

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Propuesta del uso de emulsión gasificada en el  
carguío de taladros para reducir los costos en voladura  
en una mina a tajo abierto con depósitos tipo Skarn,  
Arequipa 2020**

Erick Jhohenny Alcocer Pinto  
Jesús Eduardo Salas Bernedo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **DEDICATORIA**

La presente tesis la dedico a Dios, a mi esposa Jaclyn y a mis hijos Jaer y Matías, quienes son la razón de mi esfuerzo para concluir este sueño; a mi mamá Laura, a mi mamá Anavelba que desde el cielo me sigan bendiciendo; al apoyo de mis suegros que siempre estuvieron dándome aliento para seguir adelante; a mis compañeros de trabajo y jefes que me apoyaron en todo momento, a mis compañeros de estudio y a todas las personas que fueron participes junto conmigo en este camino.

**ERICK**

Dedico esta tesis a mi madre Julia, mi padre Jesús, que son las personas que siempre han estado allí para aconsejarme y apoyarme en cada momento de mi vida y sobretodo en mis estudios, a mis infaltables amigos y compañeros de estudios.

**EDUARDO**

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, en primer lugar, quiero agradecer a Dios, por tantas bendiciones en la vida y darme la oportunidad de realizarme profesionalmente.

En segundo lugar, agradecer a mi esposa e hijos por estar siempre a mi lado y comprender juntos por todo lo que hemos pasado; a mi mama Laura por estar siempre a mi lado y repetirme todos los días “que yo puedo”; a mis colegas de la gloriosa Policía Nacional del Perú por todo el apoyo brindado.

**ERICK**

Agradezco a Dios, a la Virgen de Chapí, a mi familia y a todas las personas que hicieron posible este trabajo de investigación, a mis docentes que siempre fueron lo más impórtate para crecer como profesional, a mis compañeros Eilen, Erick que siempre estuvieron presente en cada hora de estudios.

**EDUARDO**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.1.2 Formulación del problema.....	2
1.1.3 Problemas específicos .....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	3
1.3.1 Justificación económica .....	3
1.3.2 Justificación Ambiental.....	4
1.3.3 Justificación técnica .....	4
1.3.4 Justificación operativa.....	4
1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	4
1.4.1 Hipótesis general .....	4
1.4.2 Hipótesis específicas.....	5
1.5 VARIABLES .....	5
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	6
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	6
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	7
2.1.3 Antecedentes locales .....	8
2.2 BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1 Yacimientos tipo Skarn.....	10
2.2.2 Geomecánica.....	10
2.2.3 Operaciones en mina .....	12

2.2.4	Explosivos.....	16
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	19
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....</b>		<b>22</b>
3.1	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	22
3.3.1	Población .....	22
3.3.2	Muestra.....	23
3.4	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	23
3.5	INSTRUMENTOS DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS .....	23
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>25</b>
4.1	SISTEMA ACTUAL DE CARGUÍO DE TALADROS .....	25
4.2	EVALUACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICADA .....	33
4.2.1	Taco de tope 5 m .....	34
4.2.2	Taco de tope 5.50 m .....	46
4.2.3	Taco de tope 6 m .....	58
4.3	ANÁLISIS DEL BENEFICIO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN EL CARGUÍO DE TALADROS.....	73
4.3.1	Determinación del ahorro .....	82
4.3.2	Beneficios .....	82
4.4	DISCUSIÓN .....	83
CONCLUSIONES .....		85
RECOMENDACIONES.....		86
ANEXOS.....		91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables .....	5
Tabla 2.	Malla de perforación en mineral.....	14
Tabla 3.	Valores de Ks .....	15
Tabla 4.	Valores de Kj .....	15
Tabla 5.	Valores de KI.....	16
Tabla 6.	Diseño de perforación taco 5m – Carguío actual .....	26
Tabla 7.	Diseño de perforación taco 5.50 m – Carguío actual .....	28
Tabla 8.	Diseño de perforación taco 6 m – Carguío actual .....	30
Tabla 9.	Propiedades físicas, químicas y condiciones del carguío actual .....	32
Tabla 10.	Costo del carguío actual por tipo de taco.....	32
Tabla 11.	Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc) .....	34
Tabla 12.	Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc) .....	36
Tabla 13.	Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc) .....	38
Tabla 14.	Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc) .....	40
Tabla 15.	Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc) .....	42
Tabla 16.	Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc) .....	44
Tabla 17.	Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc) .....	46
Tabla 18.	Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc) .....	48
Tabla 19.	Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc) .....	50
Tabla 20.	Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc) .....	52
Tabla 21.	Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc) .....	54

