

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPTO. ING. MECÁNICA

HABILITACION PROFESIONAL



“Levantamiento de los sistemas neumáticos y de los consumos de aire comprimido dentro del área de convertidores y evaluar posibilidades de respaldo.”

Informe de Habilitación Profesional
presentado en conformidad a los requisitos
para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía: Sr. Reinaldo Sánchez Arriagada.

Profesores Comisión: Sr. Francisco Loyola Lavín.
Sr. Santiago Riquelme Castillo.

NOMBRE DEL ALUMNO: JUAN JOSÉ RÍOS FIGUEROA.

Concepción, 17 de Abril del 2020

Agradecimiento

Agradezco a mí Padre y Madre, los cuales durante toda mi vida me han entregado su esfuerzo, dedicación y amor. Gracias a ellos, a sus consejos sabios y a su apoyo incondicional pude cumplir mi anhelo de estudiar la carrera de Ingeniería Civil Mecánica.

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma han contribuido a la realización de esta habilitación profesional. De manera especial a:

- Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.
- Personal Área Técnica Mecánica ACC.
- Sr. Gastón López B. Jefe Área Técnica Mecánica ACC. Patrocinante y tutor Alumno.
- Sr. Roberto Carrillo M. Encargado Área Técnica Mecánica CC. Supervisor Alumno.
- Sr. Reinaldo Sánchez A. Profesor guía.
- Profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica.

Sumario

El Presente trabajo de habilitación profesional se centró en realizar un estudio de los consumos y de las capacidades de respaldo del aire comprimido dentro del área de acería en la “Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.”, específicamente se buscó determinar la causa de la caída de presión que se origina durante periodos en la producción. Huachipato planteó que existe la necesidad de actualizar el compresor de respaldo de acería, con el fin de modernizar el equipo y satisfacer las necesidades de aire cuando la entrega constante entrante falle; para esto se recomienda el cambio del compresor de respaldo existente.

Se analizó los consumos principales de aire y se identificó consumos sub estándar (consumos irregulares). A partir del seguimiento de la red de distribución y del estudio de los consumos principales, se identificó que la red de distribución cuenta con un suministro constante de aire más una capacidad acumulada que suman $85 \text{ Nm}^3/\text{min}$, las cuales no son suficientes para satisfacer las necesidades de aire comprimido, las que llegan a los $118 \text{ Nm}^3/\text{min}$ durante periodos de operación. Se planteó la eliminación de los consumos irregulares, ya que al ser estos erradicados, se presenta un ahorro del 38% del volumen de aire consumido por minuto, lo que corresponde a un ahorro total anual del 55% del volumen de aire comprimido consumido, que corresponde a \$48.700.400. Por lo que se concluye que eliminado estos consumos irregulares la capacidad acumulada actual es suficiente para alimentar los consumos de aire, garantizando que no exista una baja de presión en la línea.

Se estudió el reemplazo del compresor de respaldo existente por equipos recuperados que se encuentran fuera de funcionamiento en la línea en abandono de planchones, los cuales cumplen los requerimientos técnicos para satisfacer las necesidades de acería. Para esto se propuso dos alternativas de red de conexión, las que correspondieron a la conexión por cañería desde el lugar donde se encuentran estos equipos o el traslado de los equipos al sector donde se encuentra el compresor de respaldo en la actualidad. Tras el estudio técnico realizado, se concluye que la alternativa de traslado de los equipos al sector donde se encuentra actualmente el compresor de respaldo es el proyecto más viable, ya que genera una menor pérdida de carga en la red. La evaluación económica determinó que el proyecto de recuperación de los equipos produce menos costos en relación a la compra de equipos nuevos. Por lo que se concluye que la recuperación y traslado de los equipos es la opción más viable.

Índice General

1.	Introducción	1
2.	Planteamiento del problema.....	2
2.1.	Objetivos generales:	2
2.2.	Objetivos específicos:.....	3
3.	Descripción a la acería.....	4
3.1.	Desarrollo histórico	4
3.2.	Descripción de Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.....	5
3.3.	Proceso de fabricación del acero dentro del área de acería	5
4.	La Neumática industrial.....	8
4.1.	Descripción de la neumática en la industria	8
4.2.	Características del aire comprimido	9
4.3.	Propiedades del aire comprimido.....	10
4.3.1.	Influencia de la temperatura	13
4.3.2.	Presión del aire.....	14
4.4.	Tratamiento del aire comprimido.....	15
4.4.1.	La calidad del aire:	15
4.4.2.	Humedad del aire	16
4.4.3.	Secado.....	18
5.	Diseño red de aire comprimido.....	19
5.1.	Tipos de Compresores	20
5.2.	Distribución del aire comprimido	21
5.3.	Red de distribución:.....	22
5.4.	Pérdida de carga	24
6.	Desarrollo del problema.	26

6.1.	Origen del aire comprimido	26
6.2.	Distribución del aire en planta	28
6.3.	Seguimiento de la red existente en acería	31
6.3.1.	Pérdida de carga línea principal	33
6.3.2.	Compresor Westhinhouse	34
6.3.3.	Consumos principales.....	35
6.3.4.	Consumos durante la producción	42
7.	Alternativas solución.	45
7.1.	Eliminación consumos irregulares	45
7.2.	Reemplazo Compresor Westhinhouse.....	47
7.3.	Recuperación de equipos abandonados en línea abandonada de planchones.....	47
7.3.1.	Alternativa N°1: Extender red de cañerías.	50
7.3.2.	Alternativa N°2: Traslado de equipos	52
8.	Evaluación Económica.	56
8.1.	Análisis de los consumos anuales	56
8.2.	Análisis Económico Alternativa N°2	59
8.2.1.	Equipos Usados:.....	59
8.2.2.	Equipos Nuevos:	60
8.2.3.	Evaluación Económica	61
9.	Conclusión.	62
10.	Bibliografía.....	64
	Anexos	65

Índice de Tablas

TABLA 1. LONGITUD EQUIVALENTE ACCESORIOS.....	25
TABLA 2. COMPRESORES RED COMBUSTIBLES	26
TABLA 3. FLUJO ENTRANTE A ACERÍA	30
TABLA 4. PRINCIPALES EQUIPOS NEUMÁTICOS DENTRO DE ACERÍA.....	38
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS PERFORACIONES EQUIPOS SIN INFORMACIÓN.....	39
TABLA 6. CONSUMOS PRINCIPALES AIRE COMPRIMIDO.....	41
TABLA 7. NÚMERO DE EQUIPOS OPERANDO DURANTE PERIODOS DE OPERACIÓN.	42
TABLA 8. CONSUMO DE AIRE POR MINUTO.....	42

Índice de Figuras

FIGURA 1. COMPRESIBILIDAD	10
FIGURA 2. RED ABIERTA DE DISTRIBUCIÓN	22
FIGURA 3. RED CERRADA DE DISTRIBUCIÓN.....	23
FIGURA 4. MANÓMETRO SALIDA AIRE DESDE INDURA.....	27
FIGURA 5. P.I SYSTEM COMBUSTIBLES.....	28
FIGURA 6. CAUDALÍMETRO ULTRASÓNICO FLEXIM G704	29
FIGURA 7. ESQUEMA RED EXISTENTE ACERÍA	31
FIGURA 8. PLANO N°1	32
FIGURA 9. MANÓMETRO ENTRADA ACERÍA (6.3 BAR)	33
FIGURA 10. MANÓMETRO TALLER DE LUBRICACIÓN (5.1 BAR).....	33
FIGURA 11. MÁQUINA PERFORADORA.....	35
FIGURA 12. MÁQUINA MONOCON.....	36
FIGURA 13. SLAG STOPPER	36
FIGURA 14. DESCANSO ROTOR AXIAL KKK (A) Y (B).....	37
FIGURA 15. FRAGMENTO PLANO SELLO DE ADICIONES	39
FIGURA 16. COMPRESOR ATLAS COPCO GA75	48
FIGURA 17. SEPARADOR DE CONDENSADO "HB (GRAU)-0220G"	48
FIGURA 18. SECADOR DE AIRE POR ENFRIAMIENTO "HB DPRE-0200"	48

FIGURA 19. ESQUEMA ALTERNATIVA N°1	50
FIGURA 20. PLANO TOPOGRÁFICO ALTERNATIVA N°1	50
FIGURA 21. FRAGMENTO PLANO N°2	51
FIGURA 22. ESQUEMA ALTERNATIVA N°2	52
FIGURA 23. PLANO TOPOGRÁFICO ALTERNATIVA N°2.....	52
FIGURA 24. ÁREA DISPONIBLE SECTOR DESGASIFICADO (40 M ²)	54
FIGURA 25. FRAGMENTO PLANO N°3	54

Índice de Gráficos

GRÁFICO 1. CONSUMOS ACTUALES DE AIRE.....	43
GRÁFICO 2. CONSUMOS DE AIRE DURANTE OPERACIÓN DE DOS CONVERTIDORES.	44
GRÁFICO 3. AHORRO EN LOS CONSUMOS DE AIRE.	45
GRÁFICO 4. CONSUMO TOTAL DE AIRE DESPUÉS DE ELIMINAR CONSUMOS IRREGULARES.....	46
GRÁFICO 5. CAPACIDAD ACUMULADA AL IMPLEMENTAR LA ALTERNATIVA N°2	53
GRÁFICO 6. CONSUMOS ANUALES DE AIRE COMPRIMIDO.....	58

Índice de Anexos

ANEXO 1. PLANO SELLO ADICIONES	66
ANEXO 2. EVALUACIÓN TÉCNICA EQUIPOS PLANCHONES	67
ANEXO 3. MANUAL MÁQUINA ALIVA.....	68
ANEXO 4. MANUAL SLAG STOPPER.....	69
ANEXO 5. MANUAL MÁQUINA COLOCADORA DE DARDOS.....	70
ANEXO 6. PLANO N°1 (ISOMÉTRICO RED DE DISTRIBUCIÓN EXISTENTE)	71
ANEXO 7. PLANO N°2 (ALTERNATIVA N°1)	72
ANEXO 8. PLANO N°3 (ALTERNATIVA N°2)	73

1. Introducción

El proyecto se desarrolló en Compañía Siderúrgica Huachipato S.A, específicamente en el área de Acería, para lo cual se necesitó determinar el tipo de actividad que ahí acontece, los consumos que se utilizan en los distintos procesos, obteniendo así los datos de caudal y presión que son las variables fundamentales a desarrollar y satisfacer.

Acería es el área encargada de transformar el arrabio (mineral fundido de hierro) en acero, para esto requiere el uso de grandes cantidades de energía y de suministro constante materias primas y de diversos tipos de gases, los que son utilizados durante las diversas etapas de producción.

Uno de estos gases es el aire comprimido , el cual es suministrado de manera constante a través de la conexión a la red de suministros. Actualmente no se tiene un dato real de los consumos y capacidad de aire requeridos por el área.

El trabajo tiene lugar debido a la carencia de información de los consumos reales de aire comprimido en el área de acería, debido a constantes modificaciones a la red de distribución y a la instalación de nuevos equipos que producen una caída de presión en la línea. El sistema actual de aire comprimido alimenta equipos, actuadores y válvulas; la idea es identificar estos consumos, determinar la causa de la pérdida de presión en la línea y evaluar si la capacidad de respaldo instalada es suficiente para satisfacer estos requerimientos de caudal y presión.

La compañía presenta gran interés en actualizar los sistemas de respaldos de aire comprimido al recuperar ciertos equipos que se encuentran fuera de servicio, por lo que evaluará técnica y económicamente la viabilidad de estas alternativas solución.

2. Planteamiento del problema.

En el proceso de fabricación del acero se emplean diversos gases, dentro de estos se encuentra el aire comprimido.

El aire dentro de Acería cumple la función de ser un medio de transporte de energía para el accionamiento de los diversos equipos neumáticos, siendo también utilizado como medio separador de ambiente y fluido enfriador de ciertos equipos.

Debido a un aumento en los consumos de aire y a la instalación de nuevos arranques y modificaciones a la red de aire original, se ha observado una baja de presión, lo que trae como consecuencia una disminución en la presión y en la velocidad de movimiento de cierta maquinaria neumática presente en el proceso de producción.

Con el paso de los años, la red de aire sufrió diversas modificaciones, de las cuales no se tiene un registro formal, por lo que hace necesario hacer un seguimiento desde el origen del aire comprimido hasta los principales consumos de aire, además de establecer un sistema de respaldo que sea capaz de satisfacer las necesidades del área.

2.1. Objetivos generales:

Realizar un levantamiento de los sistemas neumáticos que en la actualidad se encuentran en operación en el área de acería, observar el consumo de estos equipos y evaluar si la capacidad de respaldo actual instalada es suficiente para la alimentación de estos sistemas.

2.2. Objetivos específicos:

En la actualidad la empresa posee grandes consumos en los sistemas de limpieza de gases contaminantes y en sellos de aire en el proceso de adiciones en los convertidores. Hoy en día, el aire comprimido es comprado como servicio de suministro externo.

Se propone realizar:

- Plano isométrico de la red principal de distribución de aire comprimido dentro de acería.
- Identificación y cálculo de los consumos principales de aire comprimido presentes.
- Evaluar remplazo de compresor de respaldo, considerando la posibilidad de auto solventar los consumos de aire a través de compresores y acumuladores, con el fin de garantizar una presión y un caudal de trabajo óptimo a cada equipo.
- Diseñar la red de conexión de esta alternativa de respaldo.
- Realizar un análisis económico de los consumos de aire dentro de acería, así como también de la viabilidad económica del proyecto.

3. Descripción a la acería.

3.1. Desarrollo histórico

La idea de soplar con oxígeno puro para convertirlo en acero, fue concebida por Bessemer a mediados del siglo XVIII, pero las dificultades para obtener oxígeno puro impidieron desarrollarla. El proceso Linde-Frankl, para producir económicamente grandes cantidades de oxígeno de alta pureza, revivió la idea de Bessemer.

Los primeros esfuerzos para soplar arrabio según la idea de Bessemer (soplando por el fondo a través de toberas refractarias), fracasaron rotundamente, debido a que la elevada temperatura alcanzada en las toberas las destruía rápidamente

Esa dificultad fue superada en 1948, mediante la introducción del método de soplado superior, el que sopla la superficie del baño fundido mediante una lanza metálica refrigerada con agua, introducidas por la boca del convertidor. Esto ubica la zona de reacciones, de elevada temperatura, en el centro del convertidor, lejos del fondo y de las paredes vulnerables. Esta innovación marcó el nacimiento del proceso de fabricación de acero en convertidores básicos con oxígeno.

Las primeras instalaciones industriales que usaron esta práctica de soplado fueron constituidas en Australia, LINZ en 1952 y DONAWITZ en 1953. Por esta razón a este proceso en todo el mundo ha sido extraordinario. Este crecimiento sin precedentes se debe al menor capital invertido, mayores cantidades de producción y menores costos de operación para producir acero, comparado con los procesos tradicionales en hornos SIEMENS MARTIN o ELECTRICOS.

3.2. Descripción de Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.

CAP Acero - Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. - es una empresa del Grupo CAP y la principal industria productora de acero en Chile. La siderúrgica está ubicada en Talcahuano, a orillas de la Bahía de San Vicente, y se ha destacado por su positivo impacto productivo, económico y social en la Región del Biobío.

Desde 1950 la Compañía lidera el negocio del acero en Chile y actualmente tiene una capacidad de producción de 800.000 toneladas de acero líquido/año. CAP Acero es la única siderúrgica integrada del país, lo que significa que elabora acero a partir de materias primas básicas, como el mineral de hierro, el carbón y la caliza, lo que garantiza productos de alta pureza y calidad controlada.

A través de una variada gama de productos de reconocida calidad, CAP Acero contribuye al crecimiento del país. Abastece a importantes sectores de la economía, principalmente a la minería, la industria metalmecánica y la construcción.

Actualmente su producción está orientada a productos largos, como las barras de molienda, el alambro, las barras para refuerzo de hormigón y los aceros especiales, entre otros.

3.3. Proceso de fabricación del acero dentro del área de acería

La Producción del acero por soplado de arrabio ocurre en los convertidores. Existen dos tipos, el Básco y el Bessemer, ambos tienen una notoria similitud. El horno en forma de barril está montado en muñones que le permiten rotar completamente alrededor de un eje horizontal. La carcasa de acero que su parte inferior cerrada y cóncava, la parte del medio es cilíndrica y la parte superior cónica que se ensancha concéntricamente hacia una nariz o boca. En la parte inferior del cono se ubica un tubo de sangría que posibilita la separación del acero de la escoria durante el sangrado de la hornada. La carcasa de acero está protegida por ladrillos refractarios.

Exactamente sobre la boca del convertidor en posición vertical, se instala una campana colectora de gases. La lanza de oxígeno, refrigerada con agua, pasa a través de un agujero de la campana y puede ser introducida o retirada del convertidor mediante un carro de recorrido vertical. En caso que ocurra

alguna falla en la lanza en operación, existe una de repuesto, que puede ser puesta en operación de trabajo.

Estando en operación, es rotado hasta el lado de carga y recibe cantidades predeterminadas de chatarra y arrabio. Normalmente, la única fuente de calor para el proceso la contiene el arrabio. Esto limita la cantidad de chatarra que puede fundirse. Las cargas generalmente van de 70% a 75% de arrabio, el resto consiste en diversas mezclas de chatarras. Después de cargar el convertidor, es girado a la posición vertical para introducir la lanza de oxígeno por la boca del convertidor y comenzar el soplado de oxígeno. El encendido de la carga ocurre casi inmediatamente después de iniciado el soplado. Al encendido, detectado visualmente, le sigue la adición de materiales de refinación. Estos fundentes, que han sido pesados con anterioridad, son adicionados al convertidor a través de un chute que pasa a través de la campana colectora de gases.

El descanso de la lanza se hace en incrementos, de manera que se pueda abrir un camino a través de trozo de chatarra que pudieran extenderse sobre el nivel normal de la carga. El oxígeno a velocidad supersónica, choca directamente sobre la carga y proporciona una acción tanto física como química al proceso de refinación.

Durante el soplado, se desprenden del baño grandes cantidades de gases (especialmente monóxido de carbono y dióxido de carbono), humos de óxidos de hierro y polvo de cal y dolomita. Todos ellos son arrastrados a través de la campana colectora, refrigerada con agua, por un ventilador de tiro inducido ubicado en el extremo posterior del sistema de limpieza de gases. Sistema de absoluta necesidad por la acción contaminadora de estos gases y humos. En la campana colectora, el calor latente de los gases genera vapor, el que en este caso es liberado a la atmósfera cuando alcanza una presión predeterminada en los acumuladores. Desde la campana los gases pasan al sistema de limpieza, antes dicho, antes de ser expulsados a la atmósfera.

