

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



CONSUMO DE AIRE PARA PERFORADORAS JACK LEG

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

YHON MIGUEL LOAIZA LUICHO

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO, PERU

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

CONSUMO DE AIRE PARA PERFORADORAS JACK LEG

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

YHON MIGUEL LOAIZA LUICHO

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE

:

M.Sc. Marjo Seraffin Cuentas Alvarado

PRIMER MIEMBRO

:

Ing. Owal Alfredo Velasquez Viza

SEGUNDO MIEMBRO

:

M.Sc. Ing. Fidel Huisa Mamani

TEMA: Servicios auxiliares requeridos en Operaciones Mineras

ÁREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 de octubre del 2019

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a Dios

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos

A mis hermanos y demás familia en general por el apoyo que siempre brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, a la Facultad de Ingeniería de Minas, a los docentes del curso de suficiencia profesional, por haberme instruido y formado, depositando conocimientos y confianza en mi persona dándome las armas necesarias para poder desarrollarme como profesional en este importante rubro de la minería

A mí familia, hermanos por su apoyo incondicional en todo aspecto, a mis amigos y docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que contribuyeron en mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
PALABRAS CLAVE:	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. METODOLOGÍA.....	12
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
IV. CONCLUSIONES.....	18
BIBLIOGRAFÍA	19

ÍNDICE DE TABLAS

pág.

Tabla N° 01: Características de una perforadora Jack Leg – Secan S250	13
Tabla N° 02: Presión atmosférica en función de la altitud.	14
Tabla N° 03: Resumen del consumo de aire comprimido de una máquina perforadora ajustado.....	15
Tabla N° 04: Resumen de los cálculos para pérdida de presión en tuberías.....	16
Tabla N° 05: Resumen de los cálculos para pérdida de presión en mangueras	16
Tabla N° 06: Resumen de los cálculos de presiones ajustados.....	17
Tabla N° 07: Análisis de la longitud equivalente y presión de salida de las tuberías	18
Tabla N° 08: Análisis de caída de presión en tajos.....	18

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 01: Factor de simultaneidad.....	15

ACRONIMOS

cfm	: pies cúbicos por minuto
ft	: pie
in	: pulgada
in ²	: pulgada cuadrada
psi ó psig	: libra de fuerza por pulgada cuadrada
°F	: temperatura en grados Fahrenheit
cp	: capacidad calorífica
fps	: pies por segundo
lbm	: libra mol
lbf	: libra fuerza
Rpa	: Rampa
Tj	: Tajo



SERVICIOS AUXILIARES REQUERIDOS EN OPERACIONES MINERAS



Consumo de aire para perforadoras Jack Leg

Bach. Yhon Miguel Loaiza Luicho

Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Puno, Perú.
yhonmig@gmail.com – 960983780 – Orcid: 0000-0003-4870-822X

RESUMEN

En el presente artículo científico analizaremos el consumo de aire comprimido para perforadoras Jack Leg modelo Secan-250 y también determinaremos la presión de salida de aire comprimido, el presente artículo está basado en el proyecto de tesis “Diseño óptimo de la red de distribución de aire comprimido para reducir costos en la zona de Mariana - Unidad Operativa Arcata” provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa el año 2013, los objetivos del estudio realizado fueron determinar el consumo de aire de una perforadora Jack Leg a una determinada altitud con los ajustes por pérdidas en las tuberías y accesorios, determinar la presión que llega a las máquinas perforadoras. El presente artículo tiene una metodología observacional y retrospectivo, se hace una descripción de los datos, análisis e interpretación. Los resultados obtenidos para una máquina perforadora Jack Leg modelo Secan a 4600 m.s.n.m. que requiere 85 cfm y la presión de aire comprimido de salida de los compresores deben ser 100.98 psi para que la presión que llegue a las máquinas perforadoras Jack Leg sea 90 psi y trabaje sin hacer ningún sobreesfuerzo. En conclusión, es necesario elevar la presión de salida de los compresores, por la cantidad de aire requerido no hay ningún problema debido a que las compresoras si satisfacen el requerimiento de aire comprimido.

PALABRAS CLAVE: Consumo de aire, perforadoras Jack Leg, aire comprimido.