Tabla 22.	Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc) .....	56
Tabla 23.	Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc) .....	58
Tabla 24.	Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc) .....	60
Tabla 25.	Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc) .....	62
Tabla 26.	Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc) .....	64
Tabla 27.	Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc) .....	66
Tabla 28.	Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc) .....	68
Tabla 29.	Propiedades físicas, químicas y condiciones de carga de la emulsión gasificada .....	70
Tabla 30.	Costos de la emulsión gasificada por tipo de Taco .....	71
Tabla 31.	Ahorro en carguío de taladro en Taco de 5 m.....	73
Tabla 32.	Ahorro en carguío de taladro en Taco de 5.5m.....	76
Tabla 33.	Ahorro en carguío de taladro en Taco de 6m.....	79
Tabla 34.	Ahorro en carguío de Taladro .....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cronoestratigrafía generalizada del distrito minero Las Bambas .....	11
Figura 2.	Zona de perforación.....	13
Figura 3.	Diseño de malla de voladura .....	13
Figura 4.	Voladura .....	14
Figura 5.	Carguío de taladros .....	16
Figura 6.	Clasificación de explosivos.....	17
Figura 7.	Muestra de banco de mina .....	23
Figura 8.	Carguío actual .....	25
Figura 9.	Diseño de perforación taco 5 m – Carguío actual .....	27
Figura 10.	Diseño de perforación taco 5.50 m – Carguío actual .....	29
Figura 11.	Diseño de perforación taco 6 m – Carguío actual .....	31
Figura 12.	Costo del carguío actual por tipo de taco.....	32
Figura 13.	Emulsión gasificada.....	33
Figura 14.	Carguío de emulsión gasificada.....	33
Figura 15.	Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 60 1.1gr/cc .....	35
Figura 16.	Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 70 1.1gr/cc .....	37
Figura 17.	Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 70 1.05gr/cc .....	39
Figura 18.	Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 100 1.1gr/cc .....	41
Figura 19.	Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 100 1.05gr/cc .....	43
Figura 20.	Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 100 1.0gr/cc .....	45
Figura 21.	Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 60 1.1gr/cc .....	47
Figura 22.	Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 70 1.1gr/cc .....	49
Figura 23.	Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 70 1.05gr/cc .....	51
Figura 24.	Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 100 1.1gr/cc .....	53
Figura 25.	Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 100 1.05gr/cc .....	55
Figura 26.	Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 100 1.0gr/cc .....	57
Figura 27.	Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 60 1.1gr/cc .....	59
Figura 28.	Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 70 1.1gr/cc .....	61
Figura 29.	Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 70 1.05gr/cc .....	63
Figura 30.	Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 100 1.1gr/cc .....	65
Figura 31.	Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 100 1.05gr/cc .....	67
Figura 32.	Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 100 1.0gr/cc .....	69
Figura 33.	Costos de la emulsión gasificada por tipo de Taco .....	72

Figura 34. Ahorro en carguío de taladro en Taco de 5 m.....	74
Figura 35. Ahorro en carguío de taladro en Taco de 5.5 m.....	77
Figura 36. Ahorro en carguío de taladro en Taco de 6 m.....	80
Figura 37. Ahorro en carguío de taladro .....	82
Figura 38. Vista de voladura.....	83

## RESUMEN

El trabajo de investigación lleva por título: “Propuesta del uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros para reducir los costos en voladura en una mina a tajo abierto con depósitos tipo Skarn, Arequipa 2021”. Tiene como objetivo establecer una propuesta para implementar el uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn para reducir los costos de voladura.

