

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“Beneficios en la Optimización de la Fragmentación de la roca mediante la aplicación de emulsión gasificada en voladura a tajo abierto en la empresa de explosivos Orica en el 2020.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Rodriguez Sanchez, Luis Antonio

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca – Perú  
2020

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi padre Luis Rodríguez Salgado y a mi madre Giovana Sánchez Padilla quienes durante mi trayecto de estudio, se tomaron el tiempo y el sacrificio para apoyarme en mi continuo avance académico.

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por guiarme en cada paso que he dado y por la protección que me ha brindado en este camino.

A mis padres por su constante apoyo y preocupación en que nada me faltara, por la motivación que me dieron para continuar.

A los docentes que se tomaron el tiempo para mejorar cada una de mis proyecciones universitarias, así con su constante esfuerzo en educarme para a ser un gran profesional.

A mi director Alex Patricio Marinovic y al Ineginero Elmer Luque Luque por impulsar la carrera de Ingeniería de Minas, por su tiempo y dedicación brindada hacia mi persona y por el laborioso esfuerzo en bien de los futuros profesionales.

A la Universidad Privada Del Norte y a la Facultad de Ingeniería por ser partícipe de mis logros y educación, por la formación académica y ética para mi vida profesional.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>7</b>
<b>INDICE DE DIAGRAMAS .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad Problemática .....	33
1.2. Formulacion del Problema .....	37
1.3. Objetivos .....	37
1.3.1. Objetivo General .....	37
1.3.2. Objetivo Especifico .....	37
1.4. Hipotesis .....	38
1.4.1. Hipotesis General .....	38
1.4.2. Hipotesis Especifica .....	38
<b>CAPÍTULO II : METODOLOGÍA .....</b>	<b>39</b>
2.1. Tipo de Investigacion .....	39
2.2. Poblacion y Muestra .....	39
2.2.1. Poblacion .....	39
2.2.2. Muestra .....	39
2.3. Tecnicas de instrumentos de recoleccion y analisis de datos .....	39
2.4. Procedimientos .....	40
2.4.1. Comparativo VOD .....	40
2.4.2. Analisis de Fragmentacion .....	40
2.4.3. Factor de Potencia .....	41
2.4.4. Factor de Gases .....	41

<b>CAPÍTULO III : RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
3.1. Comparativo VOD .....	46
3.2. Analisis de Fragmentacion .....	49
3.3. Factor de Potencia .....	51
3.4. Factor de Gases .....	54
<b>CAPÍTULO IV : DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
4.1. Discusión .....	55
4.2. Conclusion .....	57
<b>CAPÍTULO V : REFERENCIAS .....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Indices de calidad de producto de Nitrito de sodio .....	20
Tabla 02: Solubilidad del nitrato de amonio en agua a diferentes tempraturas.....	22
Tabla 03: Comparacion entre Emulsiones y Explosivos Slurrries .....	27
Tabla 04: Propiedades Tecnicas Fortis <sup>TM</sup> Extra .....	34
Tabla 05: Revicion de Articulos Cientificos .....	35
Tabla 06: Precios de insumos y mezclas .....	40
Tabla 07: Comparativo de Velocidad de Detonacion (VOD) .....	46
Tabla 08: Analisis de Fragmentacion .....	49
Tabla 09: Factor de Potencia .....	51
Tabla 10 : Ejemplo de promedio de factor de potencia de la mezcla Fortis .....	52
Tabla 11 : Ejemplo de promedio de factor de potencia con la mezcla Fortis 80.....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01 : Distribucion del tamaño de la particula con el tiempo .....	14
Gráfico 02: Carga de Taladros .....	41
Gráfico 03 : Diferencia minima entre diseño de cargas .....	42
Gráfico 04: Comparación de Velocidad de Detonación .....	46
Gráfico 05: Registro VOD Fortis 65 .....	47
Gráfico 06 : Registro VOD Fortis 80 .....	48
Gráfico 07 : Análisis de fragmentación P80 Vs Factor de potencia .....	50
Gráfico 08: Comparación entre Factor de Potencia .....	51
Gráfico 09: Comparación entre Factor de Gases .....	54

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 01: Diagrama de flujo para slurries .....	29
Diagrama 02: Diagrama de flujo para Emulsiones .....	29



## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo describir los beneficios de la optimización en fragmentación de la roca aplicando emulsión gasificada mediante agentes gasificantes para la liberación de energía al momento del disparo en operaciones mineras a tajo abierto, es decir, una mejor implementación química para conseguir aportes positivos en operaciones de voladura. Por otra parte, la recopilación de la información se obtuvo de las páginas web Redalyc y Google académico por el aporte en investigaciones especializadas, así mismo, los informes proporcionados por las empresas mineras nacionales que utilizan la emulsión gasificada en sus operaciones de voladura a tajo abierto, sin embargo, las limitaciones que se presentaron para la investigación del proyecto fue la insuficiente bibliografía especializada, la implementación de este método en voladura moderna es reciente, por ello, la información es breve. Cabe señalar que la aplicación de este método es importante porque reduce costos de operaciones en minería a tajo abierto. En conclusión se obtienen beneficios económicos significativos en los procesos mineros, puesto que, con las ventajas de la adecuada granulometría se obtendría ahorros en costos y tiempos en los procesos mineros a tajo abierto, secuencialmente la utilidad en control de vibraciones y emanaciones de gases nitrosos al medio ambiente.

**PALABRAS CLAVES:** Emulsión gasificada, voladura, fragmentación de roca, Nitrato de amonio, ANFO.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to describe the benefits of optimization in rock fragmentation by applying gasified emulsion by means of gasifying agents for energy release at the moment of open pit mining operations, that is, a better chemical implementation to achieve positive contributions in blasting operations. On the other hand, the compilation of the information was obtained from the Redalyc and Google academic websites for the contribution in specialized research, as well as the reports provided by the national mining companies that use the gasified emulsion in their open-pit blasting operations. However, the limitations that were presented for the research of the project was the insufficient specialized bibliography, the implementation of this method in modern blasting is recent, therefore, the information is brief. It should be noted that the application of this method is important because it reduces costs of open-pit mining operations. In conclusion, significant economic benefits are obtained in mining processes, since, with the advantages of adequate granulometry, savings in costs and time would be obtained in open-pit mining processes, sequentially the utility in controlling vibrations and nitrous gas emanations at environment.

**KEY WORDS:** Gasified emulsion, blasting, rock fragmentation, Ammonium nitrate, ANFO.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

En el presente informe se toma como objetivo determinar los beneficios que se puede encontrar mediante el uso y aplicación de emulsion gasificada al momento del cargio y disparo en las operaciones mineras a tajo abierto , periodo en que aparece el uso de pólvora negra para la fragmentación de la roca en minería a tajo abierto.

Como parte de la evolucion de los explosivos se detallara el avance obtenido , iniciando desde la polvora negra , hasta las investigaciones y formulaciones quimicas de las emulsiones, en especial , la que con agentes sensibilizante y gasificantes mejoran ampliamente el proceso de voladura por operación.

Según W.M Jackson (2015) menciona que:

La pólvora fue inventada por los chinos y árabes en el siglo XIII e introducida en la cristiandad por Roger Bacon hacia 1270 y cincuenta años antes Bertoldo Schwartz de Freiberg la había dado a conocer, su uso industrial como explosivo fue despreciado durante siglos. El arte de la construcción de caminos, la edificación en general y la explotación de minas estaban apenas tan adelantadas en la época Shakespeare como en la de Virgilio. Al parecer se empleó la pólvora por primera vez en minería hacia 1613, en la época Martín Weigel, un minero de Freiberg, comenzó a arrancar mineral por la explosión de barrenos. (p.7).

En efecto las palabras mencionadas por el ilustrador inglés W.M Jackson nos hace referencia en un párrafo de su tomo de conocimientos universales acerca de los inicios de la pólvora y los usos empleados en dichas épocas, por parte también usada por el minero alemán Martín Weigel con aportes de los inicios de la pólvora en minería.

Creemos pertinente que mediante los diferentes avances obtenidos con respecto a agentes explosivos y liberación de energía en el ámbito minero se toma en cuenta según la empresa norteamericana Atlas Powder que hace referencia el proceso de voladura como energía explosiva almacenada la cual nos permite secuenciar el proceso de voladura.

En la parte evolutiva minera en el aplicativo de agentes explosivos surge una idea de aplicaciones de emulsión gasificada (agente explosivo gasificado con nitrito de sodio). El cual con los estudios realizados y pruebas en campo nos detalla la mejora de explosivo que llega a hacer , ya que , por su liberación de energía y aporte en fragmentación de la roca como su principal beneficio y añadiendo a este proceso el control de vibraciones , emanaciones de gases nitrosos , ahorro y tiempo se convierte en un explosivo muy poderoso para la aplicación en el proceso de voladura a tajo abierto.

El equipo de asistencia técnica tajo I de la empresa EXSA S.A Miembro del grupo Orica (2020) , nos da una información mediante las bases del libro de emulsiones de la experta Wang Xuguang de lo importante sobre la definición que pueden tener y aportar las emulsiones :

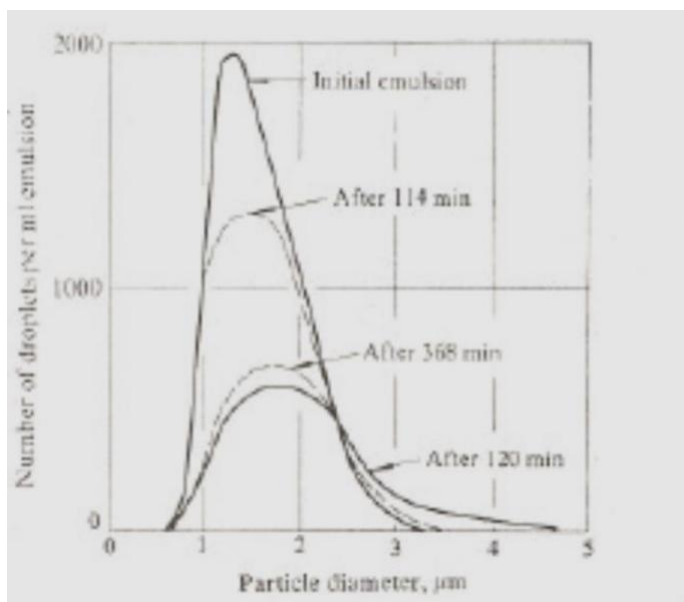
El término “emulsión” está usualmente referido a un sistema disperso de dos líquidos inmiscibles (como aceite y agua) en el cual un líquido en la forma de micro – burbujas está homogéneamente disperso en otro. Debido a que este sistema disperso casi siempre aparece lechoso, el término de emulsión es adoptado. La fase de las burbujas es llamada dispersa o fase interna mientras que otra fase es llamada continua o fase externa.