Air Consumption for Jack Leg Drills

ABSTRACT

In the present scientific article we will analyze the consumption of compressed air for Jack Leg drills, model Secan-250 and we will also determine the compressed air outlet pressure, this article is based on the thesis project “Optimal Design of the Air Distribution Network Compressed to reduce costs in the Mariana Zone - Arcata Operating Unit ”province of Condesuyos, Department of Arequipa in 2013, the objectives of the study carried out were to determine the air consumption of a Jack Leg drilling machine at a certain altitude with adjustments for losses in the pipes and fittings, determine the pressure that reaches the drilling machines. This article has an observational and retrospective methodology, a description of the data, analysis and interpretation is made. The results obtained for a Dry leg Jack Leg drilling machine at 4600 m.a.s.l. which requires 85 cfm and the compressed air pressure of the compressors outlet must be 100.98 psi so that the pressure that reaches the Jack Leg drilling machines is 90 psi and works without overstressing. In conclusion, it is necessary to raise the compressor outlet pressure, because of the amount of air required there is no problem because the compressors do satisfy the compressed air requirement.

KEYWORDS: Air consumption, Jack Leg drills, compressed air.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de aire comprimido ha experimentado en estos últimos tiempos un auge inusitado debido a la exigencia de una automatización y racionalización en el desarrollo del trabajo minero. Producido en condiciones desfavorables, el aire comprimido puede resultar costoso, pero si se genera correctamente puede ser muy económico. (Montoya, 2006).

El propósito de toda red de aire comprimido es la de proveer la cantidad apropiada de aire a la presión y calidad adecuada. con economía de costos. La cantidad apropiada. la calidad y la presión adecuada de aire son factores determinantes para el buen rendimiento de las herramientas y el beneficio del aire comprimido. (Pajilla, 1999)

El aire comprimido no es en sí mismo una forma de energía, pero si es un medio para transferirla o convertirla. Otros medios son la electricidad y la hidráulica (la presión hidráulica es la presión transmitida por un líquido incomprensible, como por ejemplo agua, aceite, etc. transportado por una bomba desde cualquier depósito, al lugar de utilización). Comparando el aire comprimido (como el conjunto compresor, red de aire, y máquina perforadora Jack Leg) con la electricidad (como el conjunto generador, cables y motor eléctrico), se encontrará que la electricidad es más eficiente, es decir se utiliza

mejor su energía. Pero entonces surge la pregunta porque el aire comprimido es tan conocido y usado. La respuesta es que se puede sacrificar algo de energía, con el objeto de ganar notablemente seguridad y velocidad de trabajo. Con los equipos de aire comprimido se puede realizar el trabajo con más seguridad, más económico y más fácil, más fácil debido a que la máquina perforadora Jack Leg es más ligera, más compacta y más ergonómica que la máquina eléctrica. Puede hacer el trabajo más económico porque establece la relación alta potencia / peso de la herramienta neumática. A medida que se avanza en las operaciones mineras existe la necesidad de mejorar, evaluar y optimizar el sistema de aire comprimido debido a las bajas presiones con las que se cuenta y la deficiente distribución de la red de tuberías en la mina, y así poder aplicar una solución específica para el mejor desarrollo de las labores de producción y desarrollo en minería que hacen uso de aire comprimido. Es también difícil creer que consumos "tan chicos" como el aire que puede salir de un orificio de 1/4" de diámetro pueda afectar significativamente el comportamiento del sistema. Sin embargo, si se considera que por cada uno de éstos se escapa una cantidad de aire equivalente al flujo producido por un compresor de 25 HP, pronto vemos que tan sólo 20 puntos de pérdida como éste, distribuidos en toda la labor, pueden llegar a anular por completo el

aporte de un compresor de 500 HP. (López, 2013)

El mayor problema que se enfrenta en el diseño de la red de tuberías, es la caída de presión a lo largo de la red, debida al rozamiento de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería y/o accesorio. Existen varios métodos para determinar esta caída, siendo la ecuación de Darcy-Weisbach uno de los más utilizados debido a que puede ser empleada para cualquier fluido y puede ser deducida por análisis dimensional.(Arenas, 2017)