El método que se empleó fue el método empírico, ya que se utilizó la observación y se formuló una hipótesis para luego realizar el experimento y finalmente llegar a una conclusión mediante el análisis estadístico de las variables de estudio. El proyecto tiene un alcance que abarca solo al área de voladura. La investigación consistió en determinar los costos de la voladura que utiliza actualmente la mina, en este caso es la Fortis Mex 60, realizando diversas pruebas con emulsiones gasificadas que fueron: Fortis Advantage 60 1.1gr/cc, Fortis Advantage 70 1.1gr/cc, Fortis Advantage 70 1.05gr/cc, Fortis Advantage 100 1.1gr/cc, Fortis Advantage 100 1.05gr/cc y Fortis Advantage 100 1.0gr/cc.

Se realizaron experimentos con variaciones en el desmonte, altura de agua a fin de verificar cuál de las emulsiones gasificadas empleadas en el carguío de taladros aportarían más ahorro a este tipo de mina al compararlos con el carguío de taladros actual, quedando en evidencia que en el desmonte de 6m utilizando Fortis Advantage 100 1.0gr/cc. Se obtiene un ahorro del 11.0% al compararlo con el Carguío de taladros actual.

**Palabras claves:** voladura, perforación, emulsión gasificada, carguío de taladros, ahorro.

## ABSTRACT

The research work titled: "THE USE OF GASIFIED EMULSION IN THE LOADING OF DRILLS TO REDUCE BLASTING COSTS IN AN OPEN-PIT MINE WITH SKARN-TYPE DEPOSITS PROPOSAL, AREQUIPA 2021". Which aim was to establish a proposal to implement the use of gasified emulsion in the loading of drills in an open pit mine with skarn type deposit to reduce blasting costs.

The method that was used was the empirical method since observation was used and a hypothesis was formulated to then carry out the experiment and finally reach a conclusion through the statistical analysis of the study variables. The project has a scope that covers only the blasting area. The investigation consisted of determining the costs of the blasting that the mine currently uses, in this case it is Fortis Mex 60, performing various tests with gasified emulsions that were: Fortis Advantage 60 1.1gr / cc, Fortis Advantage 70 1.1gr / cc, Fortis Advantage 70 1.05gr / cc, Fortis Advantage 100 1.1gr / cc, Fortis Advantage 100 1.05gr / cc and Fortis Advantage 100 1.0gr / cc.

Experiments were carried out with variations in the clearing and water height in order to verify which of the gasified emulsions used in the loading of drills would contribute to economize more to this type of mine when compared with the traditional loading, being in evidence that in the clearing of 6m using Fortis Advantage 100 1.0gr / cc. a reduction of 11.0% is obtained when compared with the traditional loading.

**Keywords:** gasified emulsion, drill loading, economize, blasting, drilling

# INTRODUCCIÓN

En la minería una de las actividades que genera mayor gasto, es el área de perforación y voladura, además de ser una de las más importantes, ya que es por medio de esta actividad donde se extrae el mineral para dar continuidad a las operaciones en mina.

Los explosivos evolucionan constantemente, hasta el punto de alcanzar un avance técnico significativo en la minería, logrando de esta manera la creación de explosivos de alta generación que aportan mejores beneficios en su uso, ya que mejoran la voladura y optimizan la extracción de los minerales.

Para la realización de la tesis, en primer lugar se describió el problema, detallando la problemática en el uso de explosivos tradicionales como el anfo, emulsiones, entre otros. Para de esta manera proponer el uso de la emulsión gasificada, la cual permitirá que se pueda reducir el consumo de explosivo en el carguío de taladros para la voladura, generando de esta manera una reducción en el costo de explosivo por taladro cargado, así como se analizaron las justificaciones, se describieron las variables en estudio.

En esta investigación se compararán diferentes emulsiones gasificadas en el carguío de taladros con el carguío tradicional actual, en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn para reducir los costos de voladura y analizar los beneficios que se obtendrán con la implementación de este tipo de explosivos.

Luego se analizaron antecedentes a nivel internacional, nacional y local, se describieron las bases teóricas asociadas a la investigación y se realizó una definición de los términos más utilizados.

Se detalló la metodología que se empleó, se definió la población y la muestra en estudio y se analizaron las técnicas e instrumentos a utilizar.