Con la aportación mencionada , nos llenamos de una idea más a detalle de la parte de las composiciones de nuestro elemento clave , las emulsiones , como parte de un sistema heterogéneo que consiste al menos de un líquido inmiscible disperso a otro en la forma de burbujas, estos sistemas poseen una estabilidad mínima , los cuales se pueden ser acentuados agregando un tensoactivo o polvo sólido.

En el proceso de preparación de las emulsiones explosivas, la solución de sal oxidante y la solución mezclada de aceite – cera son preparadas separadamente (a temperaturas elevadas) por medio del calor, seguido por la emulsificación agregando emulsionantes de viscosidad suficientemente baja y buena fluidez. Luego la solución es vigorosamente agitada mecánicamente con la temperatura decreciendo gradualmente. Obviamente, a temperatura elevada los emulsionantes no pueden cumplir su función completa, pero exhiben gradualmente su actividad inherentes con la temperatura disminuyendo. Principalmente, es deseable en la temperatura de almacenamiento de la emulsión que los emulsionantes muestren excelente participación de emulsificación y estabilidad. Muchos emulsionantes, sin embargo, no pueden poseer ambos. Esto es, los emulsionantes que pueden ejercer habilidad completa de emulsificación a temperatura alta muestran una disminución de la participación de emulsificación con la temperatura cayendo, se puede recurrir a aumentar la viscosidad, y adición de los estabilizadores y polvo sólido, etc.

Para ello se puede obtener de los estudios la relación de tamaño y distribución de la partícula, la cual tiene la importancia de favorecer la calidad de nuestra emulsión, así, con los agentes necesarios obtendríamos una emulsión potente con la adición de los agentes oxidantes o gasificantes los cuales aumentan el poder de la misma.

Grafico 01 : Distribución del tamaño de la partícula con el tiempo.



Fuente : Emulsiones Explosivas wang Xuguang.

Se puede ver que el tamaño de la partícula de fase dispersa y tamaño de distribución es un importante criterio de la estabilidad de las emulsiones, ya que, en la práctica ha mostrado que mientras más pequeñas sean las partículas con distribución más homogénea, más estable será la emulsión y mejor será la participación de su almacenamiento, el tamaño de la partícula es controlado por el método de preparación y la adición de emulsionantes.

En el estudio realizado por Schwarz y Benzemer sobre la distribución del tamaño de la partícula de las emulsiones, encontraron que el número de distribución de la partícula según cálculos matemáticos sería:

$$\frac{dn}{dx} = \frac{.100}{N} = \frac{100}{6} \frac{e^{-a/x}}{(1 + a/x + a^2/2x^2 + a^3/6x^3)} \frac{a^4 e^{-a/x}}{x^5}$$

Donde:

n : Número de gotas por diámetro.

N: Número de gotas.

X : Constante, equivalente al diámetro de la gota más grande en una emulsión.

a : Constante.

Centrándonos en el tema de emulsificación y la importancia que tiene como inicio de una Emulsión matriz, la cual, al ser funcionada químicamente con sus agentes, sean tanto oxidantes como gasificantes, daría el resultado esperado de emulsiones explosivas o emulsiones gasificadas, se sabe que el proceso de emulsificación es el paso clave en la producción de emulsiones, con sus diferentes tipos de procesos, pueden ser continuos o discontinuos, esto depende de los modos de alimentación que presentan el material y de los diferentes tipos de equipos usados.

La solución del combustible mezclada la cual ya incluye los agentes aditivos y auxiliares, con la solución oxidante la cual de igual manera incluye en fase de agua, son enviadas al mezclador, este proceso tiene que seguir un riguroso seguimiento de control de temperatura y ritmo de alimentación, para que la mezcla de las soluciones garantice la calidad de la emulsión matriz obtenida en presencia del agente emulsificante.

Por su parte el Ingeniero de minas Romel Villanueva luja (2015) menciona:

La emulsión gasificada comenzó su aplicación en el Perú como una alternativa para prescindir del nitrato de amonio de amonio ANFO, por el registro de patentes y pruebas nos da fecha en 1997 en Australia, EEUU y Rusia, se obtiene en el Perú su uso en el año 2003 y casi el 90% de minas en el Perú ya emplean el uso de emulsión gasificada.

En relación a lo mencionado por el Ingeniero de minas Romel villanueva el cual desde la gerencia técnica de la empresa COSMOS nos aporta una información valiosa acerca de la aplicación de emulsiones en el Perú y nos detalla que el uso de dicho explosivo viene siendo un aporte de mucha importancia a nivel nacional e internacional.

Según Paul urruchi expresa:

La emulsión matriz gasificante se combina en reacción química con una solución gasificante dentro de un mezclador se produce la reacción , dando como resultado la emulsión gasificada que se introduce dentro del taladro en la voladura , la emulsión es de tipo agua – aceite y esta compuesta principalmente por una fase oxidante y otra de combustible , químicamente , esta formulada para reaccionar con nitrito de sodio , que es el agente gasificante y físicamente está preparada para retener burbujas de gas dentro de su masa . Es un poco más densa que la emulsión común del ANFO pesado.

Efectivamente el Ingeniero jefe de perforación y voladura de la empresa minera Comarsa Paul Uruchi nos menciona los fundamentos bases y teorías químicas para la formación de una emulsión gasificada, detalla así mismo los diferentes aspectos dentro de este agente explosivo que serían de suma importancia para su mejora.



La información presentada busca describir el proceso en mejora de la voladura mediante el uso de emulsión gasificada. Sin olvidar la importancia que tiene el manejo del mismo con el cuidado al medio ambiente, como parte aplicada en la reducción de gases nitrosos, con los parámetros y detalles del manejo de información en un área determinada como serían los explosivos se realiza la pregunta para la mejora en fragmentación de roca mediante emulsión gasificada: “¿Cómo benéfica la optimización en la fragmentación de la roca mediante la aplicación de emulsión gasificada en voladura a tajo abierto?”.

Por su parte Salcedo Orichuea (2015) nos comenta:

Emulsión Gasificada, Emulsión a granel especialmente diseñada para la reducción de gases nitrosos y para ser usada en taladros con presencia de agua. Puede variar la densidad final dentro de taladro por medio de formación de gases producto de reacciones químicas de los componentes de la emulsión, brindando un poder energético y aplicable para taladros de grandes dimensiones.

Esta emulsión gasificada es sensibilizada en el momento justo del cargio del taladro para ello se añaden sales especiales que definen la densidad final del producto, por lo que siempre de efectuarse muestreo de densidades durante el cargio de taladros. Para poder llegar a la densidad final se debe esperar entre 15 a 20 minutos luego del cual se obtendrá el esponjamiento deseado. (P.32).

El bachiller Salcedo orichuea de la Universidad Nacional De Ingeniería menciona un poco de terminologías y parte de su experiencia en el uso de las emulsiones gasificadas, dando así comentarios positivos, ya que, la mención dada por Salcedo también es parte de su experiencia en sus labores en minera Yanacocha SRL.

En una breve comparación Chambi Oca nos comenta:

Flexigel – Es un explosivo de densidad variable y es a base de una nueva emulsion y poliestireno fabricado especialmentne con una densidad y tamaño determinada. Este puede ser bombeado o vaciado directamente al taladro. Su densidad de fabricacion puede variar desde 0.5 a 11.1 g/cm<sup>3</sup>, las velocidades de detonacion pueden alcanzar calores desde 2500 a 4200 m/s. No necesita tiempo de gasificacion para colocar tacos en taladros. P.39

El bachiller Chambi Ocsa de la universidad nacional San Agustin de Arequipa nos menciona la multifuncion de los procesos y posibles transformaciones del uso de estas emulsiones y los beneficios que pueden aportar alas operaciones mineras en ambientes de esa indole , este tema de suma importancia por la calidad de informacion manejada por aprte de Chambi Ocsa.

La parte de un aporte quimico a nuestra emulsion matriz tiene una importancia en el aspecto operativo , ya que , aumenta las capacidades de las mismas , en algunos casos los agentes oxidantes + emulsion maltriz o en nuestro caso gasificantes + emulsion matriz , para poder entender el aspecto de nuestro gasificantes tenemos que entender un poco mas sobre el concepto de agentes quimicos Foaming (espumoso) nos quiere decir.

Los agentes quimicos Foaming son sustancias que pueden entrar a reacci3n qu3mica y por consiguiente producir un gran n3mero de microburbujas uniformemente dispersas a

través del explosivo , se llama foaming a todas las sustancias tienen una adecuada temperatura de descomposición y un gas superior y son fáciles de ser dispersadas uniformemente, pueden ser elegidas como agentes químicos Foaming , dentro de ellos tenemos el agente gasificante de nuestra solución emulsificada , el encargado de lograr la estabilidad química de mejora del explosivo , llamamos agentes químicos Foamig al nitrito de sodio.

El nitrito de sodio es un agente químico de suma importancia para el proceso de agente potenciador , en este caso con el efecto gasificante , tiene una masa molecular relativa de 69.00 , un punto de fusión de 271 C° , calor de dislocación de -14,708kJ / mol, es un cristal prismático blanco o amarillo claro fácilmente soluble en amoníaco y menos soluble en carbinol, alcohol o éter. La solución de nitrito de sodio acuoso es indicativo de alcalinidad (pH = 9) , aporta grandes propiedades físicas las cuales benefician significativamente la mezcla química con la emulsión , dentro de ellas resaltan la expansibilidad, conductividad, calor específico y piezoelectricidad.

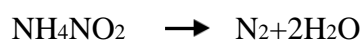
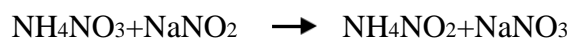
Como agente químico de aumento de potenciación de la emulsión el nitrito de sodio actúa como gasificante liberando burbujas con las cuales manejadas con una buena densidad en mezcla inicial de 1.30 , pasando a una densidad en campo de 1.355 , para luego del esponjamiento obtenido llegar a una densidad final de 1.10 , siendo estos datos probados en campo por el área de asistencia técnica de cada empresa.

	NaNO <sub>2</sub>	NaNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Insoluble en	
--	-------------------	-------------------	------------------	--------------	--

Índice	(Seco) %	(Seco) %	%	Agua Asunto, %	Apariencia
Primer Grado	> 99.0	< 0.9	< 2.0	< 0.05	Cristal ligeramente Amarillo o Blanco
Segundo Grado	> 98.0	< 1.9	< 2.5	< 0.10	

Tabla 01: Indices de calidad de productos de Nitrito de Sodio.

La formación de de iniciación de burbujas de nitrito para el proceso gasificable viene de la siguiente formula :



El cual el nitrito de sodio con nitrato de amonio producirá el nitrito de amonio, que es inestable y de fácil descomposición , es usada para introducir burbujas sensibles en las emulsiones explosivas y otros explosivos acuosos. Estas microburbujas expandidas a través de la emulsión son mayormente nitrógeno (N<sub>2</sub>).