Cuando se ha soplado la cantidad predeterminada de oxígeno, normalmente 16 a 20 minutos de soplado, el flujo de oxígeno se detiene y se retira la lanza. El convertidor es girado nuevamente hacia el lado de carga para medir la temperatura del baño y tomar muestras de acero y escoria para someterlos a análisis. Mayor ajuste de la temperatura y/o carbono puede hacerse mediante resoplados cuando sea necesario. Si los resultados de la medición y ensayos corresponden a las especificaciones

pedidas, el convertidor es girado hacia el área de vaciado y el acero vaciado a través del tubo de sangría a la cuchara colocada sobre un carro de traspaso ubicado al nivel de terreno. Las adiciones de ferroaleaciones, predeterminadas, se agregan a la cuchara durante el sangrado de la hornada; ciertos aceros especiales requieren adiciones previas al convertidor.

Una vez que el acero se ha vaciado totalmente a la cuchara y una delgada capa de escoria lo cubre, se gira el convertidor hacia el lado de carga para vaciar la escoria remanente a una olla escoriera, colocada sobre un carro de traslado que corre sobre la misma línea férrea que usa el carro de traspaso de acero.

El convertidor está entonces en condición para recibir la carga para la hornada siguiente. Mientras tanto el carro de traspaso de la cuchara con acero se ha colocado en el área de vaciado, donde una grúa levanta la cuchara y vacía el acero en la forma convencional. Así mismo, el carro con la olla escoriera se coloca al alcance de la grúa de carga, la que levanta la olla escoriera y la vuelva en un área destinada a este fin o la coloca sobre carros que la retiren de la acería para volcamiento externo.

4. La Neumática industrial.

4.1. Descripción de la neumática en la industria

Desde tiempos antiguos, el aire es utilizado como medio que permite el transporte de energía. “Los términos neumáticos y neumática provienen de la palabra griega Pneuma, que significa aliento o soplo. En su acepción original, la neumática se ocupa de la dinámica del aire y de los fenómenos gaseosos, pero la técnica ha creado de ella un concepto propio, pues en neumática solo se habla de la aplicación de la sobrepresión o de la presión de (vacío)”. “Como derivación de la palabra Pneuma se obtuvo, entre otras cosas el concepto Neumática que trata los movimientos y procesos del aire”.

A partir de mediados del siglo XIX, empieza la utilización de las primeras máquinas neumáticas en talleres y astilleros en EEUU y posteriormente en Alemania. El desarrollo de esta nueva forma de transporte de energía fue rápidamente difundido en el ámbito industrial; de hecho, en la actualidad ya no se concibe un proceso industrial moderno sin la utilización de la neumática.

La neumática constituye una herramienta importante de control dentro de los procesos industriales que se requiere generar algún movimiento, tales como desplazamientos, rotación, levantar, prensar, etc. Considerando las medidas de control tales como velocidad, dirección y fuerza.

El aire comprimido junto a la corriente eléctrica, son las fuentes de energía más importantes dentro de los procesos industriales; gracias a su gran aplicación, hace de ella un soporte incuestionable para alcanzar la automatización en la industria.

El aire comprimido posee grandes ventajas como medio de transporte de energía, dentro de las cuales se encuentra que es un medio seguro de transporte, debido a que es incombustible y no es inflamable, por lo que no existe peligro alguno de explosión.

4.2. Características del aire comprimido

El aire comprimido es aire atmosférico sometido a presión, físicamente incoloro, insípido e inoloro, compuesto por lo general en un 78% de Nitrógeno, un 21% de Oxígeno y en un 1% de otros gases.

La presión del aire atmosférico depende de la altura geográfica. Como altitudes de referencia para la presión y la temperatura del aire suelen darse las siguientes: $P_0 = 1.013$ bar y $T_0 = 20^\circ\text{C}$ (condiciones estándar).

En sistema de aire comprimido se divide en dos partes:

- **Suministro:** Compuesto principalmente del compresor, el motor del compresor, controladores, depósitos y equipo de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento, etc.
- **Demanda:** Formado por los conductos principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, etc.

Tanto los elementos del suministro como los de la demanda tienen sus necesidades específicas, tanto de mantenimiento como de consumo de aire.

4.3. Propiedades del aire comprimido

La utilización del aire comprimido como medio de transporte de energía trae consigo ciertos inconvenientes, tales como:

- Preparación: El aire comprimido debe ser filtrado, libre de impurezas y de humedad, con el fin de evitar el desgaste apresurado de los elementos.
- Compresible: al ser un gas, el aire tiene la propiedad de ocupar todo el volumen del recipiente o ambiente que lo contenga. Sin embargo, el aire permite ser comprimido considerando una reducción de su volumen.

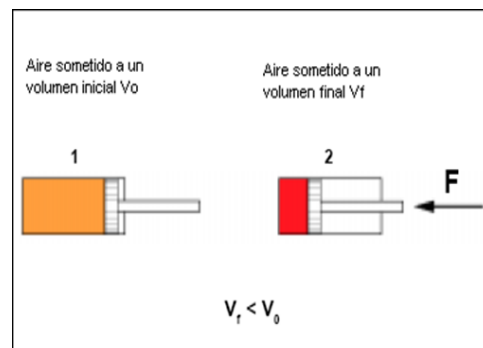


Figura 1. Compresibilidad

La ley que rige estos principios es la de Boyle-Mariotte, la cual señala que, a temperatura constante, el volumen de un gas encerrado en un recipiente es inversamente proporcional a la presión absoluta; o sea, el producto de la presión absoluta y el volumen es constante para una cantidad determinada de gas.

- Fuerza: El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente usual de 700 kPa (7 bar), el límite también, en función de la carrera y la fuerza es de 20.000 a 30.000 N.
- Volumen: El volumen del aire depende en gran parte de la presión a la que se encuentra sometido. No obstante, los cambios de volumen son muy poco relevantes si los gases fluyen a

una velocidad inferior a 340 m/s, a esta velocidad podemos afirmar que el aire tiene un volumen constante.

El comportamiento del aire comprimido a una temperatura entre 0°C a 20°C, sometido a presiones inferiores a 30 bar, es similar al de un gas ideal.

- Caudal: Las velocidades y el caudal son inversamente proporcionales a los diámetros, siempre y cuando no varíe la cantidad del caudal.

En los sistemas neumáticos, el caudal del aire representa el consumo de los equipos conectados a la red neumática. La unidad básica para el caudal es el Normal Metro Cúbico por segundo (Nm^3/s). En la neumática práctica, los volúmenes se expresan en términos de litros por minuto (l/min).

El caudal es una referencia para el rendimiento o, para ser más precisos, para el rendimiento necesario, la medición de caudal bajo condiciones reales suele referirse a m^3/s , teniendo en cuenta la altura, temperatura y humedad del lugar.

Cuando el valor de caudal es expresado en metros cúbicos estándar (Sm^3/s), las condiciones de funcionamiento del compresor son las definidas como estándar, presión 101,300 kPa (14,7 psi), temperatura 20°C y humedad relativa de 0%.

Igualmente pueden emplearse Nm^3/s (metros cúbicos normales por segundo). La principal diferencia entre condiciones normales y condiciones estándar es que, las condiciones estándar la temperatura y humedad relativa de la última son 0 °C y 36%, respectivamente.

Cualquier desviación o derivación del tubo, o la presencia de válvulas, accesorios o instrumentos de medición provocan remolinos, por lo que se debe disponer de tubos con las paredes interiores lo más lisa posible, y que la configuración de la red sea de tal modo que oponga la mínima resistencia al flujo. El índice de Reynolds indica el límite entre caudal laminar y caudal turbulento.

Para calcular la velocidad media del flujo se debe utilizar la siguiente formula:

$$v_m = \frac{\dot{m}}{A} * V_{esp} \quad (\text{Ec 1})$$

\dot{m} : Flujo másico (kg/s)

V_{esp} : Volumen específico (m³/kg)

A : Sección del tubo (m²)

Si se desea calcular el número de Reynolds se deberá aplicar la siguiente formula:

$$R_e = \frac{v_m * d}{\nu} \quad (\text{Ec 2})$$

v_m : Velocidad media (m/s)

d : Diámetro de la tubería (m)

ν : Viscosidad cinemática (m²/s)

4.3.1. Influencia de la temperatura

La interdependencia existente entre el volumen específico V (m^3/kg), la presión p (N/m^2) y la temperatura T ($^{\circ}\text{C}$) se expresa mediante la ecuación general para el estado de los gases. Esta ecuación se obtiene combinando las leyes de Boyle, de Mariotte y de Gay-Lussac. Suponiendo que p , V y T cambian al mismo tiempo, son válidas las siguientes ecuaciones:

- Modificación de la presión p_1 a p_2 , sin cambiar la temperatura T_1 (según la ley de Boyle y Mariotte)

$$\frac{V_a}{V_x} = \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{Ec 3})$$

V_x : Volumen específico en calidad de estado pasajero.

- Modificando la temperatura T_1 a T_2 , sin cambiar la presión P_2 (según Gay-Lussac).

$$\frac{V_x}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{Ec 4})$$

Combinando estas ecuaciones, se obtiene el cambio general de estado:

$$\frac{p_2 * V_2}{T_2} = \frac{p_1 * V_1}{T_1} = \text{CONSTANTE} = R_1 \quad (\text{Ec 5})$$

La constante del aire es $R=287$ ($\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{K}$)

4.3.2. Presión del aire

La presión, es la fuerza que actúa sobre una superficie, la cual se mide según el sistema internacional en pascal (Pa).

Al definir el concepto de presión para un fluido confinado, podemos señalar que es el choque de las partículas de este fluido con las paredes del recipiente que lo contiene. Al comprimir el fluido, el choque entre las partículas aumenta, aumentando de esta manera la presión.

El instrumento utilizado para registrar el diferencial de presión entre la presión de un recipiente y la presión atmosférica es el manómetro.

- **Presión Atmosférica (o Presión Barométrica):** Presión atmosférica absoluta que existe en la superficie de la tierra. Esta presión varía según la altura y los contenidos de vapor de agua. A nivel del mar la presión es de 1bar.
- **Presión Manométrica:** Medida de presión sobre la presión atmosférica, esta presión es la que se observa en los manómetros.
- **Presión Absoluta:** Medida sobre la presión de vacío.
- **Presión de Vacío:** Presión resultante por debajo de la presión atmosférica, por lo general es de carácter negativo. Normalmente la presión de vacío se expresa en pulgadas de agua o de mercurio.
- **Presión Diferencial:** Presión que representa la diferencia entre dos presiones absolutas.
- **Sobrepresión:** Presión que es superior a la presión atmosférica, considerando que ésta representa el valor cero.
- **Presión de Flujo:** Presión en la unidad consumidora en el momento de la toma de aire comprimido.

4.4. Tratamiento del aire comprimido

El aire que es aspirado por el compresor, no siempre es apto para su uso inmediato ya que se encuentra lleno de partículas en suspensión y de humedad, así como también, por el proceso de compresión, el aire aumenta su temperatura, lo que aumenta la capacidad de este para absorber humedad. Para que estos agentes no deseados no sean transportados por la red, es necesaria realizar operaciones de preparación y tratamiento del aire con el fin de reducir a niveles aceptables la humedad y a eliminar impurezas.

4.4.1. La calidad del aire:

El aire no es una sustancia química pura, sino una mezcla de gases. Por este motivo, se puede separar en sus constituyentes, por ejemplo, mediante enfriamiento.

El aire atmosférico está siempre más o menos contaminado de partículas sólidas en suspensión, como polvo, arena, carbonilla y cristales salinos. El grado de contaminación es mayor en zonas habitadas e industriales, y menor en zonas rurales.

En general, se utilizan 4 niveles de calidad en función de su aplicación. En la industria se utiliza alguno de los tres primeros, como enseguida se describe:

1. Aire de planta: Aire que puede estar relativamente sucio y húmedo. Por sus características, es empleado en herramientas neumáticas y para usos generales.
2. Aire para instrumentos: Aire con cantidades de humedad y suciedad moderadas, por lo que es usado en laboratorios, sistemas de aplicación de pintura por rocío o pintura en polvo, controles de climas, etc.
3. Aire de proceso: Aire con muy poca humedad y casi nula suciedad; por sus características, es utilizado en la industria química, alimenticia, farmacéutica y electrónica.
4. Aire para respiración: Aire sin humedad y totalmente libre de aceite y polvos, por lo que se usa para recargar tanques de equipos de buceo, en hospitales, consultorios dentales, etc.

4.4.2. Humedad del aire

Punto de rocío

El punto de rocío o, también, punto de condensación, es la temperatura en la que el aire está saturado de vapor de agua. Esta saturación completa corresponde a una humedad relativa del 100%. En el momento en que la temperatura del aire es inferior a ese punto, empieza la condensación del aire húmedo a una determinada presión.

Si las temperaturas son inferiores a cero grados centígrados, se forma hielo. Este fenómeno puede limitar considerablemente el caudal y el funcionamiento de los componentes incluidos en una red neumática. Cuanto menor es el punto de rocío, tanto menor es la cantidad de agua que puede retener el aire. El punto de rocío depende de la humedad relativa del aire, de la temperatura y de la presión, aplicándose lo siguiente:

- Cuanto más alta es la temperatura, más vapor de agua es capaz de retener el aire.
- Cuanto más alta es la presión, menos humedad contiene el aire.

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \times (112 + 0.9 \times T) + (0.1 \times T) - 112 \quad (\text{Ec } 6)$$

Pr : Punto de rocío.

T : Temperatura en grados Celsius.

H : Humedad relativa (expresada en tanto por ciento)

El punto de condensación bajo presión

El punto de condensación bajo presión es un criterio que se utiliza, por ejemplo, para comparar el rendimiento de diversos tipos de secadores de aire. El punto de condensación bajo presión corresponde a la temperatura que se aplica para obtener una determinada presión de funcionamiento. Si se reduce la presión del aire comprimido hasta alcanzar la presión atmosférica, el aire aumenta de volumen. Por ello, el punto de rocío del aire a presión atmosférica es inferior al punto de condensación bajo presión,

suponiendo que la temperatura se mantiene constante. Si, por ejemplo, el aire tiene un punto de condensación bajo presión de +5 °C, no puede condensar agua mientras que la temperatura ambiente sea superior a +5 °C. En el momento en que el aire comprimido tiene una temperatura inferior a esos +5 °C, se produce condensado.

Humedad máxima del aire ($f_{\text{máx}}$ en g/m^3)

La humedad máxima del aire corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire (cantidad de saturación) a una determinada temperatura.

Humedad absoluta del aire (f en g/m^3)

La humedad absoluta del aire corresponde a la cantidad de vapor de agua realmente contenida en un metro cúbico.

Para determinar el punto de rocío se puede recurrir al diagrama de Mollier. La curva separa la zona de aire húmedo no saturado de la zona de líquido, hielo o niebla. Sin embargo, antes de utilizar el diagrama, es necesario conocer el contenido de agua del aire húmedo, expresado en gramos por kilogramo.

Para calcular el contenido de agua, puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$X = 0.622 \times \frac{\varphi_{rel} \times p_s}{p - \varphi_{rel} \times p_s} \times 10^3 \text{ en } \text{g}/\text{kg} \quad (\text{Ec } 7)$$

P : Presión absoluta total en bar.

φ_{rel} : Humedad relativa ($\varphi_{rel}=0$ hasta 1.0).

p_s : Presión de saturación con vapor en bar.

La presión p_s del vapor de agua contenido en el aire únicamente depende de la temperatura. Si se quiere expresar el agua que contiene el aire en g/m^3 , deberá multiplicarse el resultado de la ecuación anterior por la densidad del aire p_v . Sin embargo, la densidad del aire no tiene un valor constante. Por ello, para simplificar la operación, se calcula con la densidad normalizada p_N . El catálogo Festo ha determinado que esta densidad es de $1,292 \text{ kg/m}^3$. La norma DIN 24312 establece que $p_N=1.185 \text{ kg/m}^3$. Después de determinar finalmente el contenido de agua, se puede utilizar el diagrama de Mollier.

La humedad relativa del aire (W_{rel}): Es la relación entre el contenido real de vapor de agua y el contenido máximo posible de vapor de agua en el aire (estado de saturación).

$$W_{rel} = \frac{\text{Humedad absoluta del aire } (f)}{\text{Cantidad de Saturación } (f_{max})} \times 100 \quad (\text{Ec } 8)$$

Considérese que cualquier cambio de temperatura provoca una modificación de la humedad relativa, aunque se mantenga igual la humedad absoluta del aire.

4.4.3. Secado

Ya conocida la cantidad de agua presente en el aire, se hace importante conocer los distintos procesos de secado del aire a la salida del compresor.

A continuación, se presentan los procesos de secado de aire :

- **Secado por enfriamiento:** Se basa en la reducción de la temperatura del punto de rocío. En este caso la temperatura del aire disminuye por efecto de un agente refrigerante, con el fin de formar condensado y disminuir el contenido de agua en el aire.
- **Secado por absorción:** Es un sistema químico que atrae la humedad. Este químico es una solución salina a base de cloruro de sodio. Su construcción es sencilla, pero requiere un constante suministro de la solución salina.

- **Secado por adsorción:** En el proceso de secado por adsorción, las moléculas del gas o del vapor se enlazan debido a las fuerzas moleculares. El agente secante es un gel que también se consume, aunque es regenerable. Por ello se necesitan dos depósitos de secado para que los procesos de secado y de regeneración se lleven a cabo simultáneamente.

La regeneración puede conseguirse en frío o en caliente. Los secadores con regeneración del agente frío cuestan menos, pero su funcionamiento es menos rentable.

5. Diseño red de aire comprimido.

Al diseñar una red de aire comprimido es necesario tomar ciertas decisiones, de modo que esta se adapte a las necesidades del usuario, ofrezca la máxima economía de funcionamiento y esté preparada para una posible ampliación.

Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes:

- Suministro: Formado por el paquete de compresión (compuesto por el compresor, el motor del compresor, controladores) y depósitos y equipo de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento, etc.
- Demanda: Compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, etc.