Así el cálculo y selección de los componentes del sistema, se desarrollarán desde la capacidad de aire requerida, cálculos de los factores por altura, por utilización y por simultaneidad, consumos por niveles, capacidad requerida de compresores, hasta el dimensionamiento de las tuberías de transporte del aire comprimido. Por lo anteriormente expresado, el presente trabajo tuvo como objetivo, dentro del marco de los servicios generales, proporcionar un aire comprimido confiable y que cumpla con los parámetros de operación, para que puedan trabajar los equipos neumáticos que intervienen en la rehabilitación y posteriormente en la producción.(Carranza, 2002)

Esta investigación resalta la importancia que tiene el sistema de aire comprimido y su transmisión mediante las tuberías para el incremento de la producción y consecuentemente

para la reducción de costos, teniendo en cuenta que el total de los equipos de perforación usan energía neumática, de modo que a nuestro criterio constituye un problema básico que redundará directamente en la producción y rentabilidad de un proyecto minero. (Aedo, 2013)

El tiempo estándar de perforación en el método convencional realce, obtenido mediante la aplicación del estudio de tiempos en la fase de extracción de la Mina Arcata es de 211.95 minutos/malla. Se registraron 900 datos, repartidos en 180 número de observaciones con un nivel de confianza del 96% y un margen de error de 7.30% impuesto por especialistas de la minera ya que se excluyeron las 384 observaciones obtenidas anteriormente con un error del 5% por las condiciones operativas y variables que influyen en la variabilidad de los tiempos como son el RMR, altura de tajos, presiones de aire y agua entre otros. (Castro, 2018)

Según un estudio de la Mina esperanza, su sistema de aire comprimido cuenta con 04 compresoras diesel: Una ingersoll rand xp 750 de 750 cfm, una ingersoll rand 375 de 375 cfm, una ingersoll rand 260 de 260 cfm, un atlas copco xams 1050 cd de 1050 cfm; y también una compresora eléctrica atlas copco Ga90 de 500 cfm. En total la capacidad de aire permite operar 12 máquinas perforadoras simultaneas y 04 palas neumáticas (consumo total de aire: 2 844 cfm). (Girón, 2015)

El uso de las brocas y aceros de perforación que se da para cada zona de la mina y de acuerdo a los procedimientos escritos para el uso de estas así como la dimensión de la broca a utilizar, las presiones de aire y el tiempo a la que debe de realizarse el afilado permitió mejorar la vida útil de los aceros de perforación y se redujo los costos de los mismos. (Mallma, 2013)

La humedad del aire influye sobre el flujo másico de gas entregado por el compresor, la humedad del gas debe ser lo más baja posible, se recomienda que existan trampas de vapor y drenajes para el condensado del aire, las cuales permitirán disminuir pérdidas metalúrgicas por el concepto de la mezcla gas y mineral a transportar. Una disminución de la humedad permite disminuir el consumo de energía por concepto de transportación neumática. (Hinojosa, 2007)

La relevancia del presente estudio radica en la importancia del aire comprimido en la operación de ciclo de perforación, esta es muy importante porque de esta dependen los costos de perforación e influye en la rentabilidad y viabilidad de los proyectos mineros.

En el presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar el consumo de aire de una perforadora Jack Leg a una determinada altitud con los ajustes por pérdidas en las tuberías, accesorios y la presión que llega a las máquinas perforadoras.

Según Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, (2016) “Los tanques de aire comprimido y los balones de gas deben estar provistos de manómetros indicadores de presión; deben tener una o más válvulas de seguridad y serán inspeccionados periódicamente, junto con la línea matriz de aire. El titular de actividad minera llevará un registro de las operaciones de limpieza y mantenimiento” se toma en cuenta por seguridad de las redes de tuberías.

2. METODOLOGÍA

Para el proceso del presente trabajo, se realizó una recopilación de información secundaria en base trabajo realizado en la unidad operativa Arcata – Zona Mariana (Arenas, 2017), ubicado en el distrito de Cayarani provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa. Geográficamente se encuentra al NE del nevado Coropuna, alrededor de 180 Km. al NE en línea recta de la ciudad de Arequipa en la cordillera occidental del Perú (Zona 18) flanco oeste y a 4600 m.s.n.m. y en ello se describió en forma retrospectivo el consumo de aire de una perforadora Jack Leg.