El producto de Emulsion Gasificada puede ser aplicable en un 100 % en las operaciones mineras a tajos abiertos , la variacion del mismo esta dentro de el entorno de las operaciones , sea como clima, condiciones geologicas , nivel de fragmentacion que se requiere , entre otras. Para esto la union de Emulsion gasificada con el explosivo ya conocido de nitrato de amonio y combustible (ANFO) , muestran una generacion de modificaciones de diseños de voladura , según las condiciones de terreno y los factores dentro de las operaciones se puede aplicar las combinaciones quimicas explosivas de :

- 73 – 70% emulsion + 30% ANFO
- 82 – 80% emulsion + 20% ANFO
- 91-90% emulsion + 10% ANFO

Estas variaciones de mezclas explosivas entre las emulsiones gasificadas y el ANFO estan al criterio y opciones de factores de las operaciones de las minas que lo requieran.

Como parte de la composicion del ANFO el agente inicial es el nitrato de amonio , el mismo que en las mezclas explosivas cuenta con un 94% del mismo , dejango el 6% a los combustibles para su union explosiva , llegando a obtener Velocidades de Detonacion que varian entre 2000 a 3000 m/s.

El nitrato de amonio es soluble en amoniaco líquida y ácido nítrico, fácilmente soluble en acetona, carbinol y alcohol, y muy fácilmente soluble en agua por eso se determina que el ANFO tiene un pesimo rendimiento en taladros con agua , evidenciando las fallas mencionadas , pero al ser mezclado con la emulsion la cual tiene un exceleente grado de mermeabilidad fusionan un explosivo perfecto para las condiciones del taladro y sumandole multiples factores adicionales en su operación.

Fuente: Emulsiones Explosivas, Wang Xuguang.

Temperatura	Solubilidad (g)	
	En 100g de Agua	En 100g de Solución
0	20	54.5
10	150	60.0
20	187	65.2
30	233	70.0
40	280	73.7
50	339	77.2
60	411	80.4
70	501	83.4
80	618	86.1
90	772	88.5
100	994	90.9

La apariencia de la emulsión es muy importante, la práctica ha demostrado que la emulsión tiene baja sensibilidad a la fricción, el tiempo y los disparos, está brindando resultados óptimos según los requerimientos de cada operación según la mezcla y el control técnico de las propiedades de la emulsión, inicia la etapa de labores excelentes en operaciones.

El diario Peruano de economía Gestión (2017) hace una mención honrosa:

El 2017 fue un año muy dinámico para las firmas de explosivos, pues se licitaron prácticamente todos los contratos. En ese contexto, Orica consiguió dos nuevos clientes y consolidó una cartera que incluye a las mineras Las Bambas, Cerro Verde, Barrick, Antamina, Yanacocha, Hochschild, entre otras. “Ofrecer un abanico de soluciones es nuestra mayor ventaja competitiva. Con nosotros, los clientes tienen todas las soluciones tanto para minas nuevas como para las más antiguas”, señala Costa. La principal variable de una voladura es la gradación del valor energético. Es la clave para trabajar en operaciones como El Brocal, que tiene comunidades muy cerca, o de manera eficiente en minería subterránea.

El diario peruano de economía Gestion hace comentarios positivos para las operaciones que viene realizando Orica, con estos comentarios aumenta la valorización de sus producciones y productos dentro de los cuales, ya ha sido llamado para operar en más proyectos de minería en el Perú, dándole un aporte significativo.

El portal Web Minería Chilena (2017) comento:

En el marco de Exponor 2017, Orica realizó la presentación pública de dos nuevas tecnologías: WebGen 100, el primer detonador inalámbrico en la industria; y el modelo I-kon III, sistema de iniciación más preciso, seguro y rápido que las versiones anteriores. Esta actividad se realizó en el pabellón de Australia en la muestra internacional.

Sebastián Pinto, presidente de Orica Latinoamérica, destacó que el sistema WebGen 100 implica un avance muy importante para la minería. “Hablar de iniciación inalámbrica no es sólo una mejora dentro del flujo de las operaciones

mineras. La irrupción de la tecnología inalámbrica permite modificar los paradigmas de la planificación de toda la operación, y facilita el proceso de automatización de carguío y primado de explosivos”, señaló.

Orica también presentó el sistema de iniciación I-kon III, que permite realizar más voladuras dentro de una sola ventana de fuego con mínima configuración y equipo. También maximiza la producción con voladuras en más lugares subterráneos o a grandes distancias en rajo abierto. Asimismo, se ajusta a las características de cada mina, con un cable más fuerte y resistente al impacto.

Esto nos da una enorme valorización de información conseguida por orica, ya que, al ser pronunciada no solo con avances de explosivos a nivel mundial, si no, también en productos o accesorios da una calidad de empresa necesaria para el manejo de la información presetada.

En los últimos años la evolución de agentes aplicados en voladura a sido variada y modificada mediante su mejora en liberación de energía para poder obtener mejores resultados en los procesos mineros (Voladura) , es decir , que con cada investigación obtenida y mediante los procesos y avances dados se obtiene beneficios de acuerdo a los agentes utilizados en el proceso de voladura a tajo abierto , por lo tanto se tomo el uso de Emulsión gasificada como un agente nuevo y de gran uso en minería superficial lo cual nos lleva ala siguiente afirmación :

Por lo tanto el siguiente estudio a través de artículos científicos y experiencias con el uso de emulsión gasificada en proceso de voladura nos detalla los beneficios obtenidos en la fragmentación de la roca empleando este agente explosivo con detalle desde el inicio en reacciones químicas y la gasificación obtenida mediante nitrito de sodio.



Es decir que con el origen químico de gasificación y aplicación con los resultados obtenidos en campo se observan mejoras no solo en la fragmentación de la roca producida por una onda de liberación de energía mas potente a otros agentes dando un beneficio positivo en fragmentación de la roca como aporte principal si no en temas externos y de igual importancia como ahorro en costos, cuidados ambientales, manejo de vibraciones.

El trabajo de investigación tiene como objetivo describir los beneficios obtenidos en los procesos de voladura aplicando la emulsión gasificada y su potencial en ondas de liberación de energía para una buena fragmentación de la roca. Para ello se tiene como objetivo específico determinar las mejoras en el macizo rocosos como: ahorro de costos, cuidados ambientales, manejo de vibraciones.

Según nos detalla el quipo de asistencia Tecnica de Tajo EXSA S.A miembro del grupo Orica (2020) un aporte mas sobre la definicion de Emulsiones explosivas :

Las emulsiones explosives se refieren ala categoria de agua en aceite, tipo emulsoide, explosivos industriales resistentes al aguas estan hechos por tecnicas de emulsificacion , en el cual diminutas gotas de liquido de una solucion oxidante que en fase dispercion estan suspendidas en un medio continuo , compuesto de una sustancia parecida al aceite ue contiene burbujas esparcidas o particulas de vidrio hueco u otros materiales porosos.

En detalle los especialistas ya mencionados en el area de monitoreo de explosivos noas aportan un detalle sobre el tipo de emulsiones que en este caso seria el denominado slurry:

“Dentro de ellos el gran beneficio de la buena resistencia al agua que presentaban , esto se logro a partir de agregar agua ala mezcla de ANFO eguido por la

gelatinización del sistema hasta detener la incursión o la disolución de sales oxidantes para obtener densidades relativamente altas, lo cual hace la mezcla más fácil de alcanzar el fondo del pozo con agua, con el avance se desarrolló investigaciones de este explosivo con oxidantes no metálicos como sensibilizador, naciendo así el sistema slurry, lo que mediante los avances nos da con la aparición de camiones de carga slurry aplicados en procesos de voladura”.

Para una mejor comprensión entre las diferencias y avances que estuvieron surgiendo con fundamento en emulsiones nace la comparación de emulsiones y slurries que nos aclara una mejor idea de estos explosivos :

Tabla 03: Comparacion de Emulsiones y Explosivos Slurries.

Clasificación de Componentes		Emulsiones		Slurries	
		Nombres de posibles ingredientes	Porcentaje (%)	Nombres de posibles ingredientes	Porcentaje (%)
Oxidante		AN,SAN,CN, SP,UP, HNO	50 – 85	AN, SN, CN, SP, AP	50 – 80
Combustible		A	2 – 7	A'	2 – 10
Agua			8 – 15		6 – 20
Solución de agua espesante		Raramente usado		B'	0.5 – 4
Agente tensoactivo		C	0.5 – 2.5	C'	0.1 – 1.0
Sensibilizador	Hidrosoluble	No agregar o agregar MMAN, HN, etc.	0 – 30	MNAM, HN, MEAN, EGMIN	5 – 30
	No hidrosoluble	D	0 – 15	D'	0 – 25
Burbuja sensibilizante*		E	15 – 35 (porcentaje de volumen)	Lo mismo que en la izquierda	15 – 35 (Porcentaje de volumen)
Pequeña cantidad de aditivo		F	0.05 – 1.0	F'	0.5 – 2.0

Fuente: Emulsiones Explosivas, Wang Xuguang (1994).

AN – Nitrato de Amonio, SN – Nitrato de Sodio, CN – Nitrato de Calcio , SP – Perclorato de Sodio , AP – Perclorato de Amonio, UN – Nitrato de Urea , NMAN – Nitrato de Monometilamina.

A : Combustibles no solubles en agua (como cera de parafina, aceite de petróleo).

A': Combustibles solidos o liquidos (tanto soluble como no soluble en agua ).

B': Guar gum, sesbania gum starch, etc.

C: Emulsificadores con HLB, valores de 3 a 7 o emulsificadores compuestos (como M – 201, S – 80).

C': Agente tensioactivo soluble en agua, como alquil sulfonato de sodio; ignorable.

D: Polvo de aluminio, nitrocompuestos, ignorable.

D': Polvo de aluminio, nitrocompuestos.

F: Estabilizador, promotor de emulsificación, modificador de forma cristalina

F': Se agrega o no estabilizador.

Diagrama 01 : Diagrama de Flujo para slurries.