Cada uno de los elementos mencionados, tanto del suministro como de la demanda, tienen una aplicación específica para el mejor desempeño del sistema y, en cada caso, se deberá cuidar su funcionamiento a través de un adecuado mantenimiento

Según los manuales técnicos de aire comprimido de Atlas Copco, se hace necesario calcular las necesidades de aire, la capacidad de reserva, considerar las fugas (10%) y la capacidad para que la red soporte ampliaciones futuras (20%). La presión de trabajo es un factor crítico, ya que afecta de forma significativa al consumo de energía.

Los equipos neumáticos de una instalación determinan la presión de trabajo necesaria, en este caso particular, Huachipato solicita que garantizar una presión óptima de trabajo de 6 bar.

Se debe tener en cuenta que la caída de presión aumenta rápidamente con el incremento del caudal consumido. Si se prevén cambios de consumo, tiene sentido, desde el punto de vista económico, adaptar la instalación a estas condiciones.

5.1. Tipos de Compresores

Para realizar el proceso de compresión del aire existen diversos tipos de equipos, dentro de los cuales se encuentran dos grandes grupos, constituidos por los siguientes tipos de compresores:

- Compresores de desplazamiento.
 - o Compresores de desplazamiento.
 - o Compresores de pistón.
 - o Compresores de pistón exentos de aceite.
 - o Compresor de diafragma.
 - o Compresores de tornillo.
 - o Compresores de uña.
 - o Compresores scroll.
 - o Compresores de paletas.

- Compresores dinámicos:
 - o Compresores dinámicos en general
 - o Compresores centrífugos
 - o Compresores axiales

Acería cuenta con un compresor a pistón marca Westhinhouse, este tipo de compresor es uno de los más antiguos y común de todos los compresores industriales. Los compresores a pistones se encuentran disponibles en variantes de simple o doble efecto, lubricado o exento de aceite y con

diversos números de cilindros en diferentes configuraciones. Con la excepción de algunos compresores muy pequeños con cilindros verticales, la configuración en V es la más habitual en compresores de pequeño tamaño. En los compresores grandes de doble efecto, la configuración en L con cilindro vertical de baja presión y con cilindro horizontal de alta presión, ofrece unas ventajas inmensas que lo han convertido en el diseño más corriente. Los compresores lubricados con aceite funcionan normalmente con lubricación por salpicadura o lubricación a presión. La mayoría de los compresores tienen válvulas auto accionadas.

5.2. Distribución del aire comprimido

La red de aire está compuesta por un conjunto de cañerías y accesorios, unidos entre sí y que conducen el aire comprimido hacia los distintos equipos. La red debe considerar la velocidad de circulación y la caída de presión que ocurre en las cañerías y accesorios.

- **Acumulador de aire comprimido:** Depósito que conserva el aire que sale del compresor y lo almacena para ser usado posteriormente por los centros de consumo. Su importancia radica en mantener una presión relativamente estable, hecho que no asegura en todo momento el compresor, a su vez, disminuye los ciclos de funcionamiento del compresor. En una instalación, pueden incluirse uno o más receptores (acumuladores o tanques pulmón) de almacenamiento de aire. Su tamaño se calcula en función de la capacidad del compresor, el sistema de regulación y los requisitos del patrón de consumo de aire. El depósito de aire forma una zona de almacenamiento intermedio para el aire comprimido que absorbe las variaciones debidas al funcionamiento intermitente del compresor, enfría el aire y acumula la condensación. En consecuencia, el acumulador de aire debe estar equipado con un dispositivo de drenaje de condensados.
- **Cañería Principal:** Es la cañería que sale desde el acumulador. Según el catálogo Hesse, esta cañería debe ser del mayor diámetro posible, no superando las 3.5 in El aire fluye en su interior a una velocidad máxima de 8 (m/s).
- **Cañería Secundaria:** Toma el aire de la cañería principal, ramificándose a las distintas zonas de trabajo y de servicio. El aire fluye en su interior a una velocidad máxima de 15 (m/s).

- **Cañería de Servicio:** Encargada de alimentar directamente los equipos neumáticos. Dentro de esta categoría se encuentran también las mangueras y las conexiones con acoples rápidos. El aire fluye en su interior a una velocidad máxima de 20 (m/s).
- **Accesorios:** Componentes de la red que se utilizan para unir, dar dirección o controlar el caudal dentro de las cañerías. Cada uno de estos accesorios produce una pérdida de presión, denominadas pérdidas singulares.

5.3. Red de distribución:

Existen dos tipos de red que se pueden implementar para realizar la distribución del aire en una planta, las que corresponden a:

- **Red abierta de distribución:** Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las cañerías secundarias y las de servicio. Es posible implementar inclinaciones en la red para facilitar la eliminación de condensado. La instalación de esta red presenta una baja inversión inicial. La principal desventaja de este tipo de redes es su mantenimiento. Ante una separación es posible que se detenga el suministro de aire "aguas abajo" del punto de corte lo que implica una detención de la producción.

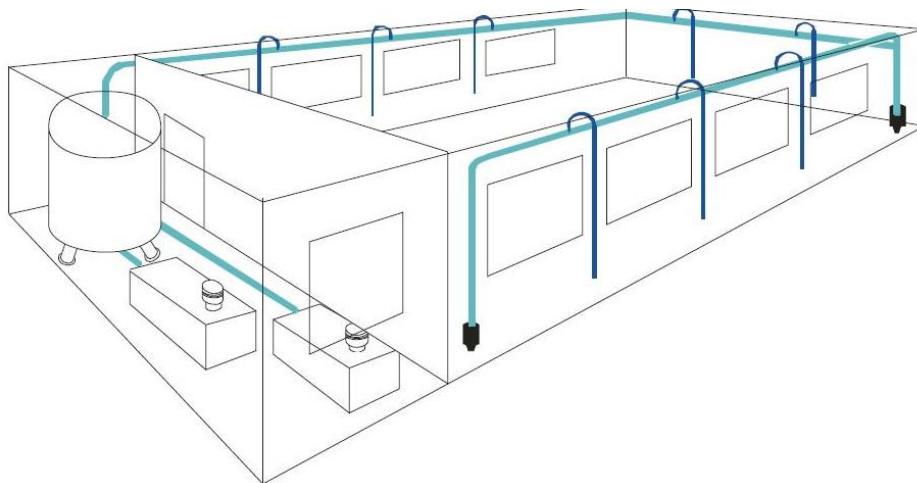


Figura 2. Red abierta de distribución

- **Red Cerrada de distribución:** En esta configuración la línea principal constituye un anillo. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo, con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción. Una desventaja importante de este sistema es la falta de dirección constante del flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de accesorios de una red son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto, un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría.

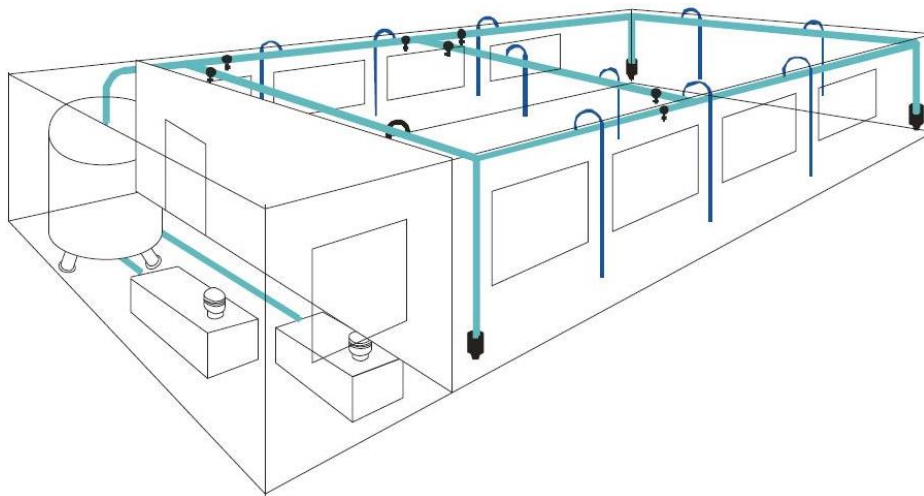


Figura 3. Red cerrada de distribución

5.4. Pérdida de carga

Para calcular la pérdida de carga ocurrida por el escurrimiento del aire en el interior de las tuberías ocuparemos la siguiente ecuación:

$$\Delta p = \frac{450 \times L_{total} \times \dot{V}_{aire}^{1.85}}{p \times d^5} \quad (\text{Ec 9})$$

Δp : Caída de presión en (bar).

p : Presión absoluta a la entrada (bar).

L : Largo Total (m).

d : Diámetro interior (mm).

\dot{V} : Flujo de aire aspirado (lt/s).

Para determinar el largo total realizaremos la suma de la longitud de la tubería más la longitud equivalente de cara accesorio.

$$L_{total} = L_{tuberia} + L_{equivalente}$$

Estas longitudes se ven representadas según la siguiente tabla (cañería 80 mm diámetro interior) :












Longitud equivalente de tubería en metros											
Componentes	Diámetro interior de tubería en mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	250	300	400
Válvula de bola abierta 100% 	0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 16	1.3 20	1.8 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válv. diafragma abierta 100% 	1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válv. angular abierta 100% 	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Válvula de globo 	7.5	12	15	24	30	36	45	60	-	-	-
Válvula antirretorno de clapeta 	2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo R=2d 	0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo R=d 	0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90° 	1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
T, salida en línea 	0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
T, salida angular 	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reductor 	0.5	0.7	1.0	2.0	2.6	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.8

Tabla 1. Longitud equivalente accesorios.

6. Desarrollo del problema.

6.1. Origen del aire comprimido

Para el proceso de fabricación del acero es necesario el suministro de diversos gases, dentro de los cuales se encuentra oxígeno, nitrógeno, argón, gas mezcla y aire comprimido.

Todos estos gases anteriormente nombrados son suministrados a la planta por la empresa INDURA, ubicada en los límites externos dentro del predio de Huachipato y distribuidos mediante una red de distribución a los distintos departamentos dentro de la empresa.

El aire comprimido es producido a través de 5 compresores, 4 de estos ubicados en la planta INDURA:

Compresor	Ubicación	N° de compresores	Caudal entregado $\left[\frac{Sm^3}{h}\right]$	Caudal Total $\left[\frac{Sm^3}{h}\right]$
Cooper Compressor (A y B) TA6000	INDURA	2	10.000	20.000
Cooper Compressor TA48	HUACHIPATO	1	7.000	7.000
Atlas Copco ZR5	INDURA	2	2.400	4.800

Tabla 2. Compresores red combustibles

Por medio de una visita a la planta INDURA se pudo observar el proceso de compresión, enfriamiento, almacenaje y distribución de aire comprimido a través de la planta.

Según personal de INDURA señala que el aire es enfriado por debajo del punto de rocío, a una temperatura de $-61^{\circ}C$, con el fin de asegurar un aire totalmente seco. Esto se ve comprobado según la

Ec 6:

$$-61 = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \times (112 + 0.9 \times 20) + (0.1 \times 20) - 112$$

$$H = 0.04$$

Por lo tanto, el aire suministrado por INDURA tiene las siguientes características.

Presión de salida:	7,3 Bar
Temperatura:	20 °C
Humedad:	4 %



Figura 4. Manómetro salida aire desde INDURA

6.2. Distribución del aire en planta

INDURA suministra de manera permanente el aire comprimido a la planta mediante la conexión con la red de distribución existente en Huachipato, esta red es administrada por el departamento de combustibles. El departamento de combustibles es el encargado de distribuir el aire a cada departamento según las necesidades de cada uno, por medio de la red existente. Esto se ve reflejado en el sistema de gestión de consumos PI SYSTEM.

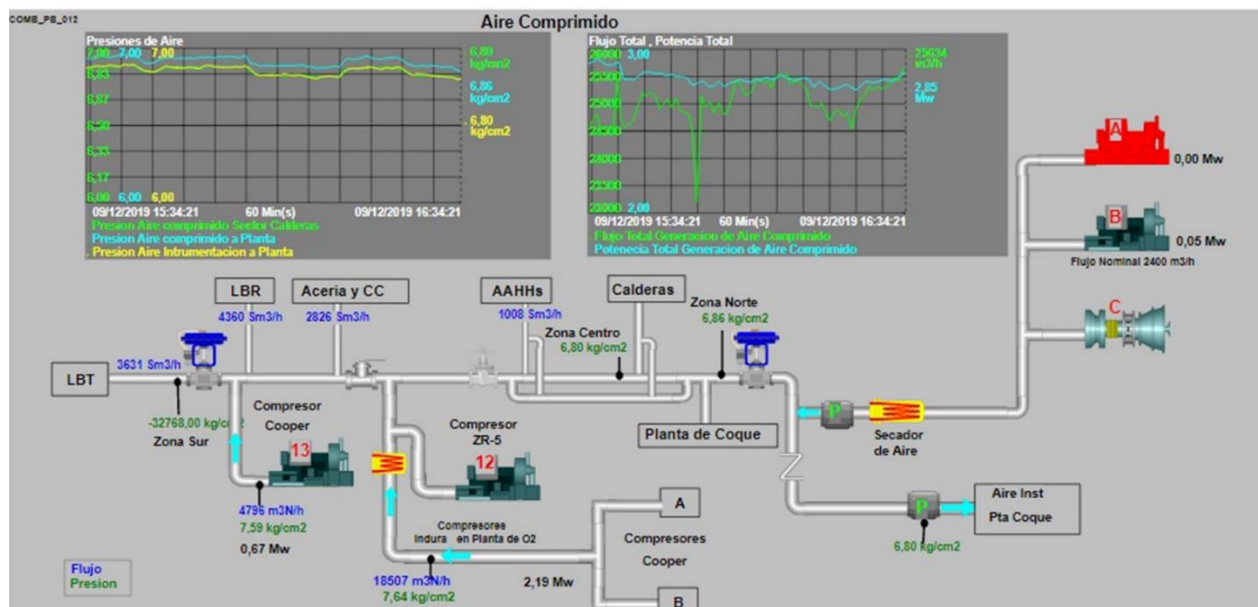


Figura 5. P.I SYSTEM COMBUSTIBLES

P.I SYSTEM representa un esquema básico de la producción y distribución de aire a través de los diversos departamentos.

La medición de aire entrante a acería se realiza a través de un medidor ultrasónico instalado en el ramal de la red de distribución. Se realizó una inspección en terreno del estado de equipo para así realizar un seguimiento remoto del flujo entrante suministrado por combustibles mediante el P.I. SYSTEM.

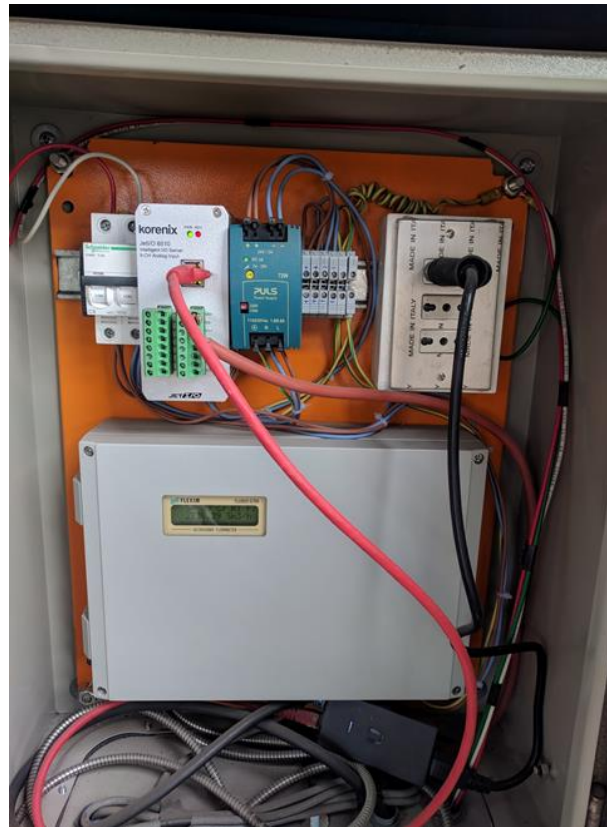


Figura 6. Caudalímetro ultrasónico FLEXIM G704

Junto con personal del taller de instrumentación, se realizó una inspección en terreno al instrumento, se observa que el caudalímetro se encuentra en correcto estado y correctamente calibrado, por lo que se procede a realizar el seguimiento del caudal entrante a Acería suministrado por combustibles por medio de P.I. SYSTEM.

En particular, se realizó un seguimiento a los consumos de la variable “Acería y CC” durante el mes de octubre y a las 11:00 hrs, de la cual se tiene el siguiente registro:

Fecha	P.I (Sm ³ /h)
05-oct	3138,5
06-oct	2974
07-oct	3028
08-oct	2992
09-oct	
10-oct	
11-oct	2833
12-oct	2835
13-oct	3092
14-oct	2871,6
15-oct	
16-oct	3059,3
17-oct	2881
18-oct	3059
19-oct	
20-oct	
21-oct	3171
22-oct	2895
23-oct	3089
24-oct	2730,5
25-oct	2976,9
26-oct	
27-oct	
28-oct	2428
29-oct	2980
Promedio	2946

Tabla 3. Flujo entrante a acería

De los días de muestreo se obtiene un promedio del consumo de ACC (acería y colada continua) de

$$2946 \frac{\text{Sm}^3}{\text{h}} .$$

6.3. Seguimiento de la red existente en acería.

Debido a la antigüedad de la red existente, a las constantes modificaciones y arranques hechos, no existe un esquema representativo básico de la red, por lo que se hace necesario realizar un seguimiento a la tubería principal de distribución de la red.

Teniendo presente que gran parte de la red atraviesa ramales que están fuera de las zonas transitables, o en espacios entre loza, y con las observaciones realizadas en terreno, es posible obtener un esquema representativo lo más cercano a la realidad posible.