Finalmente, se dio respuesta de los objetivos e hipótesis planteadas a través del análisis de los resultados y de esta manera se pudo llegar a determinar el ahorro obtenido en el uso de emulsión gasificada para el carguío de taladros.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

La actividad minera cada día evoluciona, sobre todo lo relacionado a explosivos; desde un inicio rudimentario hasta haber alcanzado un alto grado técnico, ya sea basada en la investigación técnica o por los adelantos de la ciencia, ya que ha permitido la fabricación de explosivos de última generación que mejora la voladura de rocas y a la vez optimiza la explotación de los recursos mineros.

La evaluación de la voladura es importante, ya que de esta manera se puede estudiar y analizar la acción que ejercen los explosivos, teniendo en cuenta los mecanismos de rotura, las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, aquellos modelos que predicen la fragmentación, y las técnicas de evaluación de la misma.

Tradicionalmente, la voladura de rocas en minas de Tajo Abierto (Open Pit), se realizaban con el uso del Anfo que es una mezcla de Nitrato de Amonio en prill con un 6 % de petróleo, generando una desventaja en la permeabilidad y pérdida de su potencia por la presencia de humedad o agua.

En la actualidad, para subsanar el problema de la humedad se generalizó el uso de emulsiones e hidrogeles y posteriormente usar Anfo Pesado (Heavy Anfo), buscando mejoras en cuanto a la reducción de costos. Debido a lo planteado, el problema de esta investigación radica en diseñar una propuesta para implementar el uso de emulsión gasificada en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn para reducir los costos de voladura.

#### **1.1.2 Formulación del problema**

¿El uso de emulsiones en el carguío de taladros en una mina a tajo abierto con yacimientos tipo Skarn influye en la reducción de costos en voladura?

### **1.1.3 Problemas específicos**

- ¿Con el método actual de carguío de taladros empleado en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn se podrán reducir los costos de voladura?
- ¿Utilizando otros métodos de emulsión gasificada en el carguío de taladros en la mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn, influirán en los costos de voladura?
- ¿Cuál será el beneficio al implementar el uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn?.

## **1.2 OBJETIVOS**

Los objetivos del presente trabajo se llegaron a establecer de la siguiente manera:

### **1.2.1 Objetivo general**

Establecer una propuesta para implementar el uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn para reducir los costos de voladura.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar el método actual de carguío de taladros empleado en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn.
- Evaluar la emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn.
- Analizar los resultados del uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En esta sección se detallarán la justificación e importancia económica, ambiental, técnica y operativa, sobre los beneficios que nos da el uso de la emulsión gasificada en la actividad de perforación y voladura.

### **1.3.1 Justificación económica**

La minería es una actividad que en sus operaciones genera gran cantidad de inversión, sobre todo en el área de voladura, por la gran cantidad de explosivos que se usan; con esta investigación se pretende reducir el costo en voladura, con el uso de la

emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina a tajo abierto con yacimientos tipo Skarn.

### **1.3.2 Justificación Ambiental**

Los productos resultantes de una voladura generan gases nitrosos (N<sub>2</sub>O), al medioambiente, con la implementación de la emulsión gasificada se pretende disminuir la emisión de gases al ambiente, ya que este explosivo presenta mejor condición para la reducción de gases emitidos al medioambiente.

### **1.3.3 Justificación técnica**

Con el avance tecnológico referente a la actividad en voladura, el uso de emulsiones gasificadas presenta propiedades y características superiores al método de voladura utilizado actualmente, lo que es adecuada para el uso en lugares húmedos y con presencia de agua; asimismo genera una mejor fragmentación de las rocas, logrando de esta manera ahorro en tiempo y dinero, ya que se utiliza una menor cantidad de explosivos por taladro cargado de explosivo.

### **1.3.4 Justificación operativa**

La emulsión gasificada, es un tipo de explosivo que permite una mejor maniobrabilidad y control en el momento de su uso; ya que nos permite la reducción en el uso de los explosivos al tener una adecuada gasificación. Podemos determinar que su uso es confiable en barrenos secos y con agua. El producto asegura exactitud, productividad y confiabilidad en el suministro, puede ser cargado a distintas energías y densidades para maximizar la fragmentación mejorando la productividad de la mina. Por lo que proporciona cargas totalmente acopladas para maximizar los resultados de las voladuras.