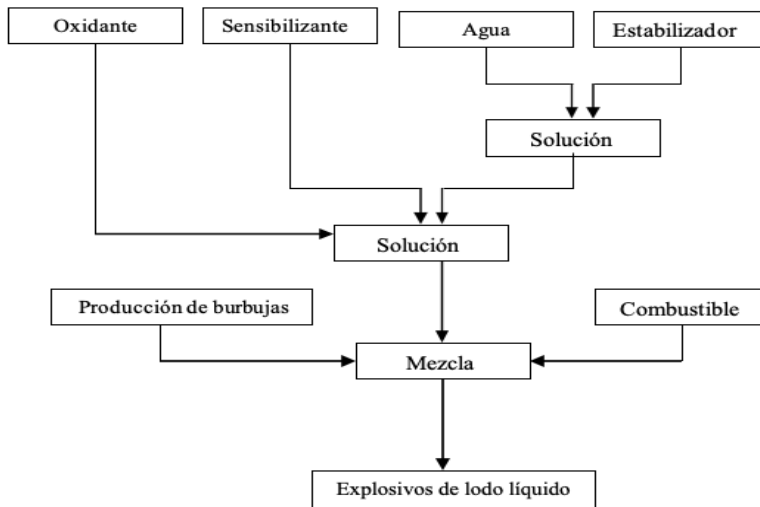
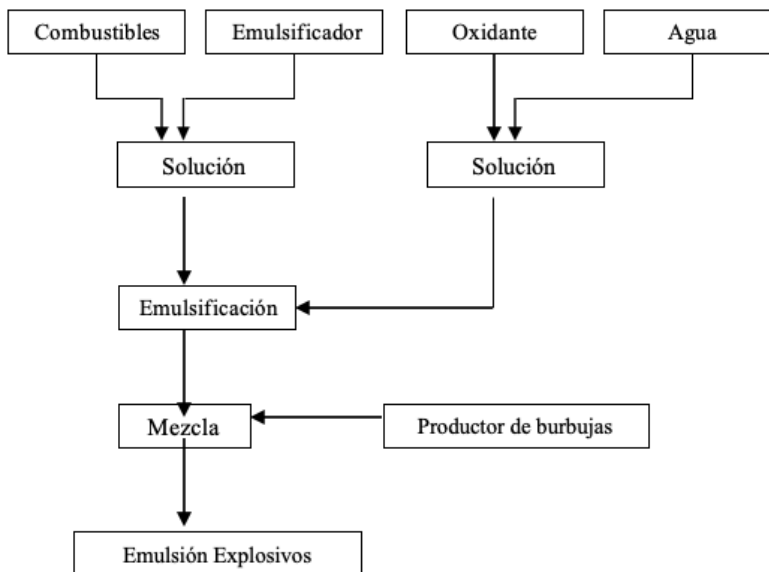


Diagrama 02 : Diagrama de flujo para Emulsiones.



Fuente: Emulsiones Explosivas, Wang Xuguang .

Componentes de gases sensibilizadores forman la fase dispersa de la emulsión.

Generalmente, este componente es agregado a la tercera fase y puede ser ambos, espacios de aire que forman recubiertas y micro burbujas, que son producidas por reacción de disolución por medio de la adición de ciertos químicos (como nitrato de sodio). Ellos pueden ser también partículas sólidas con gases atrapados (como micro partículas de vidrio hueco, micro partículas de perlita expandida\*, micro partículas de resina hueca, etc.)

Dentro de la variedad de presentaciones de los diferentes tipos de emulsiones se puede obtener el producto según su uso y presentación para la facilidad de las operaciones :

- 1) **Emulsiones Explosivos en cartuchos:** Las emulsiones en cartucho son todas fulminantes y no necesitan por lo tanto uno. Estos cartuchos son normalmente producidos en fábricas y pueden almacenarse dentro de un periodo relativamente largo de tiempo. Los materiales de empaque del cartucho son: papel encerado, cubiertas de tela de película de plástico, polietileno, entre otros. Estos productos son mayormente utilizados en pequeños diámetros (25 – 50 mm).
  
- 2) **Emulsiones Explosivos de bolsa:** Emulsiones de bolsa suelen ser de gran diámetro y los materiales de sus empaques son bolsas plásticas de polietileno o tubos de papel kraft con cubiertas de tela de película de plástico. La mayoría de estos productos de bolsa son no fulminantes y necesitan refuerzo durante la explosión. Estos productos de bolsa pueden ser cargados directamente en la perforación o cortados *in situ* y vertidos en la perforación. Las emulsiones de serie EL – 106 y CLH disponibles en China son este tipo de productos de bolsa.
  
- 3) **Emulsiones Explosivos a granel:** La mayoría de estos productos son no fulminantes. Son normalmente mezclados y preparados *in situ* y

directamente cargados en la perforación mediante la mezcla de carga de camión o camión de bombeo. Debido a que estos tipos de camiones de carga usados son diferentes, la mezcla y métodos de carga varían en dos formas: El primer método que es conocido como la mezcla de carga por camión es para transportar los materiales crudos a un lugar cercano al área de explosión seguidos por los emulsificadores, mezclando todos los materiales en el mismo camión y luego bombear los materiales mezclados a la perforación. Un ejemplo es el sistema Gelmaster y las correspondientes series BL de emulsiones explosivas producidas por la Canadian Industrial Limited. El segundo método, es llamado bombeo de carga por camión, se envían base de materiales emulsivos que son emulsificados en una fábrica estacionaria, al campo y luego en el camión se mezclan con los sensibilizantes y otros materiales sólidos; finalmente se bombean todos los materiales a la perforación. Un ejemplo es el camión de bombeo EM182 y las emulsiones explosivas correspondientes hechas por la Du Pont Company en los Estados Unidos.

- 4) **Emulsoides Líquidos:** Este es en realidad un producto semi terminado y una solución a base de emulsión sin ingredientes explosivos. El precio de su mezcla y transporte es bajo y además puede ser transportado como un líquido oxidante ordinario en los Estados Unidos. Aunque se puede usar directamente, en la mayoría de los casos es transportado al terreno, sensibilizado y mezclado en el producto final. Tomex E de la Du Pont Company en USA es uno de estos productos emulsoides líquidos.

- 5) **Mezcla de emulsoides con explosivos ANFO:** Tales productos mezclados se producen mezclando emulsoides del alta energía con

gránulos de ANFO porosos, y el contenido de emulsoide puede ser cero o 100 por ciento. Durante la carga a granel, la energía por metro de perforación para este tipo de productos puede ser 40% más alta que la llanura de los ANFO. Cuando se cargan en paquetes, pueden ser usados en hoyos mojados con cierta resistencia al agua. Cada mezcla es la combinación de las emulsiones explosivas con los explosivos ANFO y está llena de vitalidad. Las series de gránulos de emulsiones BME desarrollados en el Instituto General de Investigación de Minería y Metalurgia en Beijing (BGRIMM) en China y la Power AN de la Atlas Powder Company son todos estos productos mezclados.



En las operaciones mineras una de las principales áreas y con funciones completas e importantes es la de la voladura , dentro de ella la destaca empresa Australiana Orica , empresa de mucho prestigio a nivel mundial con operaciones en diversas empresas mineras en el peru. En la problemática Orica esta determinado en el factor de liberacion de energia al momento del disparo , continuamente con el uso del nitrato de amonio sumado a combustibles (ANFO) no se logra una tan esperada fragmentacion de la roca post-volaura , Sin embargo, el uso de este método encontraría diferentes adversidades, por ejemplo, la menor velocidad de detonación que producía una granulometría mayor en los procesos de voladura, en consecuencia, aumentaba los costos en las operaciones; puesto que, en el carguío y molienda complicaba la trituración lo que demandaba tiempo y presupuesto. A demás, las vibraciones ocasionadas por este explosivo eran de aumentaba la capacidad sísmica y el riesgo de las poblaciones cercanas a las operaciones; y en cuanto al cuidado al medio ambiente incrementa los gases nitrosos los cuales perjudican ala capa de ozono. Tomando en cuenta los aspectos negativos de la aplicación del ANFO se realizaron investigaciones para el uso de un gasificante que mejore cuantitativamente y cualitativamente los procesos de voladura en las operaciones mineras en el mundo. Los estudios recientes demuestran que este explosivo gasificante es favorable, no solo en fragmentación de la roca, si no, en la obtención te control de vibraciones, resistencia al agua y reduce la emanación de gases nitrosos y hace que sea un explosivo competente.

Como parte del trabajo de investigaciones en emulsiones gasificables orica presenta una alternativa muy competente, la cual, puede superar al ya usado ANFO, dicho producto presenta múltiples beneficios, ellos ya mencionados en una multifacética tarea, se toma

en nomenclatura como El Sistema Fortis™, sistema de emulsión gasificable a granel con un nivel de potencia superior al de la competencia.

En la parte de la Technical Data Sheet de ORICA (2020) nos menciona:

El diseño para aumentar el tiempo de espera en los taladros y logra un aumento significativo de confianza entre taladros secos y con presencia de agua.

Elaborado y entregado con un preciso control de las tasas para mejorar su productividad.

Puede ser cargado para variar la energía y densidad, para maximizar la fragmentación desplazamiento mejorando la productividad mina a molino. P.01

Tabla 04: Propiedades Técnicas Fortis™ Extra.

**Propiedades Técnicas**

	<b>Fortis™ Extra</b>
<b>Propiedades</b>	<b>100</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	1.20 – 1.30
Diámetro mínimo barrenos (mm)	76
Profundidad máxima barrenos (m)	30
Máxima longitud de carga (m)	25
Tipo de barrenos	Secos, con agua o desaguados
Sistema de cargado	Bombeado
Tipo de iniciador <i>Pentex</i> recomendado para el mínimo diámetro	<i>Pentex™</i> 225g
VOD típico (km/s) <sup>(2)</sup>	3.0 – 5.8
<b>Energía Relativa Efectiva (REE) <sup>(3)</sup></b>	
Fuerza Relativa en peso	92
Fuerza Relativa en volumen	136
Emisión CO <sub>2</sub> (kg/ton) <sup>(4)</sup>	152
Tiempo de espera <sup>(5)</sup>	7 días

Fuente: Technical Data Sheet – Orica.

Tabla 05: Revisión de Artículos Científicos.

Revisión de Artículos Científicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Villanueva R. (Setiembre, 2009). <i>Emulsión Gasificada</i>. Trabajo presentado en la conferencia de PERUMIN, Arequipa.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acocer N. (2013). <i>Estudio Experimental para la elaboración de Emulsión gasificada para la industria minera.</i> (Tesis Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sangay W. (2015). <i>Análisis de factibilidad para el uso de anfo pesado a base de emulsión gasificable.</i> (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orica Mining Services. (2018). <i>Informe Fortis Advantage 80 Lagunas norte – La libertad.</i> (Informe de operaciones )Orica Mining Service, P.1-24.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orica Mining Services. (2018). <i>TDS Fortis Extra (p.1).</i> Chile: Orica Mining Services.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jackson M. (2015) Descubrimiento de la pólvora. En Jackson M. <i>Colección Moderna de conocimientos universales</i> (p. 7). Boston, EE.UU.: J. Ferenczi, París.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salcedo Orichuea. (2015). <i>EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN MINERA YANACOCCHA SRL.</i> (Tesis de pregrado), Universidad Nacional De Ingeniería, Lima, Peru.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chambi Ocsa. (2018). <i>APLICACIÓN DE FLEXIGEL EN VOLADURAS DE CONTROL - ORICA MINING SERVICES S.A. - MINA CERRO VERDE. 2019.</i> (Tesis de pregrado), Universidad Nacional San Agustín – Arequipa.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diario Económico Gestión. (2017). <i>Orica se consolida como uno de los principales proveedores de voladuras y el líder en cianuro.</i> 2019, de Gestion Sitio web: <a href="https://gestion.pe/economia/orica-consolida-principales-proveedores-voladuras-lider-cianuro-230279">https://gestion.pe/economia/orica-consolida-principales-proveedores-voladuras-lider-cianuro-230279</a></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minera Chilena. (2017). <i>Orica presentó detonador con tecnología inalámbrica en Exponor 2017.</i> 2019, de Minería Chilena Sitio web:</li> </ul>

<http://www.mch.cl/2017/06/06/orica-presento-detonador-tecnologia-inalambrica-exponor-2017/#>.