El estudio realizado es un estudio descriptivo inferencial. Se realizó un análisis de los datos ya establecidos, por lo que los materiales comprenderán datos, tablas, formulas y cálculos a describir para un mejor entendimiento del consumo de aire comprimido para perforadoras

Jack leg en mina. Para una buena estimación del consumo de aire para las máquinas perforadoras es conveniente conocer el plan de minado, con el número de máquinas perforadoras que se va a utilizar. Asimismo, en este análisis de caso se han considerado trabajos de tesis, revistas, libros, artículos, además conclusión y recomendación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La máquina Perforadora Jack Leg-Secan S250 con barra de avance que puede ser usada para realizar taladros horizontales e inclinados, se usa mayormente para la construcción de galerías, subniveles, Rampas; la barra de avance para sostener la perforadora y proporcionar comodidad de manipulación al perforista. (Alcantara, 2012).

El consumo de aire comprimido por máquina perforadora Jack Leg es:

Consumo de aire: 175 cfm
Presión de trabajo: 90 psi

Este consumo de aire y presión de trabajo se da a nivel del mar, a continuación, presentaremos el cálculo ajustado por altura.

Tabla N° 01: Características de una perforadora Jack Leg – Secan S250

Specifications	sistem métric	U.S.
		customary system
Bore	79.4 mm	3.126 in
Stroke	73.25 mm	2.884 in
Blows/minute	2200/ 6.2 bar	90 psi
Air Consumption	4.4 m3 / min o 6.2 bar	175 cfm a 90 psi
Air connection		1 in BSP
Water Connection		½ in BSP

Fuente: (Boart Longyear, 2005)

La presión atmosférica es la presión que ejerce el aire sobre la tierra, en un punto cualquiera coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera. La mayoría de los catálogos definen el volumen estándar de aire libre (standard free air volumen) cómo 1 ft³ de aire a 60 °F, 14.7 psi y 0% de humedad relativa, el caudal es expresado normalmente en cfm o cfm. Un cfm es 1 ft³ de aire a cualquier condición, el aire comprimido suministrado a las máquinas perforadoras en el lugar de trabajo debe reunir las características del requerimiento de la máquina perforadora a utilizar. Se presenta un cuadro con mediciones de la presión atmosférica de acuerdo a la altitud. (Arenas, 2017)

Tabla N° 02: Presión atmosférica en función de la altitud.

Altitud sobre el nivel del mar		Presión barométrica		Presión atmosférica Absoluta		
Pies	metros	pulgadas de Hg	mm Hg	psi	kg/cm2	kPa
0	0	29.9	760	14.7	1.03	101
500	152	29.4	746	14.4	1.01	99.5
1000	305	28.9	733	14.2	0.997	97.7
1500	457	28.3	720	13.9	0.979	96
2000	610	27.8	707	13.7	0.961	94.2
2500	762	27.3	694	13.4	0.943	92.5
3000	914	26.8	681	13.2	0.926	90.8
3500	1067	26.3	669	12.9	0.909	89.1
4000	1219	25.8	656	12.7	0.893	87.5
4500	1372	25.4	644	12.5	0.876	85.9
5000	1524	24.9	632	12.2	0.86	84.3
6000	1829	24	609	11.8	0.828	81.2
7000	2134	23.1	586	11.3	0.797	78.2
8000	2438	22.2	564	10.9	0.768	75.3
9000	2743	21.4	543	10.5	0.739	72.4
10000	3048	20.6	523	10.1	0.711	69.7
15000	4572	16.9	429	8.29	0.583	57.2
20000	6096	13.8	349	6.75	0.475	46.6
25000	7620	11.1	282	5.45	0.384	37.6
30000	9144	8.9	226	4.36	0.307	30.1

Fuente: (The engineering Tool Box, 2003)

La siguiente ecuación para obtener la presión atmosférica en función de la altitud:

$$Pe=101.325(1-2.2557 \times 10^{-5}xz)^{5.25588}$$

$$1 \text{ psi}=6.894.8 \text{ Pa}$$

Para una altitud de 4600 m.s.n.m.

$$Pe=101.325(1-2.2557 \times 10^{-5}x4600)^{5.25588}$$

$$Pe=56,970.60 \text{ Pa}$$

$$Pe=8.26 \text{ psi}$$

Primer ajuste del consumo de las máquinas perforadoras por altitud.