## **1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

Las hipótesis de la investigación, nos permitirán demostrar de una manera más clara la identificación de los beneficios en el uso de emulsión gasificada:

### **1.4.1 Hipótesis general**

El uso de emulsión gasificada en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn si influye en los costos en voladura.

### 1.4.2 Hipótesis específicas

- Con el método actual de carguío de taladros no es factible reducir los costos en voladura.
- El uso de la emulsión gasificada en el carguío de taladros influye positivamente en los costos de voladura.
- La aplicación de emulsión gasificada aportará varios beneficios en las operaciones de voladura, siendo más relevante la reducción de costos en la voladura.

### 1.5 VARIABLES

Las variables involucradas en la investigación son:

Variable Independiente: Tipo de emulsión en el carguío de taladros

Variable dependiente: Costo de Voladura

**Tabla 1.**

*Operacionalización de variables*

Variable	Indicadores	Sub indicadores
<b>Variable Independiente:</b> Tipo de emulsión en el carguío de taladros	Propiedades físicas	Velocidad de detonación ( <b>m/s</b> )
		Energía ( <b>Kcal/kg o MJ/kg</b> )
		Densidad ( <b>g/cm<sup>3</sup></b> )
	Propiedades químicas	Energía relativa efectiva
		Emisión CO <sub>2</sub> ( <b>ppm</b> )
<b>Variable dependiente:</b> Costo de Voladura	Condiciones de carga	Diámetro del taladro ( <b>Ø, pulg.</b> ) Tipos de taladro
	Costo	Costos de Explosivo ( <b>\$/Tal</b> )

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

En las investigaciones se tomarán en cuenta antecedentes internacionales, nacionales y locales que se realizaron asociados a las variables en estudio.

##### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

- Chugá, (2017), en su tesis titulada “Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la Mina Cuajone – Southern Perú”, realizada en la Universidad Central Del Ecuador, tuvo como objetivo Realizar un Análisis comparativo entre los Métodos de Voladura Convencional y Gasificada utilizada en la mina Cuajone- Southern Perú. La investigación fue de tipo descriptiva puesto que se señalaron las condiciones geológicas, geomecánicas, que se encuentra el yacimiento, y las razones por las cuales el resultado de voladura no es óptimo para los procesos de extracción de material. Concluyendo que los parámetros más relevantes en el diseño de bancos para la extracción del mineral de alta ley, baja ley y taco, que se utiliza en la mina Cuajone, están ligados principalmente a la geología; en donde la malla de diseño aplicable efectiva es de tipo tresbolillo con relación entre Espaciamiento: Burden igual a 1:1.15 y la separación de los taladros en la malla se lo realiza en función del piso de banco proyectado basados en datos del mapeo, descripción geológica de detritus y rediseños de espaciamiento, producto de la modificación de mallas de perforación a lo largo de las múltiples pruebas experimentales realizadas en Cuajone.
- Mertuszka, Cenian, Kramarczyk y Pytel (2018), Influence of Explosive Charge Diameter on the Detonation Velocity Based on Emulinit 7L and 8L Bulk Emulsion Explosives. Uno de los principales parámetros que describen las

propiedades de los explosivos es la velocidad de detonación, que puede definirse como la velocidad de propagación de la zona de reacción química en el explosivo detonante. La velocidad de detonación de un explosivo, depende de muchos parámetros, como la densidad o el diámetro del material y la carcasa del explosivo; además del grado de fragmentación del cristal, el método de iniciación y el contenido de componentes particulares. La efectividad del trabajo de voladura en minas subterráneas depende principalmente de la selección adecuada del diámetro del pozo, la longitud del pozo, la distancia entre los pozos y los retrasos de los detonadores utilizados. Este artículo presenta los resultados de estudios que investigan la influencia del diámetro de una carga explosiva de emulsión a granel en la velocidad de detonación utilizando un registrador de datos / VOD MicroTrap™ fabricado por MREL, Canadá. Las pruebas subterráneas se desarrollaron en la mina de cobre “Polkowice-Sierszowice” en Polonia.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