## **1.2. Formulación del problema**

“¿Cómo beneficia la optimización en la fragmentación de la roca mediante la aplicación de emulsión gasificada en voladura a tajo abierto en operaciones por medio de la Empresa de explosivos Orica?”.

## **1.3. Objetivos.**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Determinar el beneficio de la optimización en la fragmentación de la roca aplicando emulsión gasificada en voladura a tajo abierto en operaciones por medio de la empresa de explosivos Orica 2020.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

Analizar el beneficio en el comparativo de la Velocidad De Detonacion (VOD) y observar las mejoras mediante la aplicación de emulsion gasificada.

Determinar el analisis de fragmentacion obtenida post-Voladura aplicando emulsion Gasificada.

Identificar las variantes en el factor de potencia con la aplicación de emulsion gasificada.

Identificar la mejora en factor de gases nitrosos obtenidos post-Voladura en la aplicación de emulsion gasificada.

## **1.4. Hipótesis**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

La aplicación de emulsión gasificada en el proceso de voladura a tajo abierto se tendrá beneficios de la optimización en la fragmentación de la roca obteniéndose resultados positivos para los procesos post-voladura.

#### **1.4.2. Hipotesis Especificas**

Comparacion detallada entre explosivo comercial (ANFO) y la emulsion gasificada.

Analizar la fragmentacion obtenida con el uso de emulsion gasificada.

Determinar el factor de potencia dado mediante la aplicación de emulsion gasificada.

Comparacion de Medición y verificación de los factores de gases nitrosos como gases contaminantes.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

En el aspecto de tipo o diseño el cual detalla una investigación aplicada científica, ya que, tiene fines de aplicación y metodologías en campo con fines de pronosticar comportamientos que son útiles en el sector de patrones de consumo trabaja sobre realidades de hechos los cuales serían los agentes químicos (Explosivos) mejorados y los aportes que se viene dando con su uso basado en esto se toma un enfoque cualitativo por el cual dicha investigación se ausenta de apoyos estadísticos.

### **2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA (MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS)**

#### **2.2.1. Población.**

Todos los Procesos de voladura por medio de la empresa de explosivos Orica.

#### **2.2.2. Muestra.**

Proyectos de voladura aplicando emulsion gasificada de la empresa Orica.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

En base a las teorías científicas aplicadas durante este tiempo para el uso de explosivos en operaciones mineras , se analizo los datos brindados y con el permiso por la gerencia de territorio de la empresa orica para analizar a detalle cuadros de operaciones preliminares , asi , obteniendo cuadros compartivos y de observacion en mejoras para el analisis de los beneficios de la aplicación de emulsion gasificada en operaciones , se logro tomar analisis comparativos de factores como : VOD , analisis de fragmentacion , factor de potencia , factor de gases.

## 2.4. Procedimiento.

En las diferentes etapas de procedimiento para la obtención de resultados de nuestra mezcla explosiva de emulsión gasificada obtenemos el avance del producto Fortis Advantage que es nuestra materia prima como procedimiento de explosivos, con el cual la mejora del Fortis Advantage 80 que es nuestra emulsión gasificada al 80% y 20% NA, nos brinda una mejora en diferentes aspectos de nuestra operación y manteniendo los resultados obtenidos por planta.

El inicio base de el procedimiento nos brinda la mejora en costos, con el cual el precio del producto ahora generado un beneficio económico de 13.99 \$ x tonelada de explosivo o en porcentaje sería el 2.52% en el mes de mayo del presente año se han aplicado un aproximado de 746.15 Toneladas de Fortis en 25 voladuras, generando un beneficio económico de 10429 \$ lo cual en el siguiente gráfico se detalla:

Tomando en cuenta el precio del diésel en 3.08 \$ x galón.  
(Esto secuencialmente se modifica debido a la oferta y demanda del diésel)

Tabla 06 : Precios de insumos y Mezclas.

Precios de Insumos			Precio Mezclas				
Nitrato Amonio	593.53	\$/ton	Mezcla	Emulsión	Nitrato	Diesel	Precio Total
Fortis™ Advantage	521.51	\$/Ton	Fortis™ Advantage 65	65%	32.9%	2.1%	100%
Diesel B5	947.69	\$/Ton	Fortis™ Advantage 80	80%	18.8%	1.2%	100%
			Beneficio \$/ton	-78.23 \$	83.69 \$	8.53 \$	<b>13.99 \$</b>
			Beneficio Total \$	-58369 \$	62444 \$	6364 \$	<b>10439 \$</b>

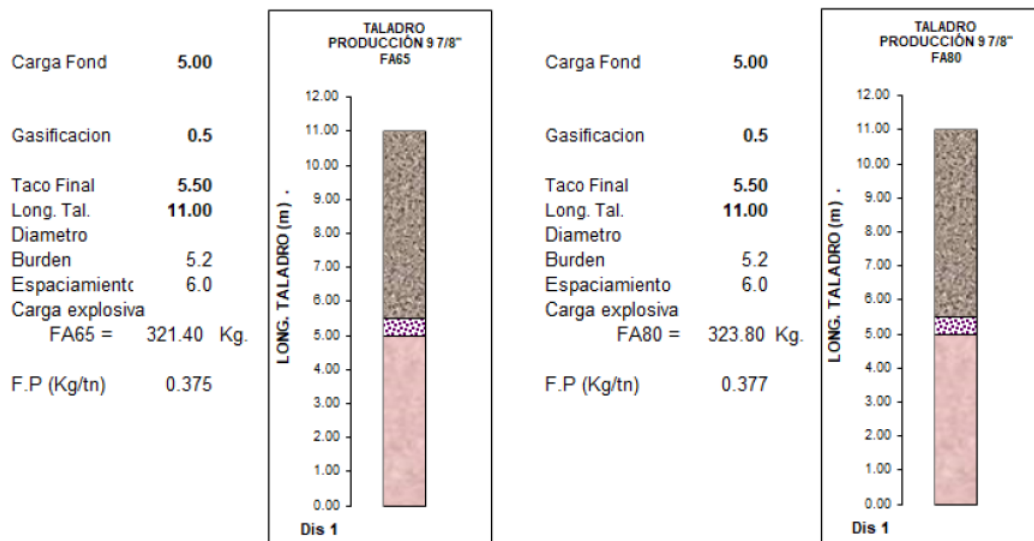
Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.



Como podemos observar en el la tabla elanorada por el equipo de asistencia Tecnica nos brinda el inicio de los beneficios de nuestro explosivo , observando el costo en Dolares americanos x tonelada en insumos , durante las mezclas de cada tipo de Fortis Según su porcentaje de emulsion y el beneficio total en 25 voladuras de 10439 Dolares americanos que tomando en cuenta el tipo de cambio (Septiembre 2020) que es 1 dólar = 3.54 Nuevos soles , seria un beneficio de 36954.06 Nuevos soles , lo cual es una cifra muy satisfactoria de obtener.

Parte secuencial de nuestro procedimiento es el inicio de operaciones para la obtencion de los resultados , dentro de ellos esta el ejemplo de nuestro diseño de carga y las minimas diferencias entre los valores de cada mezcla , por ejemplo :

Grafico N°02 : Carga de taladros.



Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

Al tener la densidad inicial similar , la diferencia de carga por taladro es eno al 1% , como se ve en el grafico , teniendo el primer grafico con el fortis 65 y el segundo con el 80.

Se observan minimas diferencias ntre los valores de diseños e carga entre las mezclas , para esta operación se requirio el ya dado carga de taladros , pero este puede variar de acuerdo al requerimiento de cada empresa o proceso.

Grafico N° 03 : Diferencias de Valores de sieño de carga.

Mezcla Explosiva		Fortis™ Advantage 65	Fortis™ Advantage 80	Diferencia	
Densidad Inicial		1.30 gr/cc	1.31 gr/cc	+0.01 gr/cc	
Densidad Final de Copa		1.15 gr/cc	1.15 gr/cc	0.00 gr/cc	
Densidad Media		1.25 gr/cc	1.25 gr/cc	0.00 gr/cc	
Longitud de Taladro Promedio		11 m	11 m	0 m	
Longitud de Taco Final		5.5 m	5.5 m	0.0 m	
Esponjamiento Promedio de Explosivo		0.5 m	0.5 m	0.0 m	
Diámetro de Perforación (pulg)	9 7/8	Densidad de Carga Lineal	64.3 kg/m	64.8 kg/m	+0.5 kg/m
		Carga por Taladro	<b>321.4 kg/tal</b>	<b>323.8 kg/tal</b>	<b>+2.5 kg/tal</b>
	7 7/8	Densidad de Carga Lineal	40.9 kg/m	41.2 kg/m	+0.3 kg/m
		Carga por Taladro	<b>204.4 kg/tal</b>	<b>205.9 kg/tal</b>	<b>+1.6 kg/tal</b>

Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

#### **2.4.1. Comparativo VOD.**

En el marco de estadísticas y toma de muestras en operaciones brindada por la empresa orica menciona:

Se toma en el análisis de resultados una mejora en el aspecto de la velocidad de detonación (VOD), la cual, a través de la onda de choque viaja a través de un explosivo en detonación, al verificar los resultados de una medición de la velocidad de detonación que tiene el explosivo se puede ver los beneficios en la fragmentación, siendo las mismas de mayor importancia y beneficios obtenidos , dentro de ellas la emulsion gasificada de Fortex <sup>TM</sup> , se procedio a el analisis de resultados mediante cable coaxiales que ayudan a determinar la medicion VOD en el taladro descarago con la solucion gasificada.

#### **2.4.2. Análisis de fragmentación.**

Por la parte del analisis de fragmentación Orica nos menciona:

Al aplicar el sistema de emulsiones gasificadas en operaciones mineras a tajo abierto a logrado conseguir muchos aspectos beneficiosos siendo el principal la fragmentación del macizo rocoso , teniendo este una buena fragmentación aportaría con muchos resultados óptimo para la el proceso minero , se realizo la toma y análisis de fragmentación por sowftware de analisis de fotografias post-voladuras y se logro obtener el analisis a detalle del proceso , obteniendo resultados favorables en fragmentación de promedio 6.39 pulg , dato muy compensatorio y de gran objetividad para el uso de emulsión.