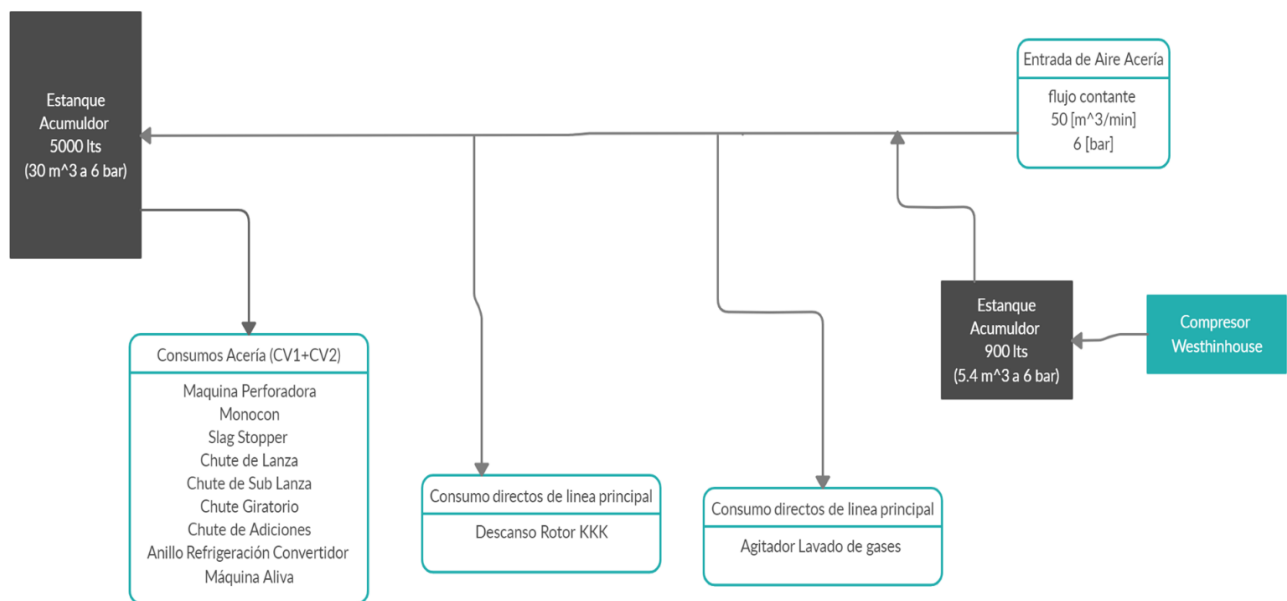


Figura 7. Esquema red existente acería

Este esquema representa la entrada del Aire comprimido y los puntos de los principales consumos detectados durante los sopladados.

También se observa, que la red corresponde a una red abierta de distribución, la cual posee un suministro constante desde el departamento de combustibles de 50 Nm³/min y una capacidad acumulada de 35.4 Nm³/min. Si sumamos estas dos capacidades, tenemos una capacidad disponible de 85.4 Nm³/min.

Con la información recaudada en terreno, es posible realizar un plano representativo del tendido de la red de distribución de aire dentro de acería Plano N°1.

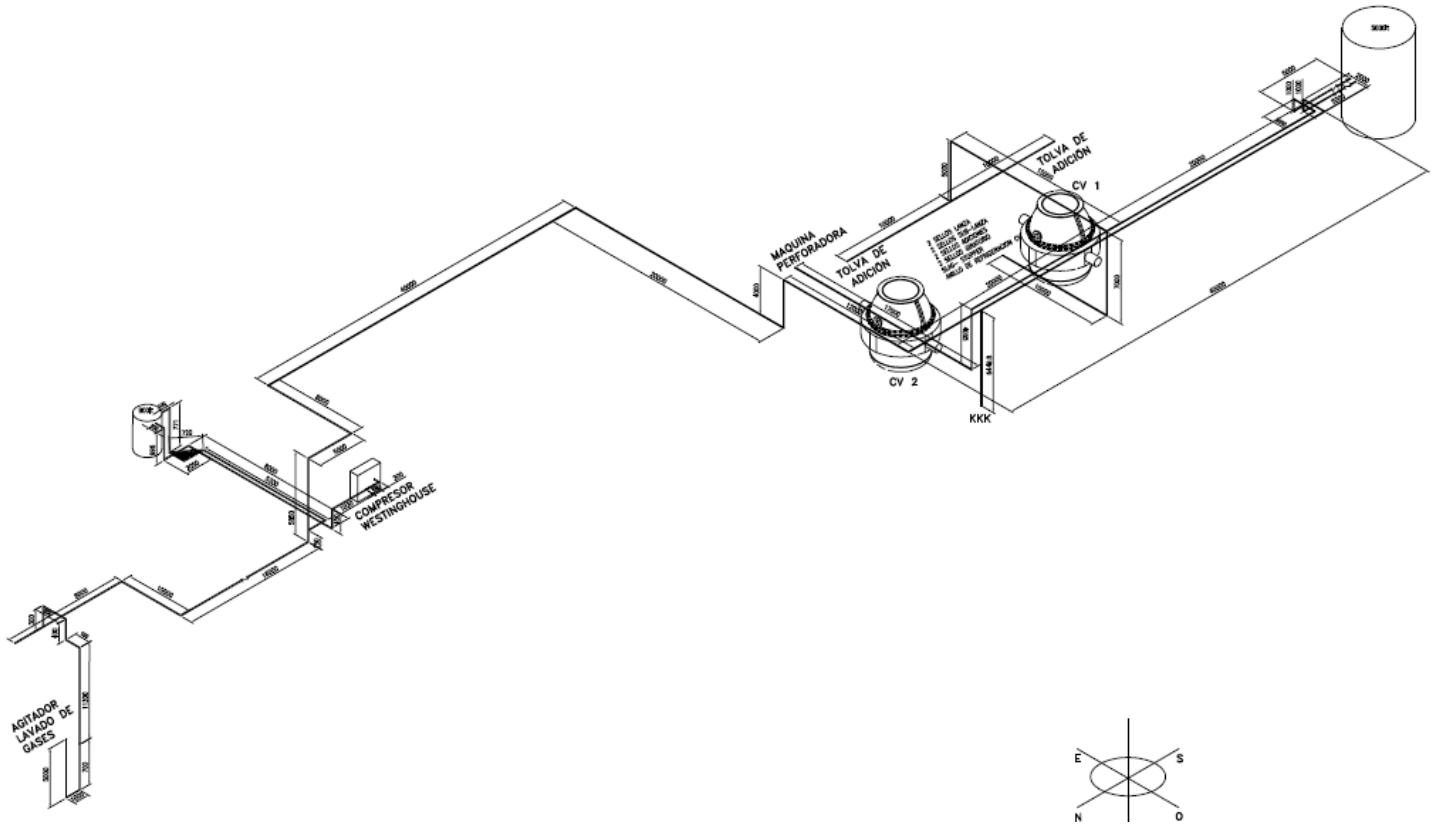


Figura 8. Plano N°1

6.3.1. Pérdida de carga línea principal

En terreno se encontraron dos manómetros, unos en la entrada y otro en el punto más lejano de la Acería, correspondiente al taller de lubricación.



Figura 9. Manómetro entrada a acería
(6.3 bar)



Figura 10. Manómetro taller de lubricación
(5.1 bar)

Al observar los manómetros podemos observar una pérdida de carga correspondiente a 1,2 bar. Para comprobar esto procedemos a realizar mediciones a la longitud de la línea y a la longitud equivalente perteneciente a cada accesorio:

$$L_{total} = L_{tuberia} + L_{codo} + L_{válvula\ anti\ retorno} + L_{válvula\ globo}$$

$$L_{total} = 145 + (1 \times 13) + (6.4 \times 2) + 24 = 194.8\ m$$

Considerando que la cañería principal corresponde a una cañería de 3" SCH40, la cual tiene un diámetro interior de 77.93 mm y una presión en la entrada de 6 bar, se prosigue a calcular la pérdida de carga según la Ec 9 :

$$\Delta p = \frac{450 \times 194.8 \times 818.33^{1.85}}{6 \times 77.93^5} = 1.24\ bar$$

El cálculo teórico da como resultado que la pérdida de carga se asemeja a lo medido por los manómetros instalados en los extremos de acería (pérdida de carga de 1.2 bar), es por esto que se utilizará la Ec 9 para calcular la pérdida de carga en el desarrollo de esta tesis.

6.3.2. Compresor Westhinhouse

Acería, desde su creación en el año 1975, cuenta con dos compresores a pistones Westhinhouse, los cuales funcionan como respaldo al suministro de combustible.

En la actualidad, solo se encuentra un compresor operativo. Este compresor es puesto en funcionamiento de manera manual cuando se estima que existirá un requerimiento mayor de aire o se detecta una baja de presión en la red.

De dicho compresor no se tiene información por catálogo de la capacidad de flujo y presión que entrega.

Durante el periodo de realización de esta habilitación profesional en la planta, se gestionó la realización de una medición de flujo, tanto con recursos internos y externos a la empresa, la cual no fue posible realizar, debido a la dificultad para instalar los instrumentos y el elevado costo del servicio externo de medición.

Debido a la antigüedad, falta de repuestos y obsolescencia del Compresor Westhinhouse, se recomienda el reemplazo de estos equipos.

6.3.3. Consumos principales

El aire dentro de Acería cumple la función de ser un medio de transporte de energía para el accionamiento de los diversos equipos neumáticos, siendo también utilizado como medio separador de ambiente y fluido enfriador.

Se identifican los consumos principales existentes, de los que podemos destacar los siguientes equipos:

- **Máquina Perforadora**: encargada de eliminar el material del tubo en el orificio de sangría del convertidor. Este proceso consiste en eliminar las camisas refractarias del agujero de sangría, las cuales, tras el uso en los distintos sopladados sufren desgaste, por lo que existe ampliación de su diámetro interior, aumentando la velocidad de descarga del acero a la cuchara.



Figura 9. Máquina Perforadora

- **Máquina colocadora de dardos:** Máquina encarga del control del paso de escoria del convertidor a la cuchara. Esta máquina, durante el proceso de sangrado, por medio de un brazo neumático, hace ingreso de un dardo de control de escoria al interior del convertidor, el cual permanece flotando en el acero líquido; este dardo al ir trasvasijando el acero líquido del convertidor a la cuchara, actúa como un tapón en el agujero de sangría.



Figura 10. Máquina MONOCON

- **Slag stopper:** Equipo encarga de evitar la transferencia de escoria del convertidor a la cuchara por medio de la acción automática de un tapón neumático.

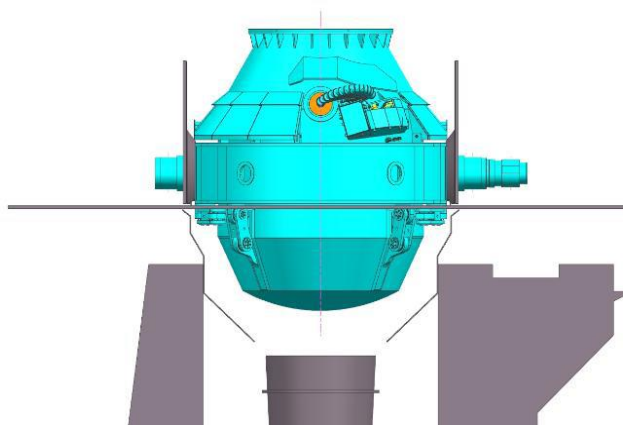
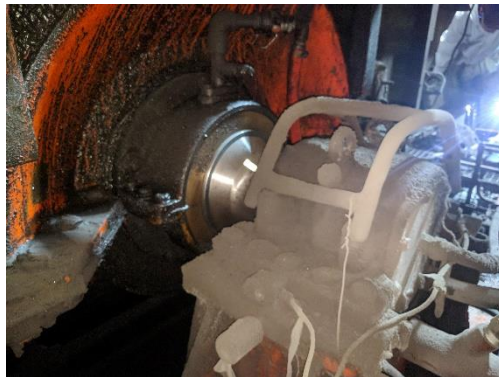


Figura 11. SLAG STOPPER

- **Sellos de aire:** tubería en forma de anillo con perforaciones en su interior, encargados de separar dos ambientes, con el fin de impedir el paso de polución.
 - **Sello de Lanza**
 - **Sello de Sub-Lanza**
 - **Sello de Adiciones**
 - **Sello Chute Giratorio**

- **Agitador lavado de gases:** Flexible instalado en el estanque de aguas sucias, el cual recepciona el agua que alimenta al pre-decantador (proceso lavado de gases). Este flexible cumple la función de inyectar aire para agitar lodos disueltos, evitando que decanten al fondo del estanque.

- **Descanso rotor axial KKK:** Tubería hechiza instalada sobre los descansos del rotor del KKK. Esta tubería tiene el fin de enfriar los descansos.



(a)



(b)

Figura 12. Descanso rotor axial KKK (a) y (b)

- **Anillo refrigeración CV1:** Anillo instalado para enfriar el convertidor, evitando la proliferación de más deformaciones.

- **Máquina ALIVA:** inyectora de Ganni, utilizada para parchar zonas de trabajo al interior del convertidor.

Los equipos anteriormente nombrados forman parte de los consumos principales de aire comprimido dentro de Acería.

De alguno de ellos se tiene información de los consumos a través de sus catálogos, pero en el caso de otros, no se tiene ningún registro del caudal requerido. La siguiente tabla muestra los equipos con y sin información:

Equipos con Información	Equipos sin Información
Máquina Perforadora (11.5 Nm ³ /min)	Descanso Rotor Axial KKK
Máquina ALIVA (4 Nm ³ /min)	Anillo Refrigeración CV1
SLAG STOPPER (4 Nm ³ /min)	Agitador Lavado de Gases
Máquina Colocadora de Dardos (8 Nm ³ /min)	Sello de Lanza
	Sello de Sub Lanza
	Sello de Adiciones
	Sello Chute Giratorio

Tabla 4. Principales equipos neumáticos dentro de acería.

Se prosiguió a la búsqueda de información para determinar el caudal de aire que consumen los equipos que no se tiene información.

Durante los periodos de mantenciones, y con las observaciones realizadas en terreno, se observó que todos los sellos de aire son de las mismas características. Estos sellos son anillos con 12 boquillas, cada boquilla presenta una perforación de 3 mm de diámetro, las cuales dirigen el flujo de aire hacia el interior del anillo. Esto se observa más detalladamente en el fragmento del plano del Sello de adiciones.

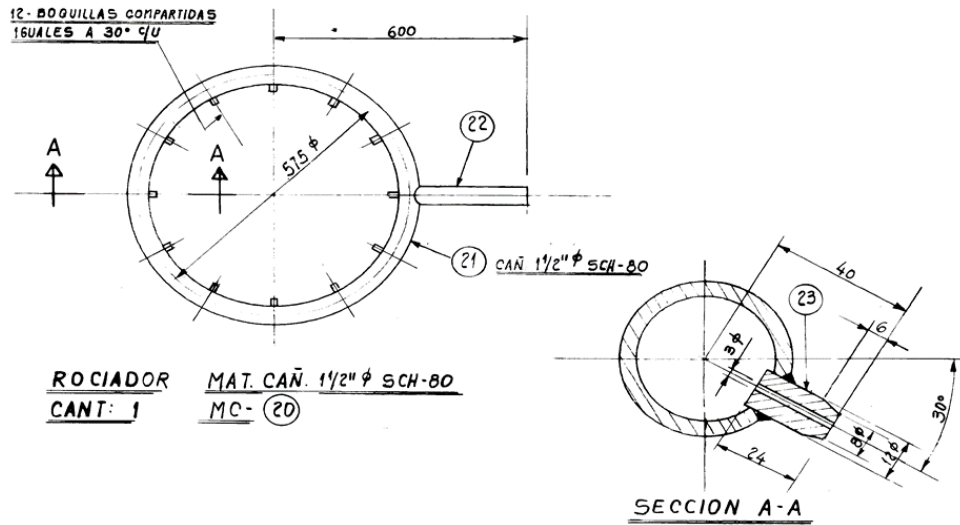


Figura 13. Fragmento plano sello de adiciones

Con las observaciones en terreno se hace posible identificar el diámetro y el número de perforación existente en los equipos que no se tiene información. Lo que se resumen en la siguiente tabla:

Equipos sin Información	Número de perforaciones	Diámetro de las perforaciones (mm)
Descanso Rotor Axial KKK	22	3
Anillo Refrigeración CV1	20	3
Agitador Lavado de Gases	1	15.8
Sello de Lanza	24	3
Sello de Sub Lanza	12	3
Sello de Adiciones	12	3
Sello Chute Giratorio	12	3

Tabla 5. Características perforaciones equipos sin información.

Todos estos equipos se alimentan de la red de aire comprimido, la cual presenta una presión ideal de trabajo de 6 bar y descargan, a través del orificio, al ambiente.

Con lo descrito anteriormente, es posible calcular el caudal de aire a través de un orificio, según la siguiente fórmula.

$$Q_a = \frac{1}{60} \times 0.667 \times 4.17 \times C \times \left(\frac{d_o}{4.654}\right)^2 \times P_1 \times \sqrt{\frac{F_y \times x_T}{T_a + 273.15}} \quad (\text{Ec } 10)$$

T_a : Temperatura del Aire ($^{\circ}\text{C}$).

P_1 : Presión Primaria (kPa abs).

P_2 : Presión Secundaria (kPa abs).

d_o : Diámetro del orificio (mm).

C : Coeficiente de Descarga ($C=1$ cuando el flujo atraviesa un orificio circular y descarga a la atmósfera).

Q_a : Rango de Flujo de Aire (Nm^3/min).

F_y : Relación de Calores Específico ($F_y=1$).

x_T : Relación de Presiones Diferenciales ($x_T=0.72$).

Aplicando la Ec 10, se calcula el flujo de aire a través de un orificio de 3 mm de diámetro.

$$Q_a = \frac{1}{60} \times 0.667 \times 4.17 \times 1 \times \left(\frac{3}{4.654}\right)^2 \times 700 \times \sqrt{\frac{1 \times 0.72}{20 + 273.15}}$$

$$Q_a = 0.66822 \frac{\text{Nm}^3}{\text{min}}$$

Se calcula todos los consumos faltantes, multiplicando el flujo de aire que fluye por un orificio por el número de perforaciones y posteriormente por el tiempo de operación, obtendremos los siguientes consumos por hora:

Equipo	consumo Nm ³ /min	Minutos de operación de una hora	Consumo Nm ³ /h
Descanso rotor axial KKK	14,70	60	882,00
Anillo refrigeración (CV1)	13,36	60	801,60
Máquina Perforadora	11,50	60	690,00
Sello Sub-Lanza	8,02	60	481,20
Agitador lavado de gases	6,14	60	368,40
Máquina Aliva	4,00	45	180,00
SLAG STOPPER	4,00	45	180,00
Sello de Lanza	16,04	18	288,72
Sello de Adiciones	8,02	18	144,36
Sello Giratorio	8,02	18	144,36
Colocadora de Dardos	8,00	2	16,00

Tabla 6. Consumos principales aire comprimido.

La tabla muestra que los mayores consumos ocurren el descanso de KKK y en el anillo de refrigeración del Convertidor 1.

6.3.4. Consumos durante la producción

Con toda la información recaudada, es posible calcular los consumos de los equipos que trabajan simultáneamente durante los procesos de producción a uno o a dos convertidores.