- Macedo (2018), en su tesis “Empleo de emulsión gasificada SAN-G APU para mejorar la fragmentación en la fase 8 de La Mina Antamina año 2018” de la Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo en Huaraz, Perú, Tuvo como objetivo principal el realizar la voladura de rocas y minerales empleando emulsión gasificada SAN-G APU, para optimizar la fragmentación en la compañía minera Antamina S.A., año 2018. Se justifica porque la voladura usando emulsión gasificada SAN-G APU para mejorar la fragmentación en la fase 8 de en la mina Antamina año 2018, que por sus características técnicas y propiedades hacen un explosivo de mayor calidad y rendimiento en términos de velocidad de detonación, mejora la fragmentación y que, al mismo tiempo, maximiza la productividad en el proceso con un menor costo de operación en US\$/Tm – Fragmentada. Asimismo, es un producto eco-amigable ya que al poseer un mejor balance de oxígeno, la presencia de gases nitrosos post-voladura es nula, teniendo así un cuidado del medio ambiente en las zonas de influencia de la operación minera. Al reemplazar la utilización de ANFO pesado 73 gasificado por la emulsión SAN-G APU, se elimina la utilización del ANFO y por consecuencia el costo de fabricación del mismo. Se concluyó que se observa una leve mejoría en términos de emisión de gases nitrosos post voladura en zonas de taco y mineral y se obtuvo un incremento del 3.4% en el

VOD, por lo cual se mejora la presión de detonación de la mezcla y se espera obtener mejora en la fragmentación.

- Zabala (2017), en su tesis titulada: “Empleo de agente de voladura gasificado para minimizar costos de voladura en la Compañía Minera Antamina S.A. - Año 2017”, en la Universidad Nacional “Santiago Antúnez De Mayolo” en Huaraz – Perú. Tuvo como finalidad analizar, evaluar, y demostrar que el empleo de agente de voladura gasificado, posee mejores propiedades respecto a las mezclas convencionales de HA, produciendo un ahorro significativo con respecto al consumo de mezclas explosivas en las operaciones de voladura de roca en la compañía minera Antamina. Dicho ahorro tendrá un impacto positivo en la carga lineal (kg/m), el factor de potencia (kg/ton), consumo de nitrato de amonio y la baja generación de humos naranjas, para lo cual se llevaron a cabo cinco disparos primarios usando las mezclas convencionales y mezclas gasificadas, los resultados serán agrupados en tablas para comparar sus resultados y demostrar el monto de ahorro (\$/tal).

### **2.1.3 Antecedentes locales**

- Llacma (2017), en su tesis “Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone” de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Planteo como objetivo principal, analizar y cuantificar los resultados de la emulsión gasificada en fragmentación para optimizar los procesos post voladura en las operaciones de carguío y acarreo de material volado. La investigación tiene un enfoque cualitativo, de tipo aplicada con un nivel descriptivo y con un diseño experimental. La población de esta investigación son los procedimientos de voladura realizados en la mencionada mina y la muestra fue conformada por las voladuras en la fase 6A de la mina. Luego de analizados los resultados se concluye que, mediante el uso de la emulsión gasificada en la mezcla explosiva, se obtuvieron mejores resultados en términos de fragmentación y uniformidad, el P80 disminuyó en un 7,1% comparado con los resultados de los análisis realizados en proyectos disparado con Heavy ANFO. Además, en proporción directa a la mejora de fragmentación también se optimizó la velocidad de minado de los equipos de carguío en un 10%.
- Escriba (2018), en su tesis “Utilización de emulsión gasificable en voladura para optimizar factores ambientales, técnicos y económicos en minería a tajo

