeficiente total de transmisión de calor} \left[\frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$R_T = \text{Resistencia térmica del material} \left[\frac{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}{kcal} \right]$$

El coeficiente K esta tabulado para diversos tipos de construcción o puede calcularse.



CERRAMIENTOS VERTICALES.

1) Mampostería de ladrillos 30 cm de espesor		1,62
2) Mampostería de ladrillos 15 cm de espesor		2,30
3) Pared de 30 cm con 3 cm de cámara de aire		1,31
4) Pared de ladrillos huecos	2 agujeros	11 cm 2,40
		13 cm 2,20
		15 cm 1,95
	3 agujeros	15 cm 1,70
		18 cm 1,64
		21 cm 1,58
		23 cm 1,50
		24 cm 1,45
		28 cm 1,30
5) Bloques de hormigón 20x40 cm-2.000 kg/m ³	8 cm	3,20
	11 cm	2,95
	13 cm	2,70
	16 cm	2,50
	20 cm	2,35
	24 cm	1,85
	1.300/1.500 kg/m ³	14 cm 1,95
		20 cm 1,40
6) Paneles de hormigón de 1.000 kg/m ³	10 cm	1,75
7) Paneles de yeso	7,5 cm	2,10
8) Paneles de viruta de madera aglomerada	5,5 cm	1,75
9) Ventanas con vidrio común		5,00
10) Ventanas con vidrios dobles		2,80

Las resistencias térmicas de los materiales que componen la superficie pueden calcularse mediante:

$$R_T = \sum \frac{e}{\lambda}$$

Dónde:

$$R_T = \text{Resistencia térmica del material} \left[\frac{\text{h.m}^2.\text{°C}}{\text{kcal}} \right]$$

$$e = \text{Espesor [m]}$$

$$\lambda = \text{Coeficiente de conductividad térmica del material} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h.m.°C}} \right]$$

Este último coeficiente se encuentra tabulado en función del material.



Partículas aglomeradas en general			Partículas aglomeradas en general		
	kg/m ³	λ		kg/m ³	λ
Tableros de partículas aglomeradas en general				800	0,115
	200	0,052		900	0,130
	300	0,059		1.000	0,150
	400	0,067	Tablero de fibra de madera aglomerada		
	500	0,075		300	0,047
	600	0,086	Materiales en general		
	700	0,098	Madera en general		
Materiales en general			Hormigones celulares		
Madera en general				300	0,115
(en el sentido perpendicular a las fibras)				400	0,14
	200	0,055		500	0,17
	300	0,072		600	0,20
	400	0,090		700	0,23
	500	0,107		800	0,265
	600	0,125		900	0,30
	700	0,145		1.100	0,39
	800	0,163		1.300	0,50
	900	0,180	Mortero y/u hormigones con agregados livianos		
Metales			(arcilla expandida, vermiculita, perlita, granulado volcánico, etc.)		
Aluminio	2.700	175		300	0,10
Cobre	8.900	330		400	0,12
Zinc	7.100	95		500	0,15
Hierro	7.200	40		600	0,17
Acero	7.800	50		700	0,19
Vidrio				800	0,21
	2.700	0,70		900	0,25
Cerámica				1.000	0,31
baldosas y tejas	1.800	0,60		1.100	0,35
Hormigones				1.200	0,40
(con agregados pétreos de más de 1.500 kg/m³)				1.300	0,45
	1.500	0,61		1.400	0,50
	1.600	0,67		1.500	0,51
	1.700	0,80		1.600	0,57
	1.800	1,05	Mortero de revoques y juntas		
	1.900	1,10		1.800	0,75
	2.000	1,30		2.000	1
	2.200	1,50	Mortero de cemento		
				2.100	1,20

Los suplementos (Z_d , Z_h y Z_c) son valores tabulados que se utilizan para corregir las pérdidas de calor frente a diversas condiciones. El primero depende de los intervalos de interrupción del servicio. Esto es porque el máximo requerimiento energético del sistema se da durante el arranque (hasta que se logra la temperatura deseada). En este caso, el servicio interrumpido, por lo tanto, el valor de este coeficiente resulta:

$$Z_d = 25\%$$



El suplemento por orientación depende de la orientación del ambiente, teniendo en cuenta las paredes que dan al exterior. Su valor se obtiene de la siguiente tabla:

Orientación del ambiente	Z_h %
Este – Oeste	0
Norte – Noreste – Noroeste	-5%
Sur – Sudeste – Sudoeste	5%

El último suplemento se utiliza para contemplar las pérdidas de calor en cañerías. Se adoptó el siguiente valor:

$$Z_c = 5\%$$

Pérdida de calor por infiltración de aire exterior:

La infiltración de aire exterior se produce por la falta de hermeticidad del ambiente y por la apertura de puertas y ventanas. Un valor aproximado de esta pérdida es el siguiente:

$$Q_e = 0,3 \cdot \left[n \cdot \left(\frac{r}{h} \right) \right] \cdot V \cdot (t_{int} - t_{ext})$$