Factor de ajuste Fi

$$Fi=Ps/Pe$$

$$Fi=14.70/8.26$$

$$Fi=1.78$$

Consumo de aire ajustado por altitud =175 cfm x 1.7

Consumo de aire ajustado por altitud =311.5 cfm

El ajuste de consumo por fuga varía en las minas en un rango de 5 a 20% y se divide en:

Fugas de la conexión entre la manguera y la maquina 10% =311.5 cfm x 1.1

Fugas de la conexión entre la manguera y la maquina 10% =342.65 cfm

Fugas entre la conexión de tubería y la manguera 10% =342.65 cfm x 1.1

Fugas entre la conexión de tubería y la manguera 10% =376.92 cfm

A su vez, el ajuste de consumo por utilización efectiva corresponde al tiempo que el componente neumático está parado por índole de su trabajo. Este margen de operación intermitente varía según el servicio de cada herramienta, máquina o accionamiento. Para el presente análisis se considera 50% de utilización efectiva (esto tiene concordancia con el hecho que la perforación aproximadamente dura la mitad de la guardia).

Consumo ajustado por utilización efectiva =376.92 cfm x 0.5

Consumo ajustado por utilización efectiva =188.46 cfm

Por otra parte, el ajuste de consumo por simultaneidad se da en funcionamiento diversas máquinas el promedio de los coeficientes de utilización de cada de ellas nos dará una cifra denominada coeficiente de simultaneidad. Ésta depende del número de máquinas como ejemplo tomaremos un máximo de 58 máquinas. De acuerdo a esto se tiene un factor de simultaneidad de 0.45. tal como se muestra en la (Figura 1).

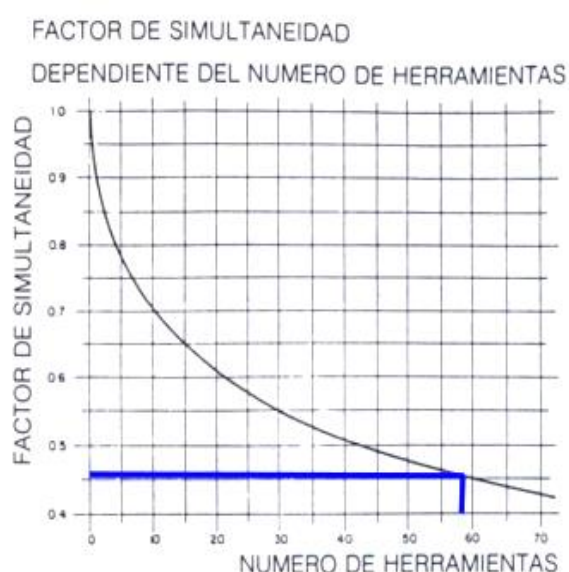


Figura 01: Factor de simultaneidad, nos muestra la relación del número de herramientas con el factor de simultaneidad de cada máquina perforadora.

Fuente: (Arenas, 2017).

Consumo ajustado por factor de simultaneidad=188.46 cfm x 0.45

Consumo ajustado por factor de simultaneidad=84.81 cfm

Consumo ajustado por factor de simultaneidad≈85 cfm

De manera que, el consumo total de aire comprimido por máquina perforadora a una altura de 4600 m.s.n.m. es de 85cfm tal como se muestra en la (Tabla 03).

Tabla N° 03: Resumen del consumo de aire comprimido de una máquina perforadora ajustado.

Consumo de aire a 0 m.s.n.m.	175 cfm
Consumo de aire ajustado por altitud a 4600 m.s.n.m.	311.5 cfm
Fugas de la conexión entre la manguera y la maquina 10%	342.65 cfm
Fugas entre la conexión de tubería y la manguera 10%	376.92 cfm
Consumo ajustado por utilización efectiva 50 %	188.46 cfm
Consumo ajustado por factor de simultaneidad, según grafico	84.81 cfm
Consumo total por máquina perforadora	85 cfm

Fuente: (Arenas, 2017).