abierto”. En la unidad minera Antamina, se usa el ANFO pesado 73 gasificado, a base de emulsión estándar, para el carguío de taladros de producción cuyo diámetro es de 12 ¼ “. A partir del cual se elaboró una línea base que sirvió de comparativo para los resultados que se obtuvieron con el empleo de la emulsión gasificable. Se realizaron en total 5 pruebas en la zona de material estéril correspondiente a la fase 9 de minado del tajo abierto. Los parámetros de perforación y voladura no fueron variados para obtener un comparativo más preciso. Durante la voladura, se midió la velocidad de detonación. Post-voladura se analizó la fragmentación del material, presencia de gases nitrosos y se calculó el factor de potencia teórico. En el análisis correspondiente, la emulsión gasificable pura, desarrolla una velocidad de detonación (VOD) promedio de 5785,8 m/s, lo cual es un 2.6% mayor al promedio del ANFO pesado 73 gasificado, esto se vio reflejado en el resultado de la fragmentación, el cual se obtuvo una disminución del P80 de 29.1 cm a 16.6 cm. El factor de potencia no obtuvo una variación significativa a pesar de que la emulsión gasificable logra una 80% más de esponjamiento, pero es más densa que el ANFO pesado 73 gasificado. Sin embargo, en lo económico, la eliminación del costo de fabricación del ANFO y el menor costo por tonelada de la emulsión gasificable se obtuvo una reducción del 3.11% del costo por tonelada fragmentada. Post-voladura no se obtuvo presencia de gases nitrosos, debido a la no utilización de ANFO y el buen balance de oxígeno que se genera. Con empleo de emulsión gasificable pura en remplazo del ANFO pesado 73 gasificado, se obtuvo una mejora de fragmentación, al mismo tiempo, maximiza la productividad en el proceso con un menor costo de operación en US\$/Tm – Fragmentada y no genera gases nitrosos.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

Para la fundamentación teórica, se analizarán los yacimientos tipo skarn, la geomecánica de este tipo de minas, se analizarán las operaciones que se realizan en las minas y se definirá teoría asociada a los explosivos.

### **2.2.1 Yacimientos tipo Skarn.**

El término Skarn fue introducido por petrólogos metamórficos suecos para designar rocas metamórficas regionales o de contacto, constituidas por silicatos de Ca, Mg y Fe derivados de un protolito de calizas y dolomitas, en las cuales se ha introducido metasomáticamente grandes cantidades de Si, Al, Fe y Mg.

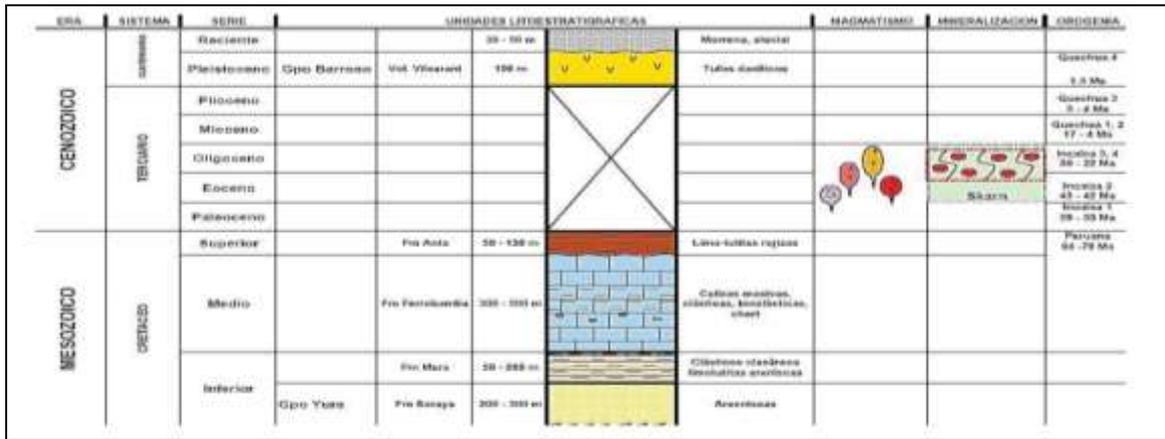
Este tipo de minas se encuentra ubicado al noroeste de la ciudad de Arequipa. Generalmente está entre las provincias de Cotabambas y Grau del departamento de Apurímac y con una altitud que varía entre 3,700 y 4,600 msnm. Este tipo de minas son características con las que se encuentran en la mina Las Bambas, en sus yacimientos Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba.

### **2.2.2 Geomecánica**

En esta sección se analizará la geología regional, local y económica de la zona en estudio.