Dónde:

$$Q_e = \text{Pérdida de calor por infiltración de aire exterior} \left[\frac{kcal}{h} \right]$$

$$n \cdot \left(\frac{r}{h} \right) = \text{Número de renovaciones de aire por hora}$$

$$V = \text{Volumen del ambiente} [m^3]$$

$$t_{int} = \text{Temperatura en el interior del ambiente} [^{\circ}C]$$

$$t_{ext} = \text{Temperatura del aire exterior} [^{\circ}C]$$

El número de renovaciones de aire por hora se obtiene de la siguiente tabla:

Tipo de ambiente	$n \cdot \left(\frac{r}{h} \right)$
Sin paredes exteriores	0,5
Una pared exterior con ventana normal	1
Dos paredes exteriores con ventana normal o una ventana grande	1,5
Más de dos paredes exteriores	2



A continuación realizaremos el cálculo de la pérdida de calor por transmisión en una de las paredes y el de la pérdida por infiltración de aire exterior para mostrar el procedimiento y para el resto se utilizara una tabla de Excel de manera de agilizar la tarea de cálculo.

El cálculo se realizara sobre la pared sur del edificio, dicha pared tiene una longitud de 28,5 metros y una altura de 6 metros, por tanto el área es de 171 m² y el coeficiente de transmisión K para paredes de mampostería es de 1,62.

Realizamos el cálculo aplicando la fórmula:

$$q_i = k \cdot A \cdot (t_{int} - t_{ext}) = 1,62 * 171 * (18 - -2,8) = 5762 \frac{kcal}{h}$$

Por tanto la pérdida de calor por transmisión en la pared sur es de 5762 kcal/h.

Ahora procedemos con el cálculo de la pérdida de calor por infiltración de aire exterior.

Para esto aplicamos la ecuación $Q_e = 0,3 \cdot [n \cdot \left(\frac{r}{h}\right)] \cdot V \cdot (t_{int} - t_{ext})$

Como las paredes del edificio dan todas al exterior, el número de renovaciones de aire por hora “n” es igual a 2. El volumen del recinto lo calculamos utilizando el área del piso y multiplicando por la altura media del galpón que serían unos 7 metros y la diferencia de temperaturas es entre el interior y el exterior es de 20,8 °C.

Con los datos anteriores la ecuación de la pérdida de calor por infiltración de aire nos da un total de 44553 kcal/h.



En la tabla siguiente se muestran los resultados de las pérdidas por transmisión para el resto de la edificación:

Local	designación	orientación	Long [m]	área [m ²]	K	ΔT	Qo	zd	zh	Zc	Qt	Qe	QT
Galpón	Pared	O	11	66	1,62	8	855,36						
	Pared	O	6	36	1,62	20,8	1213,06						
	Pared	E	16	96	1,62	20,8	3234,82						
	Pared	E	6	36	1,62	20,8	1213,06						
	Pared	N	8,5	51	1,62	20,8	1718,50						
	Pared	N	15	90	1,62	20,8	3032,64						
	Pared	S	28,5	171	1,62	20,8	5762,02						
	Piso			510	2	10	10200,00						
	Techo			510	5,5	20,8	58344,00						
	Portón F	O	5	20	5,5	20,8	2288,00						
	Portón T	N	5	20	5,5	20,8	2288,00						
						Qo	90149,44	0,25	0,00	0,05	117239,35	44553,60	161792,95

Finalmente el calor total $Q_T = 161793$ Kcal/h.

Para la selección de los calefactores se utilizó la pérdida calor total de la planta menos la aportada por el calefactor industrial con que ya cuenta:

$$Q_T = 161793 - 40000 = 121793 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Del catálogo del fabricante ELEMAK se seleccionó el modelo CDGN60, con una

capacidad de $60000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$, debido a que se colocarán dos calefactores para mejorar la distribución de temperatura la suma del aporte de calor de ambos nos da $120000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$ lo que es prácticamente igual al cálculo que realizamos de la pérdida de calor.

Cabe destacar que no consideramos el calor aportado por las máquinas/herramientas utilizadas para la producción, este aporte lo consideramos como un extra y no se contabiliza debido a que su uso no es continuo ni tampoco se puede estimar en que momento del día se encienden.



Anexo



Bibliografía

1. Varetto, R. H. (2011). *Tuberías*. Buenos Aires: Editorial Alsina.
2. Asociación Electrotécnica Argentina. (2006). *Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles*. (AEA 90364-7-771). Buenos Aires: AEA.
3. Quadri, N. (1999). *Manual de aire acondicionado y calefacción*. Buenos Aires: Editorial Alsina.
4. Nestor Pedro Quadri. (1994) *Instalaciones de gas*. Editorial Alsina
5. Ente Nacional Regulador del Gas. (1989). *Disposiciones y normas para la ejecución de instalaciones domiciliarias de gas dispuestas por ENARGAS*. Buenos Aires: ENARGAS.
6. Baschuk, B. J. / Vaimberg, J. D.(1984). *Criterios de predimensionado y métodos de cálculo de iluminación*. Buenos Aires: Cámara Argentina del libro.
7. IRAM-AADL J. (2006) *Luminotecnia. Iluminación artificial de interiores. Niveles de iluminación*.