Asimismo, los sistemas de distribución de aire comprimido son tridimensionales, es decir tenemos cambios en altura (chimeneas, inclinados y rampas) los cuales impactan en variaciones de presión, para esto se tiene la ecuación de Bernoulli.

$$\text{Ecuación de Bernoulli: } \Delta Ph = \frac{\delta H}{144}$$

Teniendo como resultados por diferencia de altura de 394ft y una densidad del fluido de 0.5624lbm/ft³

Además, las pérdidas de presión en tubería se han realizado el cálculo por la ecuación de Darcy-

Weisbach, esta asume un proceso isotérmico y en consecuencia no hay cambios en la densidad del fluido. (Los resultados se muestran en la tabla 04)

$$\text{Ecuación de Darcy Weibach: } \Delta P = \frac{f \delta L v^3}{288 D g}$$

Tabla N° 04: Resumen de los cálculos para pérdida de presión en tuberías.

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
Caudal de aire	Q	4930	cfm
Longitud de tubería	L	3935	ft
Diámetro interno de tubería	D	8.071	in
Área transversal de tubería	A	51.16	in2
Presión de entrada	P1	100	psi
Temperatura interna	T	60	°F
Presión atmosférica (x msnm)	Pa	8.26	psi
Viscosidad absoluta	va	0.0018	cp
Constante de gas para aire	Rc	53.34	ft lbf/(lbm °R)
Rugosidad relativa	E/D	0.00022	
Constante experimental	g	32.174	ft lbf/(lbf set2)
Radio de compresión	r	13.11	
Caudal de aire	Q	376.15	cfm
Velocidad de aire	v	17.65	fps
Temperatura absoluta	To	519.69	°R
Densidad de fluido	δ	0.5624	lbm/ft3
Viscosidad relativa	v	0.0336	cp ft3/lbm
Numero de Reynolds	R	551.296	-
Factor de rugosidad de Moody	f	0.01564	-
Caída de Presión	Δp	1.73	psi
Caída de presión ajustada (F.D.)	Δp	2.34	psi
Presión de Salida	P2	99.2	psi

Fuente: (Arenas, 2017).

Consideramos ahora, los cálculos para el Tj 833 porque es el que presenta la mayor variación en la presión. Se considera la cantidad de aire que

entra de la tubería a la manguera que es de 342.65 cfm. Los cuales se muestran en la tabla 05.

Tabla N° 05: Resumen de los cálculos para pérdida de presión en mangueras

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
Caudal de aire	Q	342.65	cfm
Longitud de tubería	L	66	ft
Diámetro interno de tubería	D	1	in
Área transversal de tubería	A	0.785	in2
Presión de entrada	P1	94.81	psi
Temperatura interna	T	60	°F
Presión atmosférica (x msnm)	Pa	8.26	psi
Viscosidad absoluta	va	0.018	cp
Constante de gas para aire	Rc	53.34	ft lbf/(lbm °R)
Rugosidad relativa	E/D	0.000001	
Constante experimental	g	32.174	ft lbf/(lbf set2)
Radio de compresión	r	12.48	
Caudal de aire	Q	27.46	cfm
Velocidad de aire	v	83.91	fps
Temperatura absoluta	To	519.69	°R
Densidad de fluido	δ	0.5354	lbm/ft3
Viscosidad relativa	v	0.0336	cp ft3/lbm
Numero de Reynolds	R	309.255	-
Factor de rugosidad de Moody	f	0.014	-
Caída de Presión	Δp	4.37	psi
Caída de presión ajustada (F.D.)	Δp	5.9	psi
Presión de Salida	P2	88.90	psi

Fuente: (Arenas, 2017).

De donde resulta que, esta presión final no satisface los requerimientos de funcionamiento de la máquina perforada (88.90 psi < 90.00 psi).

Por ende, los caudales para la red ya han sido definidos y no van a ser modificados, la presión de entrada debe ser ajustada para cumplir con los

requerimientos de las máquinas perforadoras, la regla de validación es, que en cada uno de los frentes de trabajo llegue una presión de 90 psi. El método de cálculo se realiza en sentido contrario a como hemos venido haciéndolo, es decir partimos desde la máquina perforadora hacia el compresor. En la tabla 06 se presenta los cálculos de presiones ajustados.

Tabla N° 06: Resumen de los cálculos de presiones ajustados.