Periodos de operación	CV1	CV2	CV1+CV2
Descanso rotor axial KKK	1	1	1
Anillo refrigeración (CV1)	1	0	1
Máquina Perforadora	1	1	1
Sello Sub-Lanza	1	1	2
Agitador lavado de gases	1	1	1
Máquina Aliva	1	1	1
SLAG STOPPER	1	1	2
Sello de Lanza	1	1	2
Sello de Adiciones	1	1	2
Sello Giratorio	1	1	2
Colocadora de Dardos	1	1	2
Consumos durante el periodo (Nm³/h)	4.177	3.375	5.431

Tabla 7. Número de equipos operando durante periodos de operación.

A estos consumos de los equipos Principales, procederemos a aplicar un factor de seguridad de un 30%, este factor considera un 10% por arranques informales y consumos puntuales que se producen durante la producción y un 20% que corresponde a ampliaciones futuras del sistema. Con esta información se procede a calcular el consumo de aire por minuto.

	Consumo Nm ³ /h	factor de seguridad (30%)	consumo en Nm ³ /min
Consumo CV1 en operación	4.177	5.430	90
Consumo CV2 en operación	3.375	4.388	73
Consumo CV1 + CV2 en operación	5.431	7.061	118

Tabla 8. Consumo de aire por minuto.

De esta información podemos observar lo siguiente:

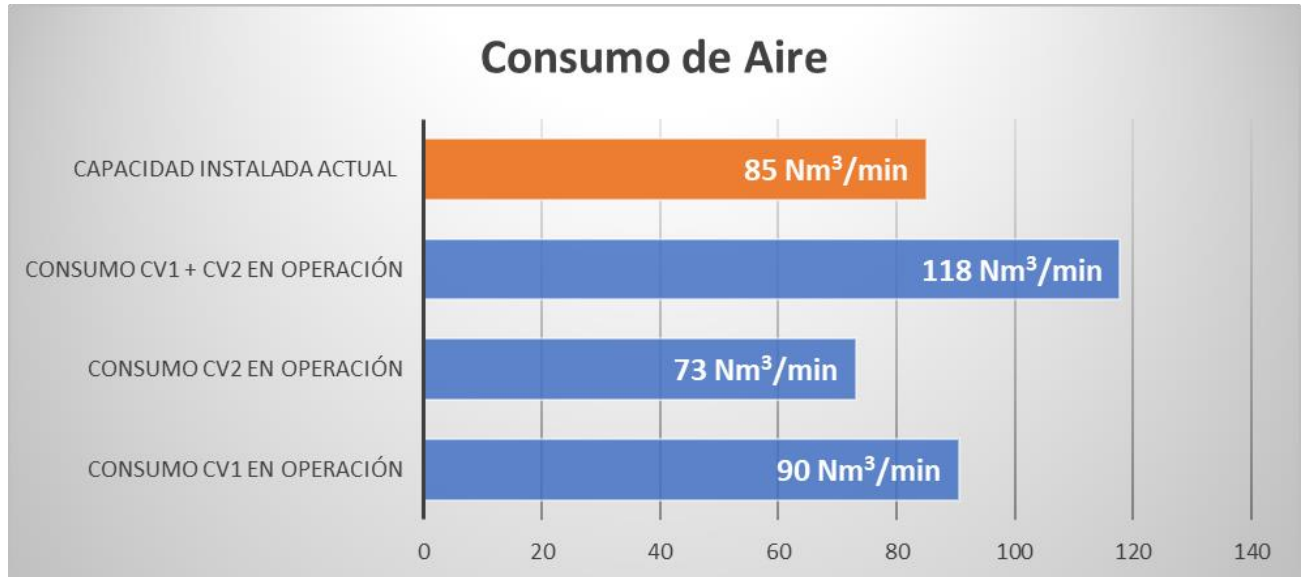


Gráfico 1. Consumos actuales de aire.

La capacidad instalada actual de $85 \text{ Nm}^3/\text{min}$ es suficiente para satisfacer las necesidades de aire comprimido durante los periodos que se encuentra operando el CV2 , el cual tiene un consumo de $73 \text{ Nm}^3/\text{min}$.

Durante los periodos en los cuales se opera con el CV1 y cuando se opera a dos convertidores simultáneamente (CV1+CV2), existe un aumento en los consumos. Debido a este aumento y a que la capacidad instalada no es capaz de solventarlos, se produce una baja de presión de aire en la línea. Actualmente, durante estos periodos y de manera de apoyo, se pone en funcionamiento de manera manual el compresor WESTHINHOUSE, con el fin de aumentar la capacidad de aire entrante a acería, pero no se tiene una información certera de cuál es el volumen de aire suministrado por este compresor.

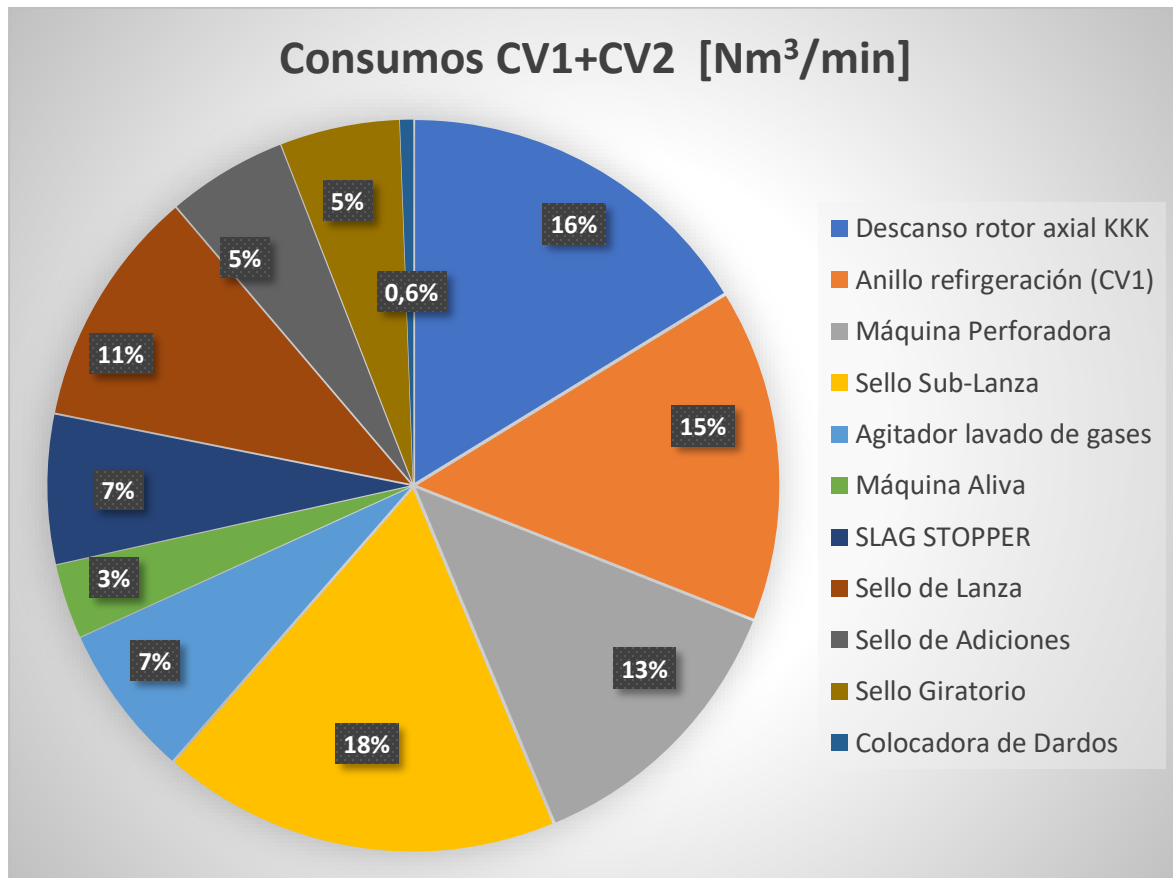


Gráfico 2. Consumos de aire durante operación de dos convertidores.

El gráfico muestra los consumos de aire comprimido durante el periodo de operación con mayor demanda de caudal de aire comprimido, el que corresponde a los periodos que se opera a dos convertidores simultáneamente (CV1+CV2). Se observa que el principal consumo corresponde al Descanso rotor axial KKK (correspondiente a un 16%).

7. Alternativas solución.

7.1. Eliminación consumos irregulares

Con todos los antecedentes recaudados y calculados los consumos de cada equipo, se puede concluir que existen consumos irregulares que deberían ser erradicados. Estos consumos corresponden a los siguientes equipos:

- Descanso rotor axial KKK
- Anillo refrigeración CV1
- Agitador lavado de gases

Al eliminar estos equipos, se producirá una baja en los requerimientos de aire, la cual se muestra en el siguiente gráfico:

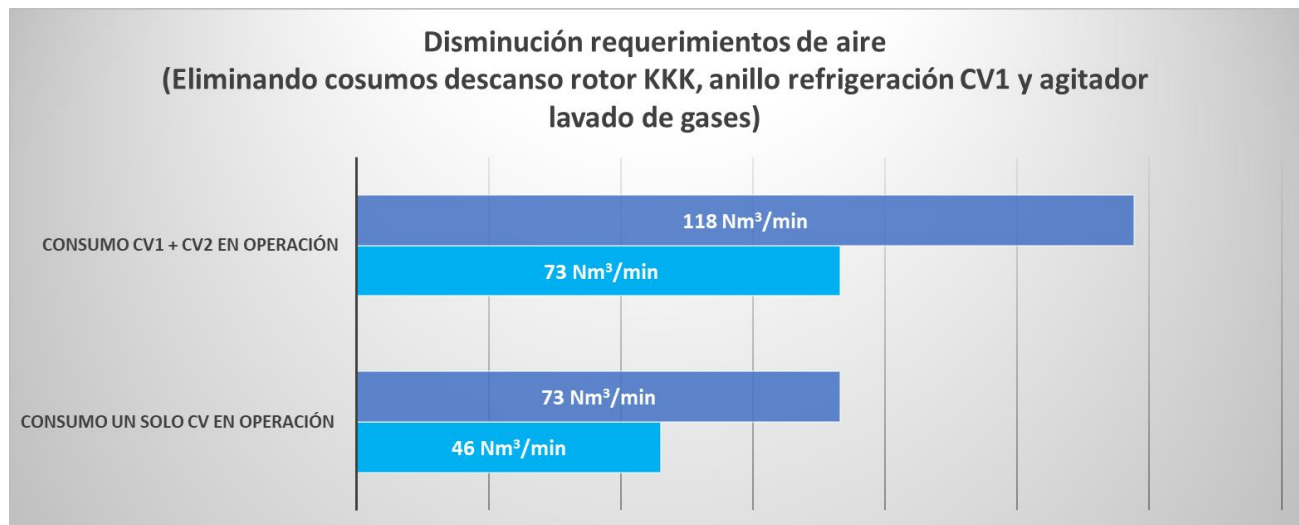


Gráfico 3. Ahorro en los consumos de aire.

Se observa que, al eliminar estos equipos, los consumos de aire por minuto disminuyen en un 38%.

Si eliminamos los consumos irregulares recomendados, los consumos totales disminuyen significativamente, por lo que la capacidad actual (acumulada + entregada por combustibles) de 85 Nm³/min es capaz de abastecer los requerimientos de aire comprimido de acería (de 73 Nm³/min).

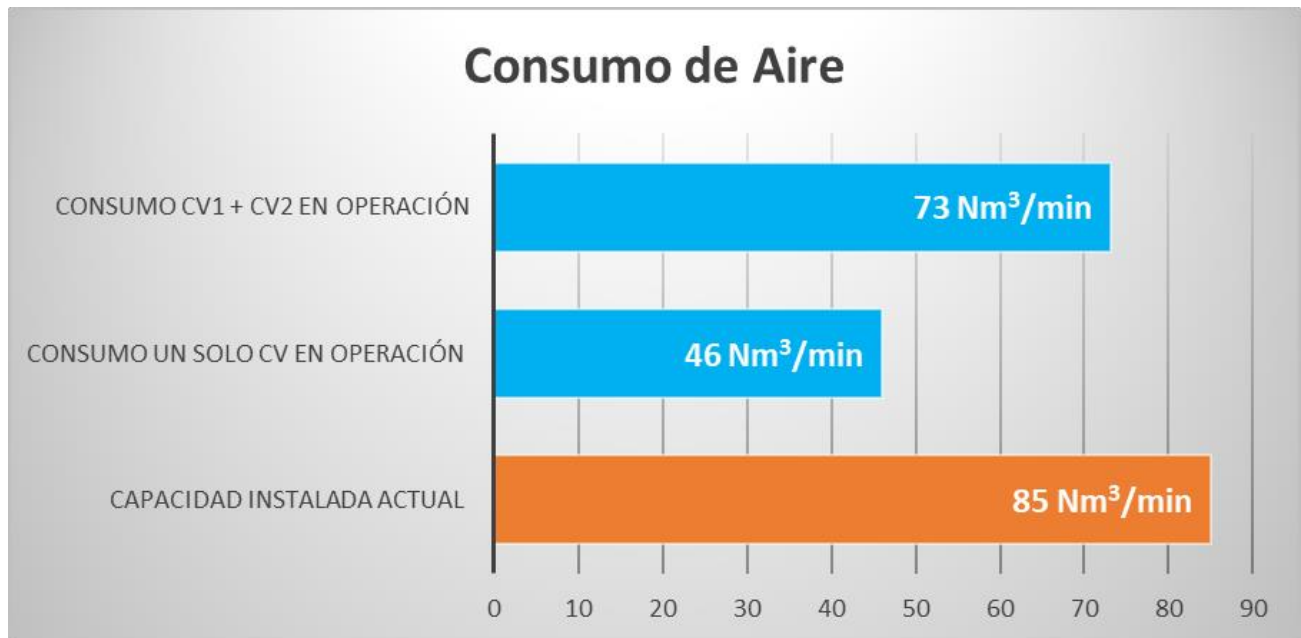


Gráfico 4. Consumo total de aire después de eliminar consumos irregulares.

El gráfico muestra que la capacidad instalada actual (la que considera la acumulada más la entrega combustibles) es capaz de satisfacer las necesidades de aire durante los periodos de operación en los cuales se trabaja con ambos convertidores.

7.2. Reemplazo Compresor Westhinhouse

Según lo expuesto anteriormente, el problema de la baja de presión se ve solucionado al erradicar los equipos que producen consumos irregulares (Descanso rotor axial KKK, Anillo refrigeración CV1, Agitador lavado de gases). Aún eliminando estos equipos, Huachipato se ve en la necesidad de actualizar el compresor de respaldo existente, con el fin de garantizar la capacidad de auto solventar los consumos de aire en el caso de ocurrir alguna falla en el suministro que entrega el departamento de combustibles a acería. Para solucionar este problema se recomiendan las siguientes opciones:

- Recuperar de equipos abandonados en línea abandonada de planchones.
- Instalar equipos nuevos.

Con estas opciones, se plantean dos alternativas para realizar la conexión a la red de distribución de acería.

- **Alternativa N°1:** Extender red de cañería desde la ubicación actual de los compresores a recuperar hasta la red principal de distribución de acería.
- **Alternativa N°2:** Trasladar equipos y conectar a red principal de distribución de acería.

A continuación, se evaluará técnicamente la posibilidad de ejecutar cada una de estas alternativas, considerando que ya fueron eliminados los consumos irregulares de aire comprimido antes descritos.

7.3. Recuperación de equipos abandonados en línea abandonada de planchones

En el año 2010, debido a la caída del precio del acero en los mercados nacionales e internacionales y al crecimiento exponencial de los aceros de origen chino, Huachipato decide cerrar la línea de producción en la máquina de colada continua de planchones.

En la actualidad, la línea sigue fuera de funcionamiento, y ciertos equipos aún se encuentran en planta y abandonados. Dentro de los equipos se encuentran los siguientes:

- 2 compresores Atlas Copco modelo GA75.
- 1 estanque Acumulador de 8000 litros.
- 1 secador de aire por enfriamiento.
- 1 separador de condensado.



Figura 14.
Compresor Atlas Copco
GA75



Figura 15.
Separador de condensado
"hb (grau)-0220G"



Figura 16.
Secador de aire por enfriamiento
"hb DPRE-0200"

Según información entregada por catálogo, se recalcula si los equipos de secado de aire cumplen los requerimientos deseados.

Cálculo para seleccionar un secador por refrigeración:

$$C = \frac{V}{f(P) \times f(Tf)} \quad (\text{Ec 11})$$

C : Capacidad tabulada (Nm^3/h).

V : Flujo de aire comprimido a tratar (Nm^3/h).

$f(P)$: Factor de corrección de presión.

$F(Tf)$: Factor de corrección de temperatura.

$$C = \frac{810}{1 \times 1.11} = 729.73 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

Con esta capacidad tabulada corresponde al secador “hb DPRE 0220”, el que corresponde al modelo instalado.

Estos equipos se encuentran a un costado de las instalaciones abandonadas de la máquina de colada de planchones, en un gabinete cerrado.

La idea es recuperar los equipos y evaluar la posibilidad de reutilizarlos para satisfacer la demanda de aire faltante en el sector de acería.

Debido al periodo que han estado estos equipos fuera de operación, se hace necesario realizar una Evaluación técnica, con el fin de determinar si se encuentran operativos. Esta Evaluación se realizó el día 19 de diciembre del 2019, la cual arrojó como resultado que los equipos se encuentran operativos (Anexo 2).

Ya que los equipos se encuentran operativos, se evalúan las dos alternativas de conexión:

- **Alternativa N°1: Extender red de cañerías**
- **Alternativa N°2: Traslado de equipos**

7.3.1. Alternativa N°1: Extender red de cañerías.

La idea es extender una conexión desde el sector de planchones hasta un estanque acumulador que está ubicado en el tercer piso de acería. La imagen siguiente demuestra de manera más clara la conexión que se pretende realizar.