### 2.4.3. Factor de potencia.

Con respecto al factor de potencia Orica nos da una investigación de suma importancia con los comentarios:

El factor de potencia es un indicador de mucha importancia para el proceso minero de acuerdo a ello también se ve clasificado como agente para la fragmentación de la roca , se aprecia los factores de carga entre comparación de mezclas explosivas dentro de ellas las emulsiones al 65 % y al 80% , seguido del aplicativo de software y formulas para facto de potencia para el mineral las cuales se basan en

$$\text{Kg} / \text{B} \times \text{E} \times \text{H} \times \rho_{\text{Roca.}}$$

Kg : Kilogramos.

B: Burdem.

E: Espaciamiento

H : Altura de banco.

$\rho$  : Densidad de la roca .

### 2.4.4. Factor de Gases

En un ámbito ambiental Orica Proporciona:

La aplicación de emulsiones gasificadas ha sido un factor de múltiples beneficios, uno de ellos es que al usarlo en procesos de voladuras es amigable con el medio ambiente ya que reduce la emanación de gases post-voladura se llevo a aplicar los dos tipos de emulsion gasificada obtenidos y con la aplicación de equipos de medicion de gases y software se llevo a obtener resultados ecoamigables.

### **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

Según la recopilación de estudios preliminares para la problemática obtenida, la cual, se fundamenta en: ¿Cuáles son los beneficios en la optimización en la fragmentación de la roca mediante la aplicación de emulsión gasificada? , se obtuvo como resultados diferentes tipos de beneficios obtenidos con el uso de emulsión gasificada, esto es de suma importancia para las operaciones de la empresa Orica, ya que, con su patente de Fortis Advantage 80% (80% emulsión gasificada – 20%ANFO) tiende a ser mejor el proceso de voladura, mejora significativamente los procesos de transporte y molienda, brindando ahorros completos en operaciones, se obtuvo los siguientes resultados en :

- Comparativos VOD.
- Análisis de Fragmentación.
- Factor de Potencia.
- Factor de Gases.

### 3.1. COMPARATIVO VOD.

En nuestro comparativo de velocidad de detonación (VOD) se obtiene el resultado de una mejora de liberación de energía aplicando emulsión gasificada, esto nos quiere decir que con la aplicación de emulsión gasificada podemos lograr el objetivo de una excelente fragmentación de la roca, para así proceder a facilitar los procesos de transporte y molienda, obteniendo tiempo y costos a favor nuestro, con una liberación de energía con nuestra emulsión gasificada fortis advantage 80 (emulsión gasificada patentada por Orica) de 5657 m/s, siendo esta liberación un resultado excelente que aporta una precisa fragmentación de roca, esto aplicado en las operaciones laguna norte – la libertad.

Grafico 04: Comparativo VOD.

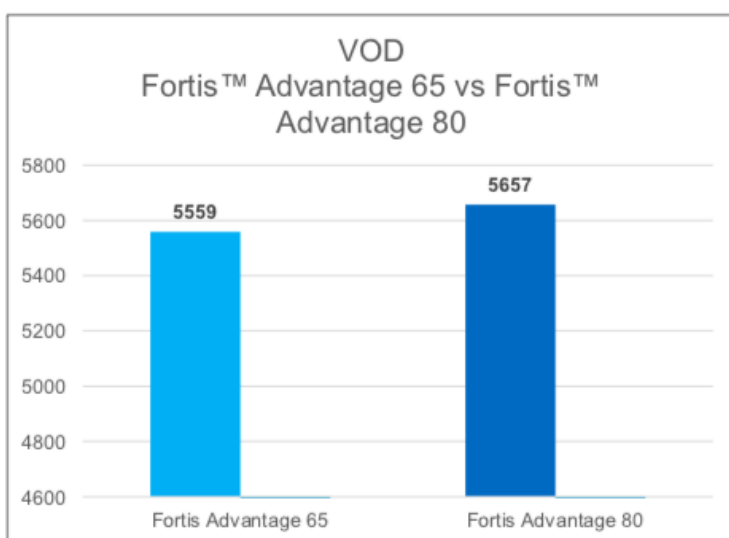


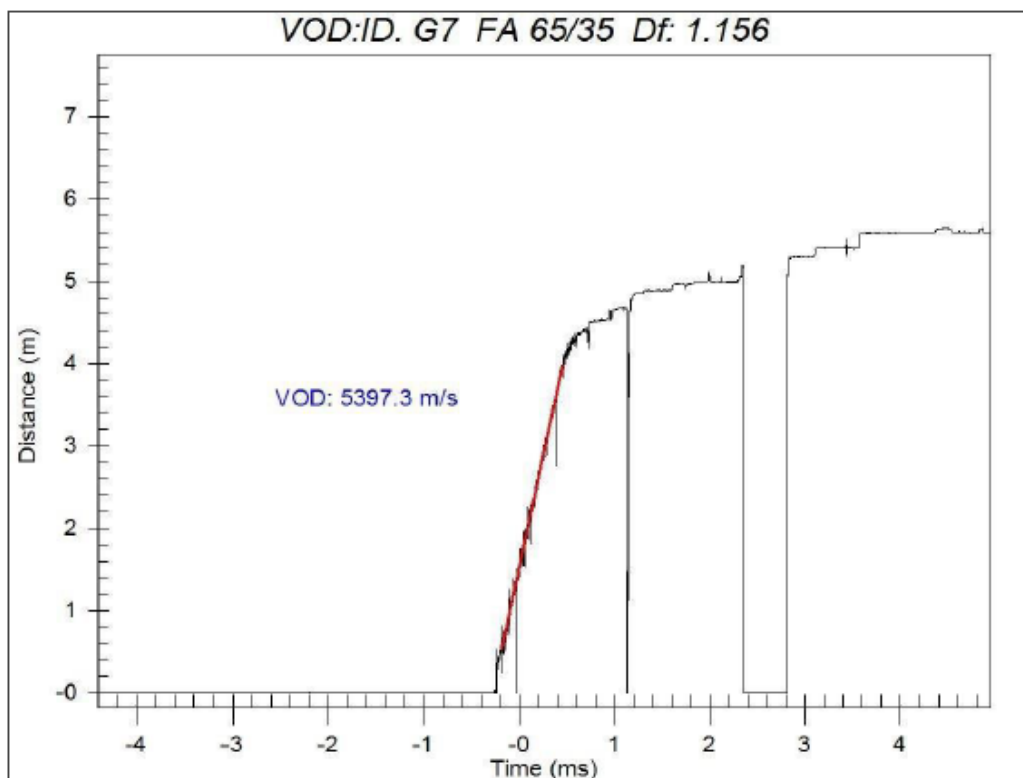
Tabla 07: Comparativo VOD.

Mezcla	Densidad Final (gr/cc)	VOD promedio (m/s)
Fortis™ Advantage 65	1.15	5559
Fortis™ Advantage 80	1.15	5657
<b>diff.</b>		<b>+1.8%</b>

Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

Medición de registro de VOD de la Mezcla Fortis 65 en taladro 9 7/8 , con una mezcla gasificada a 1.15 Gr/cc de densidad.

Grafico N° 05 : Registro VOD Fortis 65.

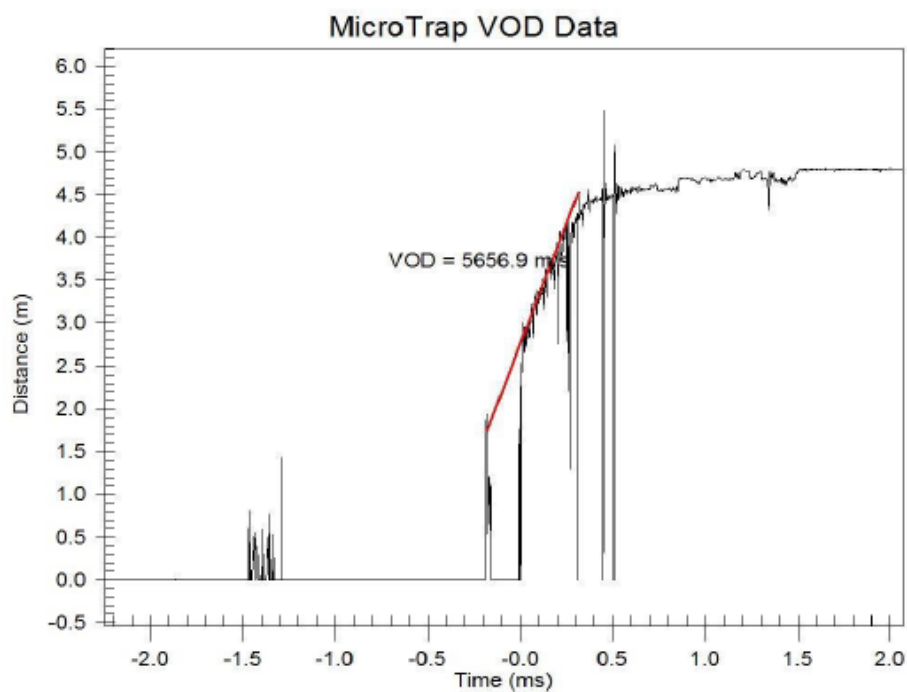


Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

En los resultados con el cable coaxial para la medición de VOD para la mezcla de emulsión gasificada fortis 65 en un taladro de 9 7/8 de diámetro y con densidad de 1.15 Gr/cc , nos arroja una velocidad de detonación VOD de 5397.3 m/s siendo cifras muy favorables para nuestra mezcla , la cual mejora aun en el sistema de liberación de energía en nuestros resultados con mezcla fortis 80 , la cual ya obtiene un 80% de emulsión gasificada.

Medición de registro VOD de la mezcla Fortis 80 en taladro 9 7/8 , con una mezcla gasificada a 1.15 Gr/cc de densidad.

Grafico N°06 : Registro VOD Fortis 80.



Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

En los resultados con el cable coaxial para la medición de VOD para la mezcla de emulsión gasificada Fortis 80 en un taladro de 9 7/8 de diámetro y con densidad de 1.15 Gr/cc , nos arroja una velocidad de detonación VOD de 5656.9 m/s siendo cifras muy favorables para nuestra mezcla , la cual mejora significativamente a los datos de la mezcla de Fortis 65.



En efecto por la toma de datos brindada por la empresa Orica en la medición de su VOD con la aplicación de emulsión gasificada o Fortis advantage nos da como resultado un rango de 80m/s usando Advantage 80 , eso quiere decir una eficaz manera de liberación de energía , lo cual nos lleva a una mejora en fragmentación.

### 3.2. ANALISIS DE FRAGMENTACION

Como resultado de la aplicación de emulsión gasificada en operaciones de voladura, se dio a conocer una excelente fragmentación, esto se debe a la calidad del explosivo usado (emulsión gasificada), ya que, al ser más poderoso en liberación de energía con una medición de VOD buena, nos da en campo el resultado de 6.39 pulgadas de fragmentación, el cual, es un indicativo excelente a los estándares pedidos por la empresa minera lagunas norte – la libertad.