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
Caudal de aire	Q	342.65	cfm
Longitud de tubería	L	66	ft
Diámetro interno de tubería	D	1	in
Área transversal de tubería	A	0.785	in ²
Presión de entrada	P1	95.84	psi
Temperatura interna	T	60	°F
Presión atmosférica (x msnm)	Pa	8.26	psi
Viscosidad absoluta	va	0.018	cp
Constante de gas para aire	Rc	53.34	ft lbf/(lbm °R)
Rugosidad relativa	E/D	0.000001	
Constante experimental	g	32.174	ft lbf/(lbm set ²)
Radio de compresión	r	12.60	
Caudal de aire	Q	27.19	cfm
Velocidad de aire	v	83.08	fps
Temperatura absoluta	To	519.69	°R
Densidad de fluido	δ	0.5408	lbm/ft ³
Viscosidad relativa	v	0.0333	cp ft ³ /lbm
Numero de Reynolds	R	309.255	-
Factor de rugosidad de Moody	f	0.014	-
Caída de Presión	Δp	4.33	psi
Caída de presión ajustada (F.D.)	Δp	5.84	psi
Presión de Salida	P2	90.00	psi

Fuente: (Arenas, 2017).

Ahora puedo decir, para obtener una presión de entrada a la máquina perforadora de 90 psi que es la presión requerida por catálogo, la presión de salida de la tubería debe ser de **95.84 psi**, con este dato vamos a corregir los cálculos realizados anteriormente.

La alimentación al Tj. 833 es la que menos presión tenía, es en base a esta que se recalcula toda la red, como resultado se tiene en todos los frentes de trabajo (avances lineales y tajeos) tienen la presión necesaria para operar (≥ 95.84 psig), para esto la presión de salida del compresor es 100.98 psi.

Haciendo un análisis de la caída de presión se observa que para las labores donde existe más cantidad de accesorios (C90, C45, C15), la longitud equivalente es mayor y en consecuencia también habrá una mayor variación de presión. La tabla 07 muestra los resultados del análisis.

Se realiza un análisis para la caída de presión solo en los tajos, se observa que la longitud equivalente es menor, debido a un uso disminuido de los accesorios como son los (C15, C45, C90) y por lo tanto la caída de presión también será menor, estará afectado más bien por la longitud de la tubería. Los resultados se muestran en la tabla 08.

Tabla N° 07: Análisis de la longitud equivalente y presión de salida de las tuberías

Nivel	Veta	Descripción	Long. H (ft)	Long. V (ft)	VC	C 90°	C 45°	C 15°	Long. Equi (ft)	Long. Tot. H (ft)	Long. Tot. V (ft)	P entrada (psi)	P salida (psi)
4600	Mariana	Rpa. Positiva	1,706	256	1	0	0	81	264	1,970	256	96.42	95.45
4600	Mariana	4600 W7	3,932	0	2	3	6	12	182	4,114	0	96.12	96.11
4600	Mariana	4600 E7	3,708	0	2	1	6	14	200	3,908	0	96.13	96.13
4530	Mariana	4530 W10	3,823	0	2	2	3	10	231	4,054	0	96.87	96.86
4530	Mariana	4530 E11	3,569	0	2	2	2	13	229	3,798	0	96.85	96.84
4460	Mariana	4460 W7	3,417	0	2	2	3	12	210	3,627	0	97.71	97.7
4460	Mariana	4460 E9	2,844	0	1	1	2	9	219	3,063	0	97.64	97.56

Fuente:(Arenas,2017).

Tabla N° 08: Análisis de caída de presión en tajos.

Nivel	Veta	Descripción	L. Real V (ft)	L. Equi. (ft)	P. entrada (psi)	P. salida (psi)	ΔP (psi)	ΔPH (psi)	Caída P. total (psi)	Caída P. Acum. (psi)
4460	Mariana	Tj. 815	131	29	97.72	97.17	0.04	0.5	0.54	2.83
4460	Mariana	Tj. 795	131	29	97.72	97.17	0.04	0.5	0.54	2.83
4460	Mariana	Tj. 775	131	29	97.71	97.17	0.04	0.5	0.54	2.83
4460	Mariana	Tj. 755	131	29	97.71	97.17	0.04	0.5	0.54	2.83
4460	Mariana	Tj. 835	131	29	97.71	97.16	0.04	0.5	0.54	2.84
4460	Mariana	Tj. 845	131	29	97.69	97.15	0.04	0.5	0.54	2.85

Fuente: Fuente: (Arenas, 2017).