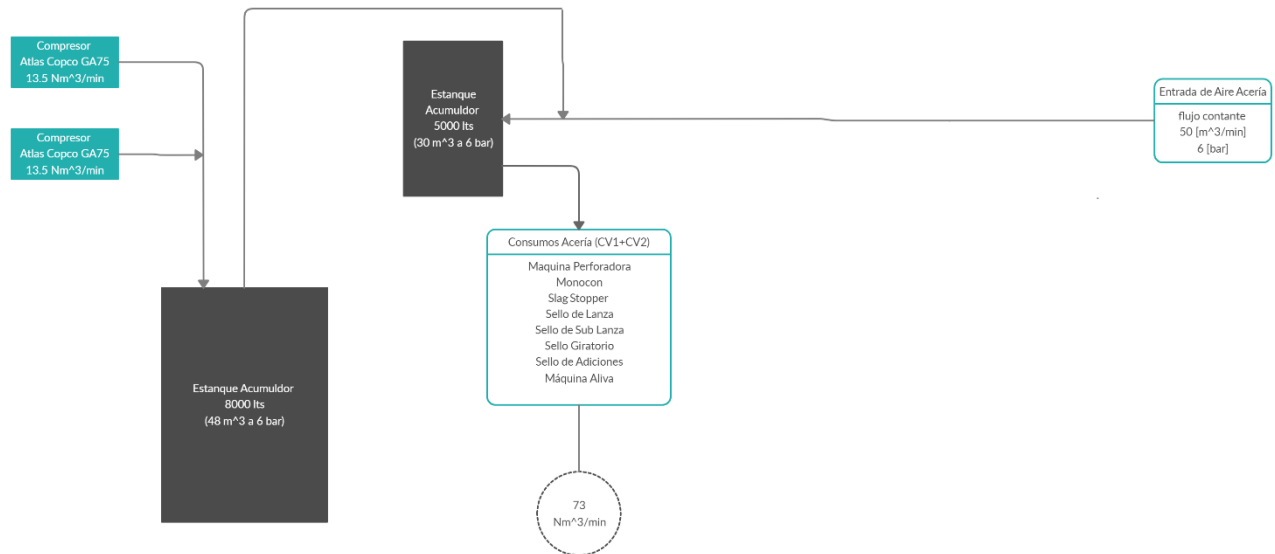


Figura 17. Esquema alternativa N°1

Para dimensionar las dimensiones de este tendido, se realiza un bosquejo sobre un plano topográfico de las instalaciones de acería.

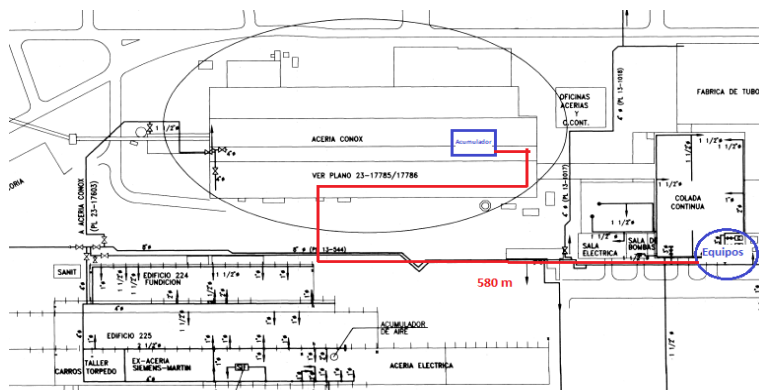


Figura 18. Plano topográfico alternativa N°1

Se diseñó el tendido de la red (Plano N°2) . Las dimensiones de esta red se observan en la Figura 25.

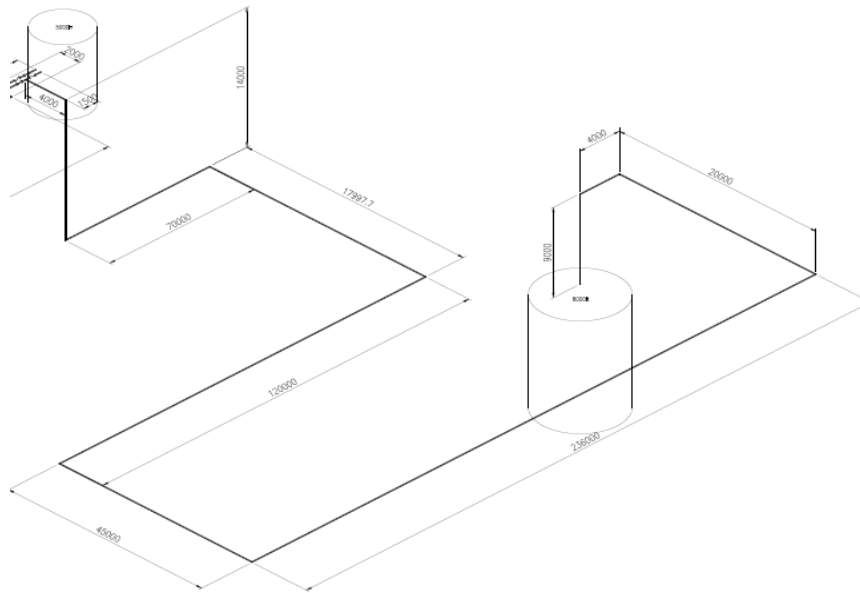


Figura 19. Fragmento plano N°2

Cabe señalar que la instalación de esta red será de difícil ejecución, debido a que en el lugar hay gran tránsito de maquinaria pesada y peligro por cargas suspendidas.

La conexión tendrá una longitud de 592.4 metros, por lo que se procede a calcular la pérdida de carga que existirá:

Se realizó los cálculos de pérdida de carga según Ec 9.

Alternativa Solución N°1	
Presión	7 bar
Caudal GA75	452 lt/s
Longitud de la tubería	592,4 m
Diametro Tubería	3 in
Diametro Interior Tubería	77,9272 mm
Perdida de Carga	1,08 bar

Debido a que la pérdida de carga es de 1 bar, y a la dificultad que implica realizar el trabajo de instalación del tendido de la red, se descarta esta alternativa.

7.3.2. Alternativa N°2: Traslado de equipos

Se evaluó la posibilidad de traslado de los equipos antes mencionado al sector correspondiente al costado del desgasificador, este traslado tiene como ventaja que los equipos estarán próximos a la tubería de alimentación de aire comprimido que proviene desde combustibles, por lo que se mantendrán las condiciones de diseño de la red.

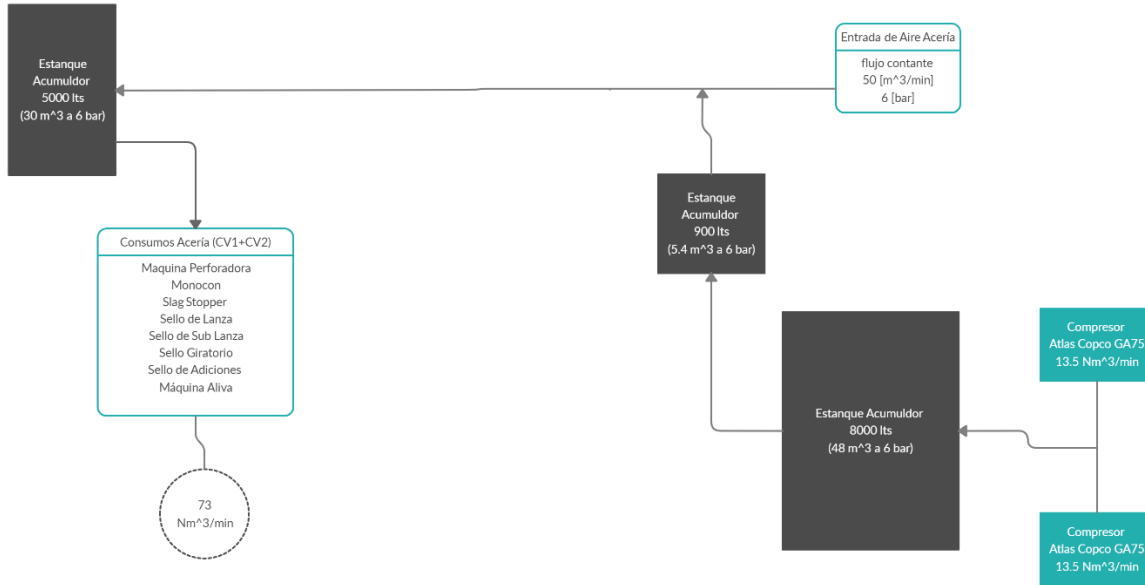


Figura 20. Esquema alternativa N°2

Para dimensionar las dimensiones de este tendido, se realiza un bosquejo sobre un plano topográfico de las instalaciones de acería.

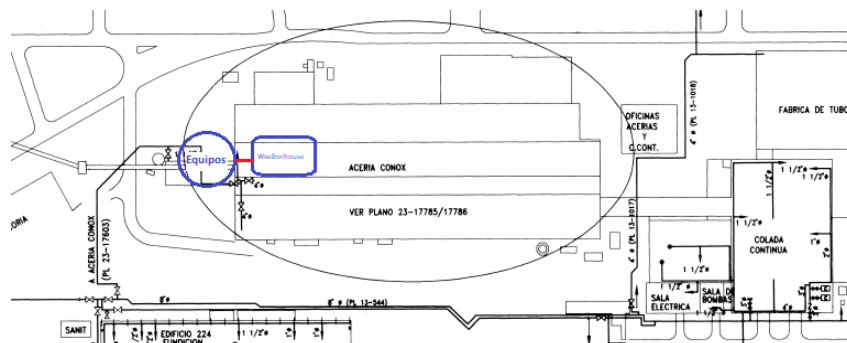


Figura 21. Plano topográfico alternativa N°2

El plano topográfico muestra el sitio donde se pretende instalar los equipos recuperados. Este sector corresponde al sector del desgasificador.

Si comparamos los consumos de los equipos dentro de acería y la capacidad acumulada que se obtiene al trasladar los equipos, podemos desarrollar el siguiente gráfico.

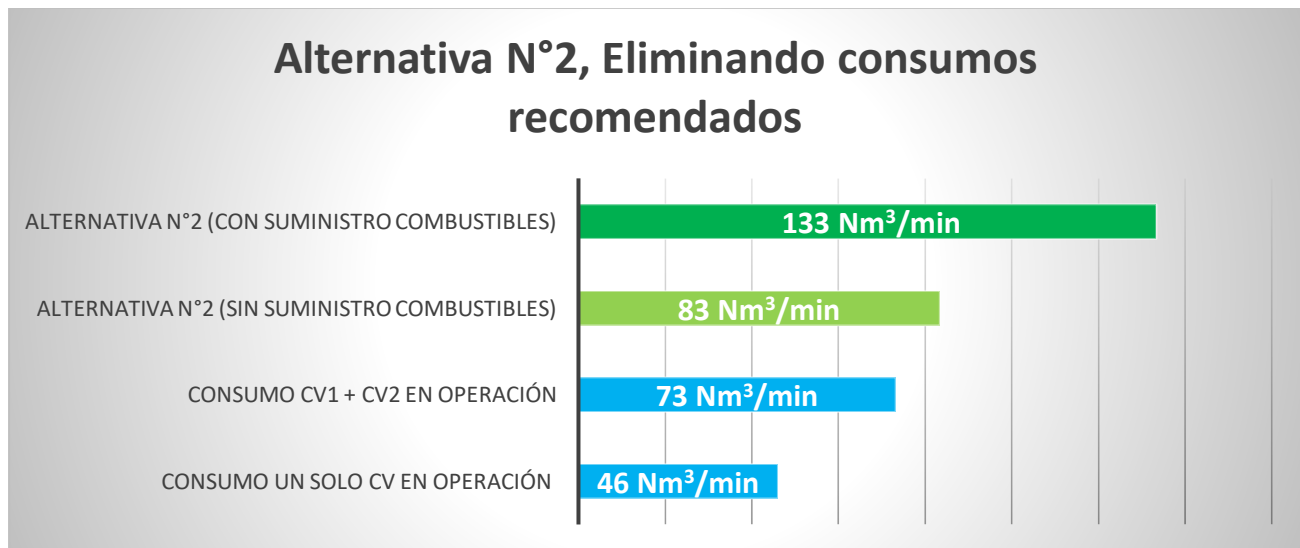


Gráfico 5. Capacidad acumulada al implementar la Alternativa N°2

Se observa que, al trasladar los equipos, la capacidad disponible (de 83 Nm³/min) es suficiente para abastecer los consumos durante los periodos que se trabaja a dos convertidores (consumo de 73 Nm³/min), sin la necesidad de recurrir al suministro de combustibles; por lo que se obtiene un sistema que puede actuar como sistema de respaldo en el caso que la entrega de aire desde combustibles falle.

Si sumamos el suministro que entrega combustible, la capacidad acumulada total aumenta a 133 Nm³/min, la que es más que suficiente para satisfacer las necesidades de aire y soportar ampliaciones futuras de la red.

Con esto claro, se procede a determinar si el espacio disponible es el suficiente para la instalación de los equipos. Para esto se llevó a cabo una inspección en terreno, de la cual observamos.



Figura 22. Área disponible sector desgasificado (40 m²)

Con la información recaudada, se está en condición de diseñar el tendido de la red y la instalación de los equipos en el nuevo sitio. En el Plano N°3 , se muestra detalladamente como se realizará la conexión

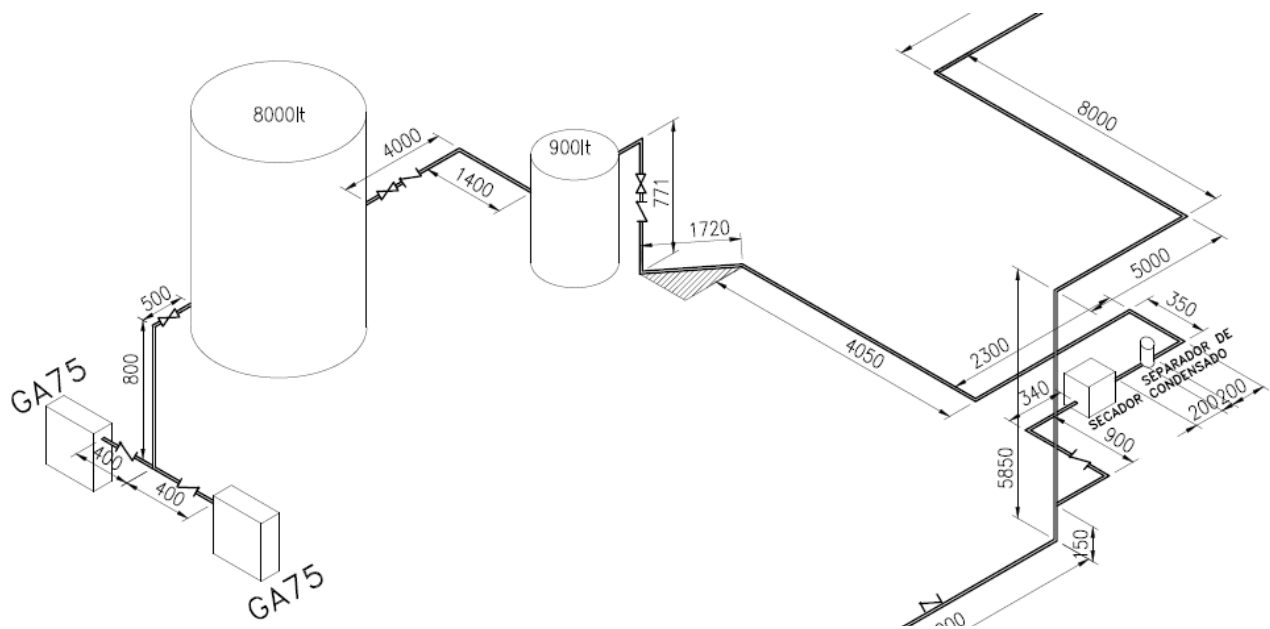


Figura 23. Fragmento plano N°3

La figura 28 muestra cómo se pretende instalar los compresores junto con el estanque acumulador en el sector de desgasificador para así realizar una conexión por cañería hasta el estanque acumulador que ya se encuentra instalado en la acería, así ocupar el mismo tendido y disposición de la red existente (perteneciente al compresor Westhinhouse) para conectar el equipo separador de condensado y secador.

Todo este tendido se realizará con una cañería de 3", por lo que se calculará la pérdida de carga existente entre los compresores y el punto de conexión al ramal de alimentación de acería.

Se realiza el cálculo de la pérdida de carga según Ec 9:

Alternativa Solución N°2	
Presión	6,5 bar
Caudal GA75	452 lt/s
Longitud de la tubería	20 m
Diametro Tuberia	3 in
Diametro Tuberia	77,9272 mm
Perdida de Carga	0,04 bar

Se observa que debido a la corta distancia que debe recorrer el aire para conectarse a la red, la pérdida de carga es de 0.04 bar, por lo que es posible configurar los compresores para que mantengan una presión máxima en el acumulador de 6.5 bar, con esto no forzamos los equipos de compresión.