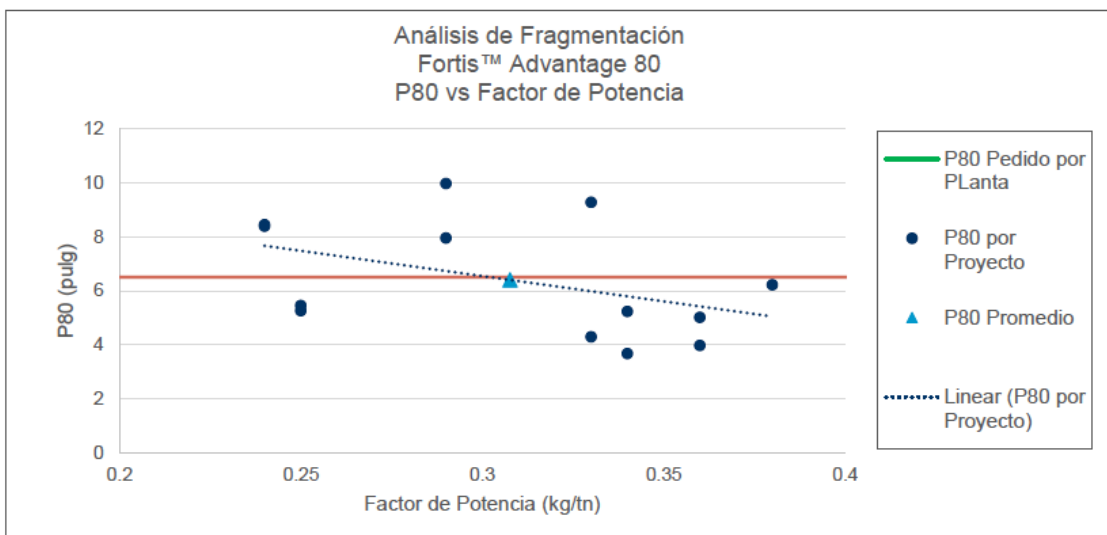
Tabla 08: Análisis de Fragmentación.

Zona	Proyecto	Taladros Cargados	Factor de Potencia (Kg/Ton)	Tamaño Característico o Xc (pulg)	Índice de Uniformidad n	P80 (pulg)	Tiempo entre talados (ms)	Tiempo entre Filas (ms)	Secuencia de Salida	Tipo de Explosivo
Dafne	4040-254	93	0.38	3.68	0.904	6.22	4	95	V	FA 80/20
Dafne	4020-223_225	450	0.25	3.17	0.939	5.26	3	95	Echelón	FA 80/20
Dafne	4040-255	62	0.29	4.64	0.885	7.95	3	95	Echelón	FA 80/20
Dafne	4020-223_225	450	0.25	3.57	1.12	5.45	3	95	Echelón	FA 80/20
Dafne	4040-255	62	0.29	6.38	1.07	9.96	3	95	Echelón	FA 80/20
Alexa	4070-212	24	0.34	3.42	1.12	5.23	3	95	Echelón	FA 80/20
Alexa	4100-182	87	0.33	5.94	1.07	9.27	5-9	95	Echelón	FA 80/20
Alexa	4100-182	87	0.33	2.43	0.836	4.29	5-9	95	Echelón	FA 80/20
Dafne	4020-228	118	0.24	5.92	1.34	8.44	8	96	Echelón	FA 80/20
Alexa	4070-212	24	0.34	2.39	1.11	3.67	3	95	Echelón	FA 80/20
Dafne	4010-218	157	0.36	2.94	0.891	5.01	37	740	Echelón	FA 80/20
Dafne	4020-228	118	0.24	4.49	0.761	8.39	8	96	Echelón	FA 80/20
Dafne	4020-229	104	0.36	2.18	0.794	3.97	8	215	Echelón	FA 80/20
		<b>F.P. Promedio</b>	<b>0.31</b>			<b>P80 Promedio</b>	<b>6.39</b>			

Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

Como parte del análisis de fragementtacion , tambien se saco resultados de fragmentacion P80 Vs El factor de potencia or cada proyecto analizado y con lo requerido por planta de cada proceso.

Grafico N°07 : Analisis de fragmentacion P80 vs Factor de potencia.



Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

Se nota claramente en el rango y en las respuestas de las pruebas obtenidas con la aplicación de la emulsion gasificada fortis 80 y el promedio de P80 que se encuentra en el rango requerido por planta , esto varia deacuerdo ala fragmentacion que requiere la planta de cada uno de los procesos , eso se modifica aplicando buden y espaciamiento , diametro de taladro , tipo de explosivo y en algunos casos el tipo de iniciacion , pero para los requerimientos de este caso se encuentra en el promedio requerido.

El buen resultado obtenido con pruebas en operaciones con la aplicación de emulsión gasificada para la fragmentación nos arroja un resultado de 6.39 pulg, resultado beneficioso para el buen manejo de tiempo y costos en planta.

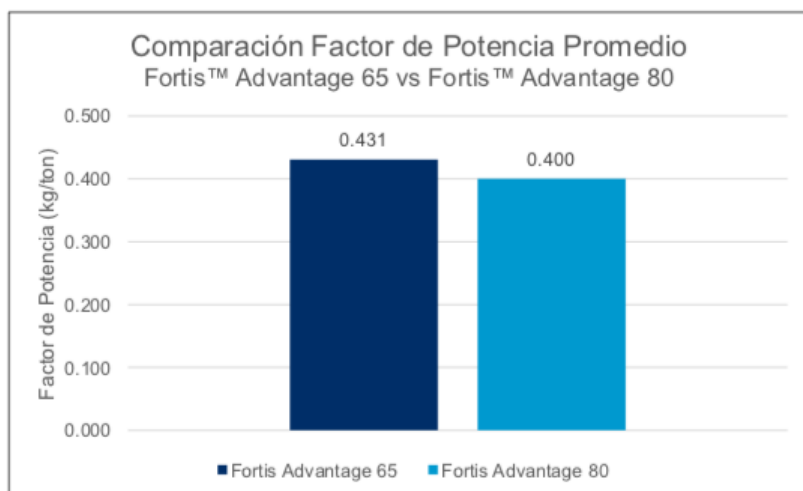
### 3.3. FACTOR DE POTENCIA.

Como resultado en las operaciones laguna norte – la libertad con la aplicación de emulsión gasificada se obtiene un factor de potencia óptimo, el cual dentro de los estándares de la empresa nos arroja el resultado de 0.400 kg/Ton con el uso de la emulsión gasificada al 80%, el cual cuenta como un indicador para la buena fragmentación de la roca.

Tabla 09: Factor de Potencia.

Mezcla Explosiva	Densidad Inicial (gr/cc)	Densidad de Copa (gr/cc)	Densidad Media (gr/cc)	N° Voladuras	N° Taladros	Tonelaje Volado (ton)	Cantidad de Explosivo (kg)	Factor de Potencia Promedio (kg/ton)
Fortis™ Advantage 65	1.30	1.15	1.25	19	2335	1457262	627853	<b>0.431</b>
Fortis™ Advantage 80	1.31	1.15	1.25	22	2358	1684275	673710	<b>0.400</b>

Grafico 08: Comparación de Factor de Potencia.



Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service

Se han tomado diferentes tipos de analisis para el factor de potencia dentro de ellos el cuadro a detalle para el promedio del mismo , con los factores en malla tomados por zonas.

Tabla N° 10 : Ejemplo de promedio de factor de potencia de la mezcla Fortis 65.

Tajo	Nivel	Proyecto	Altura de Banco (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	N° Taladros	Tonelaje Volado (ton)	Fortis™ Advantage 65 (kg)	Factor de Potencia (kg/ton)
DAFNE	3990	105	10.0	5.20	6.00	105	81900	33330	0.41
ALEXA	4090	203	10.0	5.20	6.00	108	84240	38895	0.46
ALEXA	4100	181	10.0	4.11	4.75	58	28308	10465	0.37
DAFNE	3990	107	10.0	5.20	6.00	164	127920	50580	0.40
DAFNE	4100	180	10.0	3.60	4.00	89	32040	13846	0.43
DAFNE	3990	108	10.0	5.20	6.00	154	120120	51490	0.43
DAFNE	3990	109	10.0	3.68	4.3	64	25024	16490	0.66
DAFNE	4010	215	10.0	5.40	6.20	52	43524	6825	0.16
DAFNE	4030	218	10.0	3.90	4.50	48	21060	8062	0.38
DAFNE	3970	25	10.0	5.00	6.00	35	26250	8490	0.32
DAFNE	4040	251	10.0	3.68	4.25	261	102051	50410	0.49
DAFNE	3970	26	10.0	5.20	6.00	172	134160	59070	0.44
DAFNE	3990	110	10.0	4.98	5.75	128	91632	41650	0.45
DAFNE	4040	252	10.0	4.11	4.75	288	140562	64040	0.46
DAFNE	4030	219	10.0	5.20	6.00	93	72540	29645	0.41
DAFNE	4000	197	10.0	5.60	6.20	132	114576	45905	0.40
DAFNE	4040	253	10.0	4.11	4.75	164	80042	37195	0.46
DAFNE	3990	112	10.0	5.20	6.00	82	63960	26025	0.41
DAFNE	4030	220	10.0	4.11	4.75	138	67353	35440	0.53
<b>Total</b>						<b>2335</b>	<b>1457262</b>	<b>627853</b>	
								<b>F.P. Promedio 0.431 kg/ton</b>	

Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

Tabla N° 11 : Ejemplo de promedio de factor de potencia con la mezcla Fortis 80.