Estos cálculos analizados según Arenas, (2017), no presentan un ajuste por humedad del aire debido a que este influye sobre el flujo másico de gas entregado por el compresor, la humedad del gas debe ser lo más baja posible lo que permite disminuir el consumo de energía. Hinojosa, (2007) lo cual da pie a realizar una nueva investigación que incorpore la humedad en el cálculo del consumo de aire para máquinas perforadoras Jack leg.

4. CONCLUSIONES

- El caudal ajustado de aire comprimido de las máquinas perforadoras Jack Leg modelo secan - 250 según los factores descritos en la tabla 02 es: 85 cfm esto a una altitud de 4600 m.s.n.m.
- A partir de los cálculos realizados, se encontró que el abastecimiento del sistema de aire comprimido satisface los requerimientos de caudal de aire comprimido que necesita una máquina perforadora.
- Para que no haya una baja productividad en la operación de perforación la solución es hacer que el compresor trabaje con una mayor

presión para cubrir las pérdidas de presión en la línea de distribución y así lograr que las máquinas perforadoras trabajen de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

- Cabe mencionar que en la presión de aire requerida por una máquina perforadora en un frente de trabajo no es la suficiente, esto debido a que fue concebida para la exploración inicial de la estructura mineralizada y no para su desarrollo, preparación y explotación.
- La longitud equivalente de los accesorios juega un papel importante al realizar los cálculos de variación de presión de la red de tuberías, lo cual es muy importante tomar en cuenta al momento de realizar un diseño de red de tuberías.

BIBLIOGRAFÍA

- Aedo-Quiroz, F. (2013). *Diseño, calculo y evaluacion del sistema y red de aire comprimido en minas subterraneeas* (tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Arenas-Vera, V. A. (2017). *Diseño optimo de la red de distribución de aire comprimido para reducir costos en la zona de Mariana - Unidad Operativa Arcata* (tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Boart Longyear. (2005). *Tech Data MKT1562* (Vol. 1, p. 2). Retrieved from http://www.distribucionespako.com/galeria_inf/i83_158.pdf
- C. Montoya-Apaza. (2006). *Consideraciones tecnicas para una instalacion de aire comprimido* (tesis de pregrado) Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Peru.
- Carranza-Barrena, L. (2002). *Implementacion del nuevo sistema de aire comprimido en la Unidad Minera Animon.* (tesis de pregrado) Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Peru.
- Castro Pérez, D. J. (2018). *Aplicacion del metodo de estudio de tiempos para actualizar el tiempo estandar de perforacion en la fase de extraccion minera Arcata* (tesis de pregrado) Universidad Privada del Norte, Trujillo, Peru.
- Alcantara, D., Aliaga, E. y Del Pozo, C. (2012). *Demandas de maquinas perforadoras jack leg de E.E. Minera Coalme.* (trabajo de pregrado) Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Peú.
- Girón-Condori, M. (2015). *Planeamiento estrategico de minado subterraneo para vetas angostas en la mina "Kazan" de la Compañia Minera Paraiso S.A.C.* (tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Hinojosa-Rivera, R. (2007). *Evaluacion de la eficiencia energetica de la instalacion de aire comprimido de los compresores modelo K-500 de la empresa Comandante "Ernesto Che Guevara"* (tesis de maestria) Instituto Superior Minero Metalurgico, Cuba.

López-Seiko, J. A. (2013). *Mejoramiento del sistema de aire comprimido para optimizar perforación en operaciones mineras subterráneas en U.E.A. Orcopampa Mina Chimpo* (tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Mallma-Perez, I. J. (2013). *Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristobal de Minera Bateas S.A.C.* (tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Pajilla-Tomas, R. (1999). *Ampliación y optimización de la línea de aire comprimido de la planta Mimo S.A.* (tesis de pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería. Decreto Supremo 024-2016-EM. (28 de julio de 2016 Diario Oficial El Peruano. Lima, Peru. Congreso de la Republica.

Engineering ToolBox, (2003). Altitude above Sea Level and Air Pressure. *Tech Data Board Longyear*. Retrieved from: https://www.engineeringtoolbox.com/air-altitude-pressure-d_462.html