8. Evaluación Económica.

8.1. Análisis de los consumos anuales

Según información obtenida del departamento de combustibles, el aire comprimido es vendido por INDURA a un valor de 3.05 dólares los 1000 m³. Considera un tiempo de estudio de un año, el cual se divide en los periodos en los que se trabaja a un solo convertidor y a dos simultáneamente se procede a realizar la evaluación económica, obteniendo los siguientes resultados:

Consumos CV1 en operación						
Días de periodo	167 Días					
	N° de equipos	CV1 [Nm ³ /h]	Días de operación	consumo periodo [Nm ³]	US\$/año	\$/año
Descanso rotor axial KKK	1	1.147	167	4.595.573	14.016	\$11.661.726
Anillo refrigeración (CV1)	1	1.042	167	4.176.657	12.739	\$10.598.684
Máquina Perforadora	1	897	2	43.056	131	\$109.259
Sello Sub-Lanza	1	626	167	2.507.244	7.647	\$6.362.384
Agitador lavado de gases	1	479	167	1.919.511	5.855	\$4.870.952
Máquina Aliva	1	234	3	16.848	51	\$42.753
SLAG STOPPER	1	234	167	937.872	2.861	\$2.379.944
Sello de Lanza	1	375	167	1.504.347	4.588	\$3.817.430
Sello de Adiciones	1	188	167	752.173	2.294	\$1.908.715
Sello Giratorio	1	188	167	752.173	2.294	\$1.908.715
Colocadora de Dardos	1	21	167	83.366	254	\$211.551
Total periodo		5.430		17.288.821	52.731	\$43.872.112

Consumos CV2 en operación						
Días de periodo	167 Días					
	N° de equipos	CV2 [Nm ³ /h]	Días de operación	consumo periodo [Nm ³]	US\$/año	\$/año
Descanso rotor axial KKK	1	1.147	167	4.595.573	14.016	\$11.661.726
Anillo refrigeración (CV1)	0	0	0	0	0	\$0
Máquina Perforadora	1	897	2	43.056	131	\$109.259
Sello Sub-Lanza	1	626	167	2.507.244	7.647	\$6.362.384
Agitador lavado de gases	1	479	167	1.919.511	5.855	\$4.870.952
Máquina Aliva	1	234	3	16.848	51	\$42.753
SLAG STOPPER	1	234	167	937.872	2.861	\$2.379.944
Sello de Lanza	1	375	167	1.504.347	4.588	\$3.817.430
Sello de Adiciones	1	188	167	752.173	2.294	\$1.908.715
Sello Giratorio	1	188	167	752.173	2.294	\$1.908.715
Colocadora de Dardos	1	21	167	83.366	254	\$211.551
Total periodo		4.388		13.112.164	39.992	\$33.273.428

Consumos CV1+CV2 en operación						
Días del periodo	31 Días					
	N° de equipos	CV1+CV2 [Nm ³ /h]	Días de operación	consumo periodo [Nm ³]	US\$/año	\$/año
Descanso rotor axial KKK	1	1.147	31	853.070	2.602	\$2.164.751
Anillo refrigeración (CV1)	1	1.042	31	775.308	2.365	\$1.967.420
Máquina Perforadora	1	897	1	21.528	66	\$54.629
Sello Sub-Lanza	2	1.251	31	930.833	2.839	\$2.362.083
Agitador lavado de gases	1	479	31	356.316	1.087	\$904.189
Máquina Aliva	1	234	0	0	0	\$0
SLAG STOPPER	2	468	31	348.192	1.062	\$883.572
Sello de Lanza	2	751	31	558.500	1.703	\$1.417.250
Sello de Adiciones	2	375	31	279.250	852	\$708.625
Sello Giratorio	2	375	31	279.250	852	\$708.625
Colocadora de Dardos	2	42	31	30.950	94	\$78.540
Total periodo		7.061		4.433.198	13.521	\$11.249.683

Si sumamos todos estos consumos de aire es posible calcular los consumos anuales totales de aire comprimido:

Consumos Anuales totales			
	Consumos [Nm ³]	US\$/año	\$/año
Descanso rotor axial KKK	10.044.216	30.635	\$25.488.203
Sello Sub-Lanza	5.945.322	18.133	\$15.086.850
Anillo refrigeración (CV1)	4.951.964	15.103	\$12.566.104
Agitador lavado de gases	4.195.339	12.796	\$10.646.093
Sello de Lanza	3.567.193	10.880	\$9.052.110
SLAG STOPPER	2.223.936	6.783	\$5.643.460
Sello de Adiciones	1.783.597	5.440	\$4.526.055
Sello Giratorio	1.783.597	5.440	\$4.526.055
Colocadora de Dardos	197.683	603	\$501.641
Máquina Perforadora	107.640	328	\$273.147
Máquina Aliva	33.696	103	\$85.507
Total	34.834.183	106.244	\$88.395.224

	[Nm ³ /h]	\$/año	
Consumo total actual	34.834.183	\$88.395.224	
Consumos Irregulares	19.191.519	\$48.700.400	55%
Consumo después de eliminar consumos irregulares	15.642.664	\$39.694.824	

Expresando la tabla anterior en forma gráfica, se obtiene:

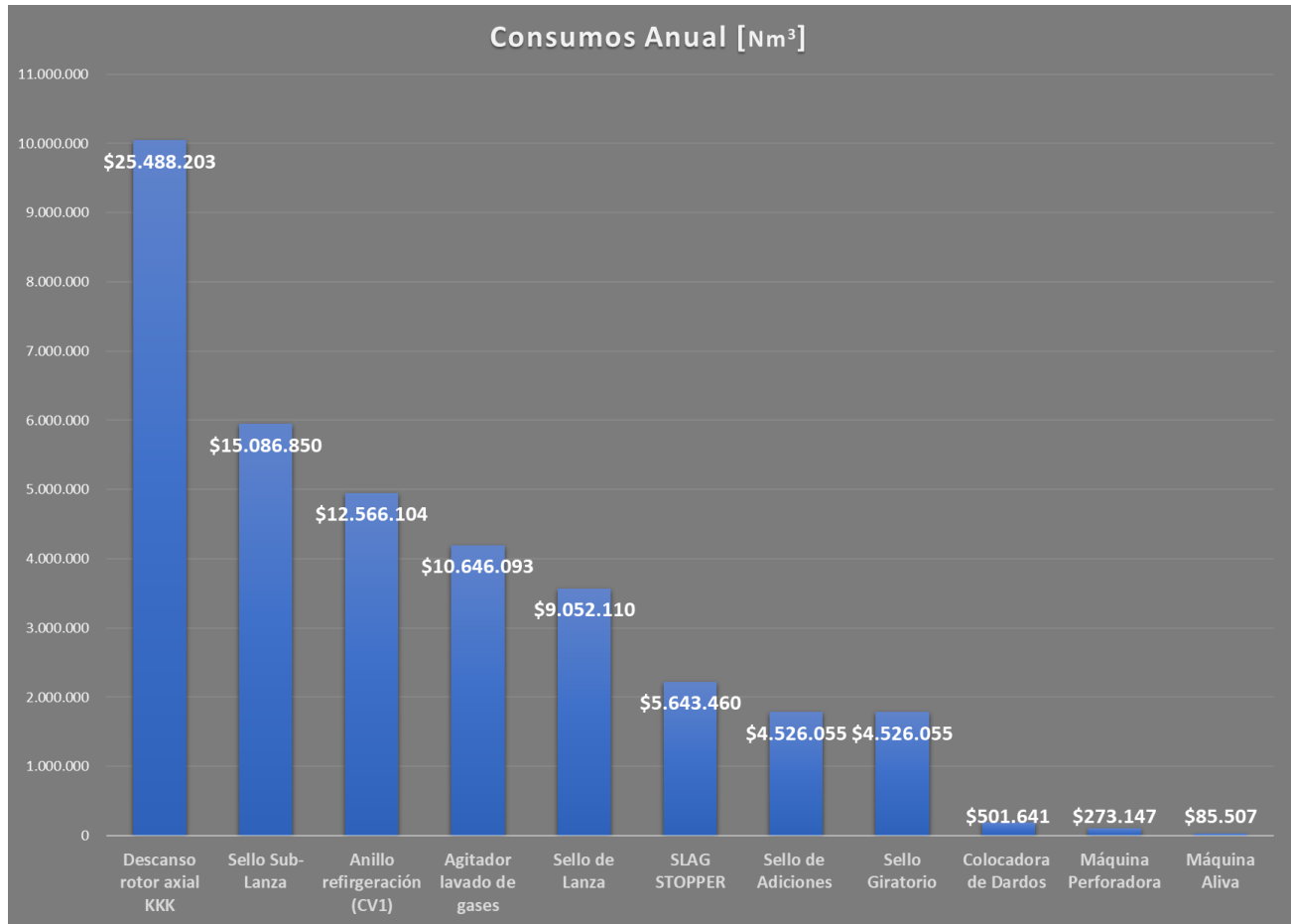


Gráfico 6. Consumos anuales de aire comprimido.

La gráfica anterior deja en evidencia que existe gran pérdida de dinero en los consumos irregulares que se recomiendan eliminar (descanso rotor axial KKK, anillo refrigeración CV1 y el agitador lavado de gases). Si se eliminan los consumos irregulares, tendremos un ahorro de volumen de aire de 19.191.519 Nm³ al año, lo que corresponde a un ahorro anual de aire de un 55%, lo que implica que se produce un ahorro de \$48.700.400.

8.2. Análisis Económico Alternativa N°2

Considerando el ahorro producido eliminar los consumos irregulares , se evaluará de forma económica la viabilidad del proyecto de traslado de los equipos usados o la instalación de equipos nuevos en el mismo sector.

8.2.1. Equipos Usados:

Este proyecto considera la recuperación de los equipos abandonados en el sector de planchones y el traslado al sector del desgasificador, con un valor de inversión de \$35.831.655.

Valor del Proyecto	
Cañería 3" sch 40 (4 unidades)	\$26.704
Válvulas	\$804.951
Montaje de red	\$5.000.000
Desmontaje y montaje equipos	\$30.000.000
Valor del Proyecto	\$35.831.655

Valor de Mercado	
2 Compresores GA75	\$30.000.000
Secador de aire	\$3.000.000
Estanque acumulador 8000 lts	\$7.000.000
Valor de Mercado	\$40.000.000

Valor residual	\$28.000.000
-----------------------	---------------------

Costos fijos		
Precio de compra de aire a INDURA	\$39.694.824	\$/año

Costos Variables		
Valor del KWh	\$100	
Consumo energetico compresor Atlas Copco	75 Kwh	
Periodo de operación CV1+CV2	31 Días/año	
Valor energetico	\$11.160.000	Durante periodo de operación CV1+CV2
Mantenimiento	\$3.000.000	aumenta un 10% anual

año	Costos Fijos	Costos Variables	Costos Totales
1	\$39.694.824	\$14.160.000	\$53.854.824
2	\$39.694.824	\$14.460.000	\$54.154.824
3	\$39.694.824	\$14.760.000	\$54.454.824
4	\$39.694.824	\$15.060.000	\$54.754.824
5	\$39.694.824	\$15.360.000	\$55.054.824

8.2.2. Equipos Nuevos:

Este proyecto considera la adquisición y montaje de 2 compresores Atlas Copco GA75, 1 secador de aire y un estanque acumulador de 8.000 litros, estos equipos presentan un valor de mercado de \$83.000.000 y un valor del proyecto que corresponde al valor de la instalación de la red de \$5.831.655. esto nos da como resultado que se necesita una inversión total de \$88.831.655.

A continuación, se presenta el detalle de los valores y costos:

Valor del Proyecto	
Cañería 3" sch 40 (4 unidades)	\$26.704
Válvulas	\$804.951
Montaje de red	\$5.000.000
Valor del Proyecto	\$5.831.655

Valor de Mercado	
2 Compresores GA75	\$60.000.000
Secador de aire	\$8.000.000
Estanque acumulador 8000 lts	\$15.000.000
Valor de Mercado	\$83.000.000

Valor residual	\$41.500.000
-----------------------	---------------------

Costos fijos		
Precio de compra de aire a INDURA	\$39.694.824	\$/año

Costos Variables		
Valor del KWh	\$100	
Consumo energetico compresor Atlas Copco	75 Kwh	
Periodo de operación CV1+CV2	31 Días/año	
Valor energetico	\$11.160.000	
Mantenimiento	\$3.000.000	aumenta un 10% anual

Año	Costos Fijos	Costos Variables	Costos Totales
1	\$39.694.824	\$14.160.000	\$53.854.824
2	\$39.694.824	\$14.460.000	\$54.154.824
3	\$39.694.824	\$14.760.000	\$54.454.824
4	\$39.694.824	\$15.060.000	\$54.754.824
5	\$39.694.824	\$15.360.000	\$55.054.824

8.2.3. Evaluación Económica

Considerando los Valores de Mercado, Valor residual y los costos totales de los equipos nuevos los equipos usados, se procede al cálculo del CAE, con el fin de determinar cuál de ambas alternativas es recomendable económicamente.

Valor residual	
Equipos Usados	\$28.000.000
Equipos Nuevos	\$41.500.000

Año	Equipos Usados	Equipos Nuevos	Concepto
0	\$75.831.655	\$88.831.655	Valor de Mercado + Valor Proyecto
1	\$53.854.824	\$53.854.824	Costos Totales
2	\$54.154.824	\$54.154.824	Costos Totales
3	\$54.454.824	\$54.454.824	Costos Totales
4	\$54.754.824	\$54.754.824	Costos Totales
5	\$27.054.824	\$13.554.824	Costos (Costos totales - valor residual)

Tasa	8%
------	----

	Equipos Usados	Equipos Nuevos
VAN	\$274.013.752	\$277.825.879
CAE	\$68.628.513	\$69.583.285

Se observa la alternativa de trasladar los equipos usados existentes es la que nos genera menores costos anualmente equivalentes (CAE) . Si llevados todos los costos a valor presente, los flujos de dinero son mucho menores al seleccionar los equipos usados, por los que nos quedamos con esta alternativa.

9. Conclusión.

Durante el periodo de desarrollo de esta habilitación profesional en Compañía siderúrgica Huachipato S.A, fue de gran ayuda conocer el proceso de producción dentro del área de acería.

Se observa que el proceso sigue siendo prácticamente igual desde la fundación de la acería (1975), pero que, tras la modificación de la normativa ambiental vigente en el país, ha llevado a la compañía a realizar grandes inversiones en su proceso de disminución de gases y aguas contaminantes, así como también en la mitigación de la contaminación por material particulado y de eficiencia energética. Este proceso se ha realizado de forma paulatina, ya que la compañía se encuentra en una crisis económica debido a la caída del valor de la tonelada de acero a consecuencia del ingreso de acero desde china.

Durante mi tiempo en la compañía no fue posible realizar mediciones de flujo a los consumos principales, por lo que se recomienda realizar mediciones de caudal en los consumos principales, con el fin de sustentar de manera tangible los cálculos de consumos desarrollados durante esta tesis.

Para solucionar el problema de pérdida de presión por falta de volumen de aire disponible, sugiero la eliminación de algunos consumos principales, tales como:

- Descanso rotor KKK: el cual se encuentra pronto a ser reemplazado por una central de enfriamiento hidráulica.
- Agitador lavado de gases: se sugiere reemplazar por un agitador mecánico, con el fin de disminuir el consumo de aire y evitar cavitación en las bombas extractoras del proceso de lavado de gases.
- Anillo refrigeración Convertidor 1: pronto a ser eliminado por la campaña de reemplazo de convertidor.

Eliminando de consumos irregulares, la capacidad acumulada actual es capaz de abastecer los requerimientos de aire comprimido existentes en acería.

Si se erradica los equipos antes mencionados, se producirá un ahorro de 19.191.519 m³ de aire al año, lo que corresponde a un ahorro anual del 55%. Esto implica que se produce un ahorro de dinero al año de \$48.700.400 al no comprar esta cantidad de aire comprimido a INDURA.

Acería cuenta con equipos, los que, pese al paso del tiempo, aún se encuentran funcionando. Este es el caso del compresor a pistones Westhinhouse, el cual se encuentra instalado desde 1975, pero no se tiene mayor información de las capacidades de flujo que entrega. Es por esto que recomiendo el reemplazo de este compresor. Para este reemplazo, sugiero realizar las instalaciones correspondientes a la alternativa N°2, que corresponde al traslado de los equipos usados al sector de desgasificador, con esto se garantiza una baja pérdida de carga debido a la proximidad de la conexión (20 metros) y la capacidad de abastecer los consumos de aire comprimido si es que el suministro entregado de combustibles falle.

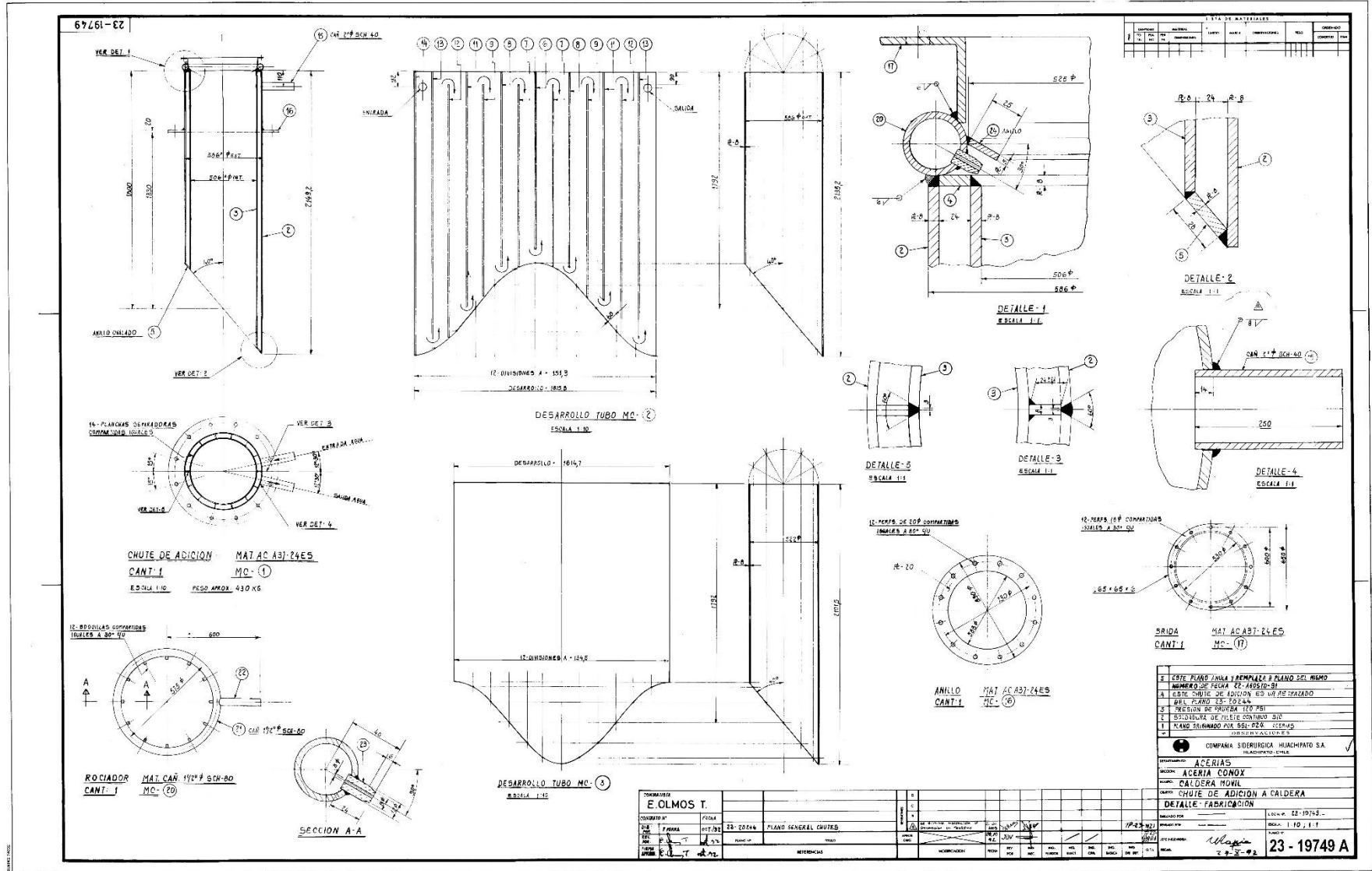
La evacuación económica realizada, la cual comprara la recuperación de los equipos usados versus la instalación de equipos nuevos, arroja como resultado que es factible la recuperación de los equipos usados, ya que se observa que esta es la alternativa que genera menores costos anuales equivalentes (CAE). Si se lleva todos los costos a valor actual, los flujos de dinero son mucho menores al seleccionar los equipos usados, por los que recomiendo trasladar los equipos usados desde el sector de planchones al sector del desgasificador.