Tajo	Nivel	Proyecto	Altura de Banco (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	N° Taladros	Tonelaje Volado (ton)	Fortis™ Advantage 80 (kg)	Factor de Potencia (kg/ton)
ALEXA	4060	225-227	10.0	5.41	6.25	128	108200	31110	0.29
DAFNE	4000	201	10.0	5.20	6.0	6	4680	1820	0.39
ALEXA	4070	211	10.0	5.20	6.00	17	13260	3245	0.24
ALEXA	4070	210	10.0	5.20	6.00	68	53040	18610	0.35
JOSEFA	4010	216	10.0	3.40	4.00	30	10200	6750	0.66
ALEXA	4060	230	10.0	5.20	6.00	38	29640	11220	0.38
ALEXA	4060	231	10.0	5.20	6.00	173	134940	54272	0.40
DAFNE	4020	225-227	10.0	4.33	5.00	171	92554	36935	0.40
DAFNE	4040	255	10.0	5.20	6.00	62	48360	15165	0.31
ALEXA	4070	212	10.0	5.41	6.25	24	20288	7195	0.35
DAFNE	4030	230	10.0	5.20	6.00	109	85020	32925	0.39
ALEXA	4090	206	10.0	5.41	6.25	256	216400	75386	0.35
ALEXA	4100	182	10.0	5.41	6.25	86	72697	26525	0.36
DAFNE	4020	228	10.0	4.33	5.00	118	63868	20865	0.33
ALEXA	4060	233	10.0	5.41	6.25	59	49873	22100	0.44
DAFNE	4020	229	10.0	4.33	5.00	104	56290	22420	0.40
DAFNE	4010	218	10.0	4.33	5.00	157	84976	33545	0.39
ALEXA	4060	234	10.0	5.41	6.25	132	111581	35920	0.32
JOSEFA	4000	203	10.0	3.90	4.50	33	14479	7475	0.52
DAFNE	4040	256	10.0	5.20	6.00	65	50700	17940	0.35
DAFNE	4010	220	10.0	4.33	5.00	184	99590	46075	0.46
ALEXA	4050	213-214-215	10.0	5.20	6.00	338	263640	116495	0.44
<b>Total</b>						<b>2358</b>	<b>1684275</b>	<b>673710</b>	
								<b>F.P. Promedio 0.400 kg/ton</b>	

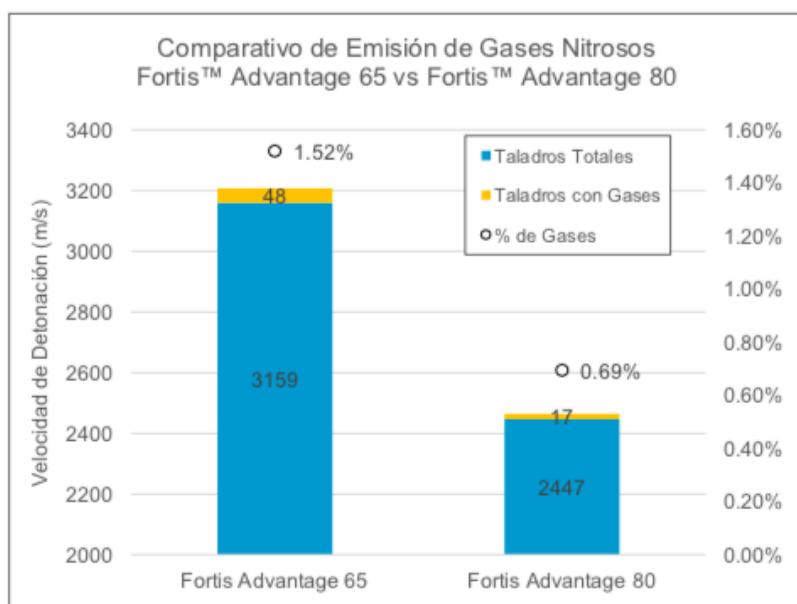
Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

La comparacion de la empresa Orica con sus dos productos gasificables nos arrojan resultados de 0.431 y 0.400 Kg/Ton, factor de suma importancia para la buena fragmentacion de la roca.

### 3.4. FACTOR DE GASES.

Como resultado del factor de gases en las operaciones laguna norte – la libertad por medio de la aplicación de emulsio gasificada , como un beneficio extra , fuera de la excelente fragmentacion obtenida en los procedimientos en campo y resultados nos vemos ala magnitud ambiental del uso de emulsion gasificada , el cual reduce con un significativo porcentaje la emanacion de gases nitrosos , de esta manera obteniendo una excelente fragmentacion de roca y adicionalmente un buen cuidado al medio ambiente con resultados de : 2447 taladros cargados de los cuales 17 emanaron un 0.67% de gases , siendo esto un punto a favor de la aplicación de emulsion gasificada.

Grafico N° 09 : Factor de Gases.



Fuente: Informe de prueba Orica Mining Service.

En efecto como un excelente trabajo de voladura es la parte ambiental, tema de suma importancia en las operaciones con un porcentaje de emanacion de gases reducido por medio de mayor proporcion de emulsion gasificable un claro ejemplo la prueba con el Fortis 80 que compone el 80 % de emulsion gasificable nos arroja datos de 0.69 % de emanacion de gases cifra muy reducida, con la estadistica de 2447 taladros de los cuales solo 17 salieron con este pequeño porcentaje de emanacion.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. DISCUSIÓN.

Basados en el manejo de la información y las teorías que nos han servido de base para lograr entender el tema de voladura en minería a tajo abierto , desde sus inicios y la evolución que ah llegado a obtener durante estos años , hemos logrado apreciar las mejoras en tecnología brindadas para el manejo de accesorios de voladura , agentes , explosivos , etc. Entendimos una teoría básica y evolutiva sobre este manejo y arte que es la voladura en minería.

Esto nos ha servido como una base importante en la comprensión de literatura minera obtenida durante estos años , las aportaciones por medio de la empresa Orica Mining service con su de informe de uso de emulsión en lagunas norte – la libertad , nos ayudo mucho en prueba en campo en comparaciones y beneficios que aporta el uso de emulsión gasificada , las limitaciones que se obtuvo para el manejo de información fue que no todos los beneficios a detalle se logro obtener por medio de la empresa , ya que , por políticas de privacidad solo se brindo únicamente los temas y beneficios tocados en este trabajo , los cuales de alguna manera nos han logrado capacitar y entender mejor que mediante la aplicación de emulsión gasificada hemos obtenido una mejora de 5657 m/s en liberación de energía (VOD) , siendo este un factor importante para la fragmentación de la roca , sumado a ello la unidad de 6.39 pulgadas en fragmentación con este uso de explosivo , con factores de potencia dentro de los estándares y con un cuidado medio ambiental excelente con el 0.69% de emanación de gases en 17 taladros de 2447 , esto nos da un importante conocimiento y aporte para comprender la evolución de la tecnología en minería , los aportes de la emulsión gasificada que fuera de obtener una excelente fragmentación aporta significativamente con el medio ambiente.

Como bien menciona el ingeniero Salcedo Orichuea (2015) nos comenta:

Emulsión Gasificada, Emulsión a granel especialmente diseñada para la reducción de gases nitrosos y para ser usada en taladros con presencia de agua. Puede variar la densidad final dentro de taladro por medio de formación de gases producto de reacciones químicas de los componentes de la emulsión, brindando un poder energético y aplicable para taladros de grandes dimensiones.

Esta emulsión gasificada es sensibilizada en el momento justo del cargio del taladro para ello se añaden sales especiales que definen la densidad final del producto, por lo que siempre se efectúa muestreo de densidades durante el cargio de taladros. Para poder llegar a la densidad final se debe esperar entre 15 a 20 minutos luego del cual se obtendrá el esponjamiento deseado. (P.32).

Lo mencionado por parte del ingeniero Salcedo nos detalla como parte de una afirmación y corroboración hacia nuestros resultados, ya que, habla de reducción de gases y el poder energético de la emulsión gasificada, esto da más valor a nuestros resultados obtenidos, ya que, corrobora y da más seriedad al proyecto de investigación presentado, los resultados de nuestro proyecto, en efecto, arrojaron menor porcentaje de gases nitrosos y un mayor poder de liberación de energía.



#### 4.2. CONCLUSIONES.

- Mediante la aplicación de emulsión Gasificada en los procesos de voladura en operaciones se obtuvo las mejoras en respuesta de liberación de energía , la cual , es un factor primordial para la fragmentación de la roca , con respuestas en campo una mejora de la velocidad de detonación (VOD) mostrando el comparativo de las mezclas explosivas Fortis 65 y 80 las cuales arrojaron una muestra de 5559 y 5657 en la unidad de (Metros x Segundo).
- El uso de emulsión gasificada mejora cuantitativamente el proceso de fragmentación de roca, ya que, por ser un medio de mayor liberación de energía fragmenta adecuadamente la roca dentro de los estándares puestos con resultados de granulometría de 6.39 pulg la cual se toma como la mejora al requerimiento de la operación , adicionalmente mejora la fragmentación de los mismos , al realizar este beneficio nos da una mejora en tiempo y costos en el carguío y acarreo del material , una mejora en el proceso , mejora en recuperación del mineral.
- La aplicación de emulsión gasificada nos da un excelente procedimiento de mejora de factor de potencia con los resultados de aplicación de Fortis 65 en un total de 2335 taladros con 6278573 Kg de explosivo nos arroja un factor de potencia de 0.431 expresado en kilogramos x tonelada y el Fortis 80 en 2358 Taladros con 673710 Kg de explosivo nos arrojo un factor de potencia de 0.400 Kilogramos x tonelada.
- El beneficio ambiental del uso de emulsión gasificada es notoriamente bueno, ya que por procedimiento ah reducido su emanación de gases nitrosos en porcentajes admirables para las empresas mineras y así obtener operaciones cuidando el medio ambiente.

## REFERENCIAS

- Acocer N. (2013). *Estudio Experimental para la elaboración de Emulsión gasificada para la industria minera*. (Tesis Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ames V. (2008). *Diseño de las mallas de perforación y voladura utilizando la energía producida por las mezclas explosivas*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Jackson M. (2015) Descubrimiento de la pólvora. En Jackson M. *Colección Moderna de conocimientos universales* (p. 7). Boston, EE.UU.: J. Ferenczi, París.
- Sangay W. (2015). *Análisis de factibilidad para el uso de anfo pesado a base de emulsión gasificable*. (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Villanueva R. (Setiembre, 2009). *Emulsión Gasificada*. Trabajo presentado en la conferencia de PERUMIN, Arequipa.
- Orica Minig Services. (2018). *TDS Fortis Extra* (p.1). Chile: Orica Mining Services.
- Salcedo Orichuea. (2015). *EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN MINERA YANACOCHA SRL*. (Tesis de pregrado), Universidad Nacional De Ingeniería.
- Chambi Ocsa. (2018). *APLICACIÓN DE FLEXIGEL EN VOLADURAS DE CONTROL - ORICA MINING SERVICES S.A. - MINA CERRO VERDE. 2019*. (Tesis de pregrado), Universidad Nacional San Agustín – Arequipa.

Diario Económico Gestión. (2017). *Orica se consolida como uno de los principales proveedores de voladuras y el líder en cianuro*. 2019, de Gestion Sitio web: <https://gestion.pe/economia/orica-consolida-principales-proveedores-voladuras-lider-cianuro-230279>.

Minera Chilena. (2017). *Orica presentó detonador con tecnología inalámbrica en Exponor 2017*. 2019, de Minería Chilena Sitio web: <http://www.mch.cl/2017/06/06/orica-presento-detonador-tecnologia-inalambrica-exponor-2017/#>.

Wang Xuguang. *Emulsiones Explosivas, Introduccion, (P.04 – P07), Oklahoma – EE.UU.*

Wang Xuguang. *Emulsiones Explosivas, Descripcion General de las emulsiones, (P.04 – P07), Oklahoma – EE.UU.*

Asistencia Técnica Tajo I (2020) . *Proceso de monitoreo diario y de mejoras de la emulsion* , EXSA S.A Miembro del Grupo Orica.