10. Bibliografía

- CISNEROS, Luis., “Manual de Neumática”-3era edición en inglés Editorial Blume, Milanese de, 21-23 Barcelona.
- “Dispositivos Neumáticos Introducción y Fundamentos”, Mar Combo Boixareu editores, Barcelona - 7 (España).
- CARNICER, E., (1977). Aire Comprimido Teoría y Cálculo de las Instalaciones. Ed. Gustavo Gili S.A., Barcelona.
- Manual Aire Comprimido Atlas Copco, 2011.
- Aire Comprimido fuente de energía, Stefan Hesse, 2002.
- Catalogo “hb ar comprimido”
- Manuales de operación maquinaria existente en Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.

Anexos

Anexo 1. Plano Sello Adiciones



Anexo 10. Evaluación técnica equipos planchones

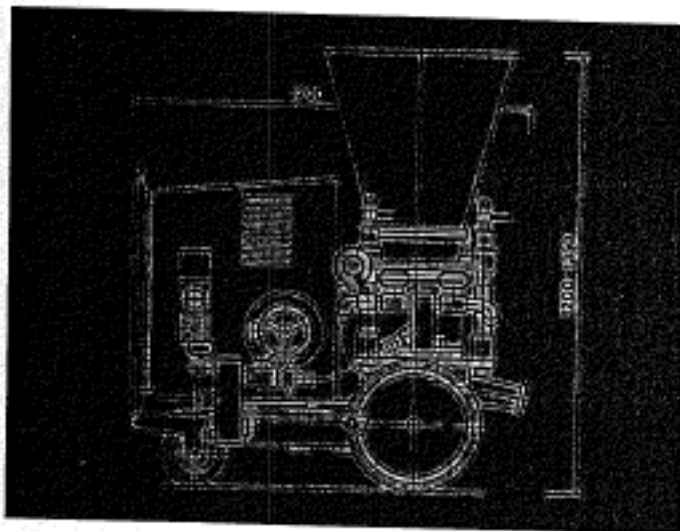
ORDEN DE COMPRA N° 4531437853						
Fecha Emisión	Versión	Su Referencia			Lugar de Entrega	
22.11.2019	0 - 22.11.2019				Avenida Gran Bretaña 2910 Talcahuano	
ATLAS COPCO CHILE SPA Proveedor SAP: 1022556 RUT: 76783709-7 Dirección: PANAMERICANA NORTE 5001 Ciudad: CONCHALI, SANTIAGO País: Chile At. : Fono: E-mail: jorge.pacheco@cl.atlascopco.com					Centro/Faena	Almacén/Bodega
					Talcahuano	
					Persona de contacto:	
					Erwin Monsalve S. E-mail: emonsalve@csh.cl Fono: 5641-2502460	
					Condiciones de pago: Pago 30 días, fecha recepción factura	
Referencia: Solped 1010792471-10. CAP-2019-ACC-0463.					Moneda: CLP	
					Facturación : Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. RUT: 94.637.000-2 Avenida Gran Bretaña 2910 Talcahuano Giro: Industria Siderúrgica y Metalúrgica	
Pos.	Cantidad	Unidad	Código SAP	Fecha Entrega	Precio Unitario	Total
00010	1,00	C/U		31.12.2019	713.610	713.610
Descripción: MCC.se solicita evaluacion tec.Comp. G75 MCC.se solicita evaluacion tec.Comp. G75 23.09.2019 14:02:07 UTC-3 ROBERTO ANDRES CARRILLO (RCARRILLO) Realizar evaluación técnica a ambos compresores G75 1. Revisar estado de motor eléctrico. 2. Revisar Cierres 3. Revisar componentes eléctricos. 4. Revisar engrase del motor. 5. Revisar nivel de aceite. 6. Revisar refrigeración de aire. 7. Comprobar función de refrigerador. 8. Comprobar elementos / correas. 9. Revisar condensaciones. 10.Revisar indicador de presión y temperatura. 11.Revisar fugas de aire , agua y aceite. 12.Limpiar filtro aire y carcasa filtro. 4.- Cualquier duda o consulta contactar:						

Anexo 19. Manual máquina ALIVA



Aliva 246 Máquina de proyección en seco

Características técnicas



Dimensiones

Altura max.	1200-1350 mm
Anchura max.	700 mm
Longitud max.	1200 mm
Peso aprox.	300 kg

Modo de propulsión	Capacidad de transporte	Telemando
Accionamiento eléctrico	Rotor	m³/h
Rendimiento: 2,2 kW	0,7	0,4
Número de revoluciones: 1500 r.p.m.	2,0	1,1
Clase de protección: IP 44	3,6	2,1
Tensión: normal 380 V, 50 Hz	5,6	3,2
Otras: 220 V, 50/60 Hz		
440 V, 60 Hz; 500 V, 50 Hz		
Accionamiento eléctrico con variador de velocidad	Rotor	m³/h
Rendimiento: 2,2 kW	0,7	min. 0,2 max. 0,5
Número de revoluciones: 300-1800 r.p.m.	2,0	min. 0,6 max. 1,4
Clase de protección: IP 44	3,6	min. 1,1 max. 2,5
Tensión: normal 380 V, 50 Hz	5,6	min. 1,7 max. 4,0
Otras: 220 V, 50/60 Hz		
440 V, 60 Hz; 500 V, 50 Hz		
Accionamiento por aire	Rotor	m³/h
Rendimiento: 3 kW	0,7	min. 0,2 max. 0,5
Número de revoluciones: 300-1800 r.p.m.	2,0	min. 0,6 max. 1,4
Presión: 3,5 bar	3,6	min. 1,1 max. 2,5
Consumo de aire: 4 m ³ /min	5,6	min. 1,7 max. 4,0



Anexo 28. Manual Slag Stopper



Confidential
 CAP Acero - Huachipato Plant (Chile)
 CSH - BOF CV #2 Revamp
 CSH Slagstopper BOF CV#2

Checked
 Primetals Technologies Austria GmbH
 Engineering Converter plant
 I&S EN ECO&CS

Detail Engineering

The content of this document is confidential and is intended for the use of the recipient only. It is not to be distributed, copied, or otherwise used without the prior written consent of the owner. The information contained herein is confidential and its disclosure or use for any other purpose is strictly prohibited.

9.2 Data of Pneumatic Control Panel

Gas consumption and pressures (apply to one slag stopper device)

Gas consumption per heat (no pre slag usage of slag stopper accounted)				
	Pressure (Mpa)	Duration of gas flow (sec/heat)	Gas flow (Nm ³ /min.)	Gas consumption (Nm ³)
Retaining (N ₂)	1,2 - 1,6*	10	240	40
Control (N ₂)	1,5 - 2,0*	4	16	1,1
Cooling (N ₂)	1,2 - 1,6*	240	20	50
Cooling (Air) or Nitrogen (N ₂)	0,5	**	4	170

*) exact value will be defined during hot commissioning (depends on the plant conditions)

**) continuous except 250 seconds

9.3 Required utility pressure at T.O.P. existing values

Nitrogen

Flow rate	From existing station	Min 240Nm ³ /min
Pressure	1,4 MPa	
Pressure dew point	- 40 °C	
Purity	99,6 %	
Top	Inlet flange of pneumatic CP	

Compressed Air

Flow rate	Min.	4Nm³/min
Pressure	Min.	0,4-0,6 MPa
Pressure dew point	- 40 °C	
Quality	Dry, clean, oilfree	
Top	Inlet flange of pneumatic CP	

El contenido de este documento es confidencial y está destinado al uso exclusivo del destinatario. No se debe distribuir, copiar o utilizar de ninguna manera sin el consentimiento escrito del propietario. Toda información contenida en este documento es confidencial y su divulgación o uso para cualquier otro propósito está estrictamente prohibido.

9.4 Electrical data

Voltage Levels:

Power supply for control cubicles 230 VAC - 50 c/s (UPS)

Anexo 37. Manual Máquina Colocadora de Dardos

Presión de servicio normal para el mecanismo de percusión y el rotador neumático

5 a 7 bar de sobrepresión; la presión no debe caer, no obstante, por debajo de 4 bar durante el funcionamiento. En caso de que el aire esté fuertemente contaminado debe colocarse un filtro de presión previo.

Consumo de aire a 6 bar:

Martillo de contragolpe HM 760 GHG	8 m ³ /min
------------------------------------	-----------------------

ATENCIÓN:

En las máquinas barrenadoras de percusión nuevas debe comprobarse si los tornillos de apriete y todos los tornillos y tuercas se han aflojado, reapretándolos si es necesario, tras un corto tiempo de funcionamiento (uno a dos días).

2. Reparación y conservación**Pares de apriete:**

Para los tornillos de apriete de los dos martillos y para los tornillos de fijación de los martillos el par de apriete es de 400 Nm.

Importante:

Los tornillos deben ser apretados imprescindiblemente con una llave dinamométrica. Debe tenerse en cuenta que los tornillos deben ser apretados uniformemente por etapas con los siguientes valores intermedios:

100 – 200 – 300 Nm

Desarmado

Comprobar completamente la máquina barrenadora de percusión tras aprox. 100 horas de servicio. Además, debe ser desarmada cuando lo haga necesario una avería, la disminución de potencia o el aumento en el consumo de aire.

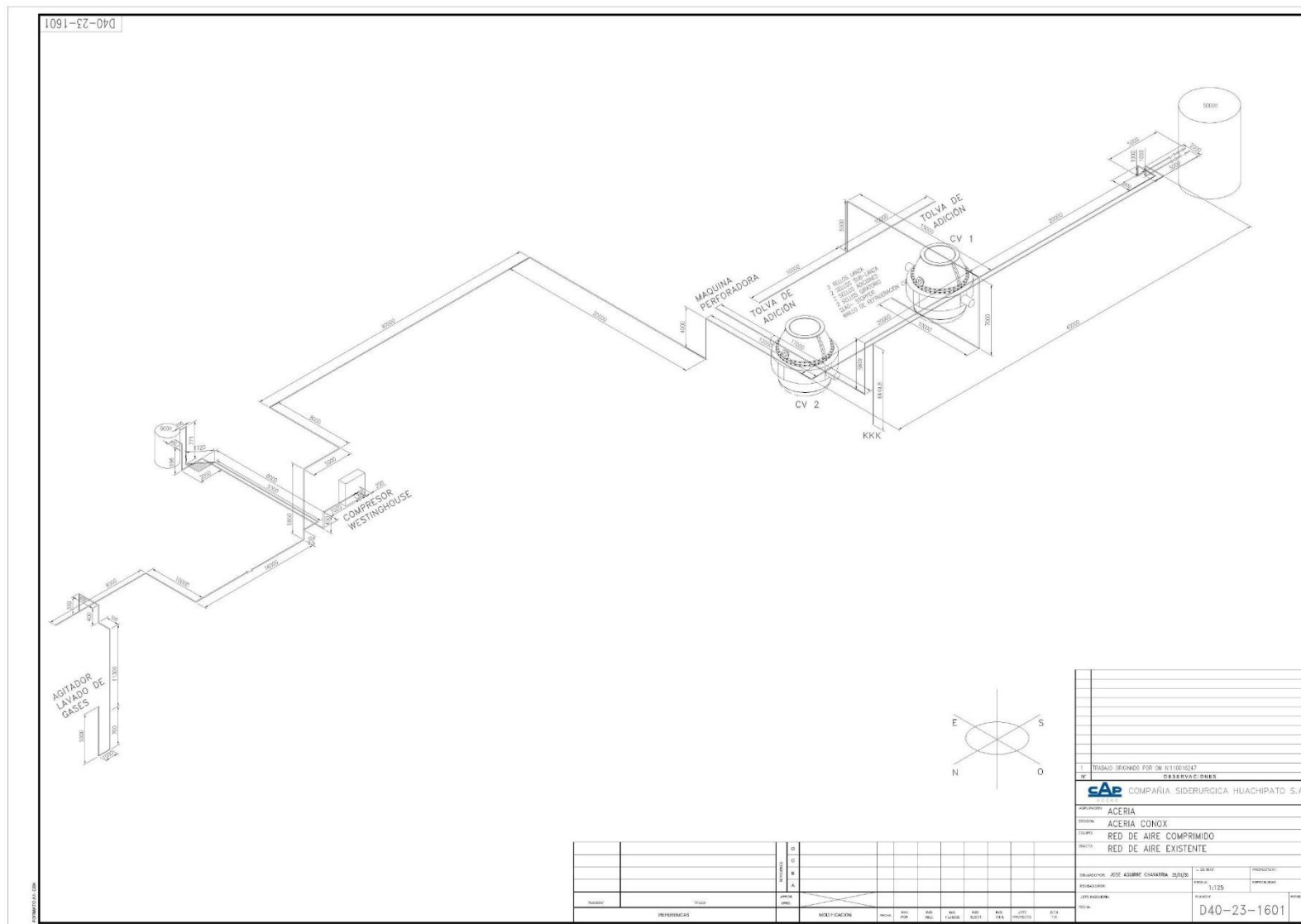
Aflojar las tuercas pos. 12.2 con una llave SW 32.

Sacar por completo la caja delantera. Sacar el mando del cilindro con la ayuda del émbolo por golpeo. Utilizar una pieza intermedia adecuada de madera, cobre o similar (70 – 80 mm \varnothing x 100 mm de longitud) para no dañar la superficie de impacto del émbolo.

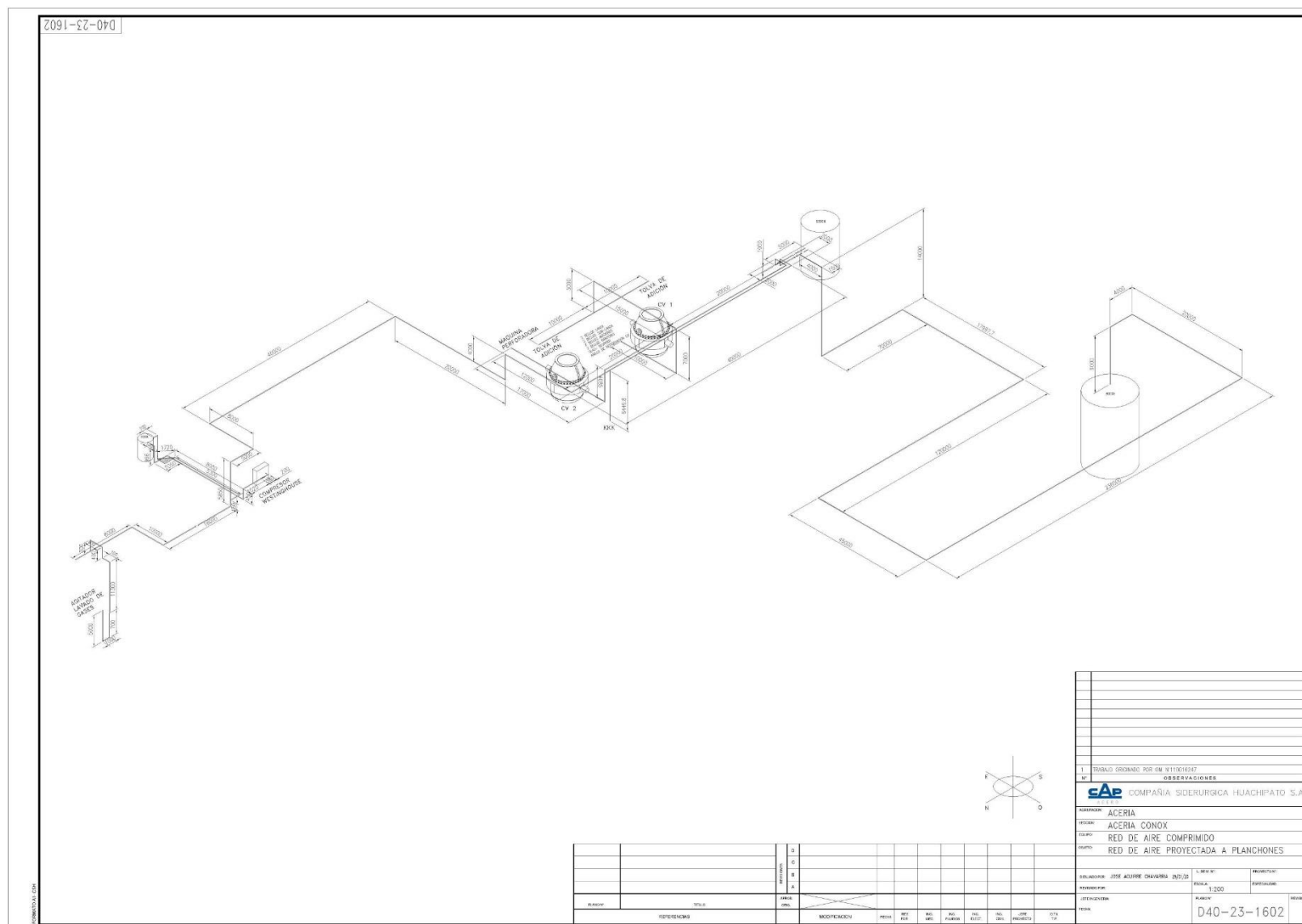
Comprobar que el mando no está sucio. Seguir desarmando los restantes grupos constructivos sólo si es necesario.

Si la tolerancia de ajuste entre la guía del émbolo y el émbolo es mayor de 0,2 mm, extraer a presión el casquillo de bronce y sustituirlo por una pieza nueva.

Anexo 45. Plano N°1 (Isométrico red de distribución existente)



Anexo 49. Plano N°2 (Alternativa N°1)



1. TRAZADO ORDINADO POR CNH INTPRO/SEVET		CORRECCIONES	
COMPANIA SIDERURGICA HUACHIPATO S.A.		ACERIA	
ACERIA CONOX		RED DE AIRE COMPRIMIDO	
RED DE AIRE PROYECTADA A PLANCHONES		DISEÑO	
ELABORADO	JOSE AGUIRRE CHAFARRIN	FECHA	02/02/12
PROYECTADO		ESCALA	1:200
REVISADO		PROYECTO	
APROBADO			

D	C	B	A

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Anexo 50. Plano N°3 (Alternativa N°2)