#### **A. Geología regional**

En el área sobreyace secuencias sedimentarias fuertemente plegadas y falladas del periodo Cretácico inferior. Las secuencias cretáceas, desde la más antigua hasta la más reciente, incluyen en la base la Formación Soraya, que está conformada por cuarcitas, la sobreyacente Formación Mara está compuesta de lutitas rojas y calizas y también por las calizas de la secuencia superior de la Formación Ferrobamba. Estas secuencias se deformaron y levantaron en el Cretácico tardío al Terciario temprano. Las secuencias clásticas continentales del Grupo de Puno, se depositaron sobre la secuencia cretácica deformada y levantada hacia el noreste del área del Proyecto. La mineralización de cobre está principalmente emplazada en los contactos de calizas de la formación Ferrobamba y las rocas intrusivas de la Era Terciaria (granodiorita, cuarzo monzonita y cuarzo diorita). Las calizas corresponden a la Era Cretácea, similar a los depósitos de Skarn en Tintaya, Antamina y Magistral.



**Figura 1.** Cronoestratigrafía generalizada del distrito minero Las Bambas  
**Fuente:** Minas las Bambas

## B. Geología local

La geología de esta mina, está formado principalmente por rocas clásicas y rocas cretácicas carbonatadas, las cuales forman el techo de un batolito granodiorítico del Terciario (Eoceno). Este tipo de formación ha emergido a la superficie formando erosiones, fallas de bloques y levantamientos regionales.

Los flujos volcánicos piroclásticos del pleistoceno tardío, se originaron desde los centros volcánicos hacia el sur y formaron depósitos de tipo terraza, en las secciones más bajas de los valles, yaciendo de manera profundamente discordante sobre las secuencias sedimentarias e intrusivas erosionadas.

La mineralización del yacimiento está asociada a depósitos skarn controlados estructuralmente, relacionados a intrusiones ígneas del Eoceno tardío, con fallas y fluidos asociados desde el complejo batolito que entró en contacto con el techo de calizas y reaccionaron para formar skarns de magnetita – granate con mineralización de cobre en calcopirita y bornita predominantemente, presentando trazas de molibdenita y plata. Aparentemente, el mineral tiene bajo contenido de pirita, con poca o nada de pirrotita. La mineralización de plomo y zinc es insignificante y está relativamente libre de arsénico y mercurio.

## C. Geología económica

En los yacimientos de Ferrobamba, Sulfobamba y Chalcobamba, que tienen depósitos tipo Skarn de cobre, molibdeno y oro. El tipo de mina es a tajo abierto y sus principales productos serán concentrados de cobre y molibdeno, además tendrá como subproductos oro y plata. El yacimiento de Ferrobamba tendrá una huella de 311

hectáreas, el de Chalcobamba será de 130 hectáreas y el de Sulfobamba de 75 hectáreas.  
(2)

En los yacimientos se estiman reservas de 877 millones de toneladas, con una ley promedio de cobre de 0.72% y de molibdeno de 169 ppm. La producción anual de concentrados de cobre será de 880 mil toneladas y de ellas resultarán 314 mil toneladas de cobre fino. Como producto final se tendrá concentrados de cobre y molibdeno; en los primeros nueve años, la producción de cobre sería 400,000 toneladas de cobre metálico en concentrados anuales y 5,000 toneladas de concentrado de molibdeno por año. Para ello, la inversión estimada ha sido de más de 1,500 millones de dólares, aunque la empresa anunció que llegaría a los 3,000 millones de dólares.

#### **D. Minerales metálicos con valor económico**

Principales Minerales:

- Sulfuros: Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), piritita ( $\text{FeS}_2$ ), molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ).
- Óxidos: Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Minerales Escasos:

- Sulfuros: Digenita ( $\text{Cu}_9\text{S}_5$ ), calcosita ( $\text{Cu}_{31}\text{S}_{16}$ ), pirrotita ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ), cubanita ( $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ ).
- Óxidos: Limonita ( $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), ilmenita ( $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}_3$ ), rutilo ( $\text{TiO}_2$ ).
- Carbonatos: Malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ), azurita ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ).

### **2.2.3 Operaciones en mina**

El control del proceso productivo de las diferentes actividades unitarias, perforación, voladura, carguío, acarreo de mineral y taco; tanto en las etapas de construcción y etapa de producción es llevado a cabo por la unidad minera.

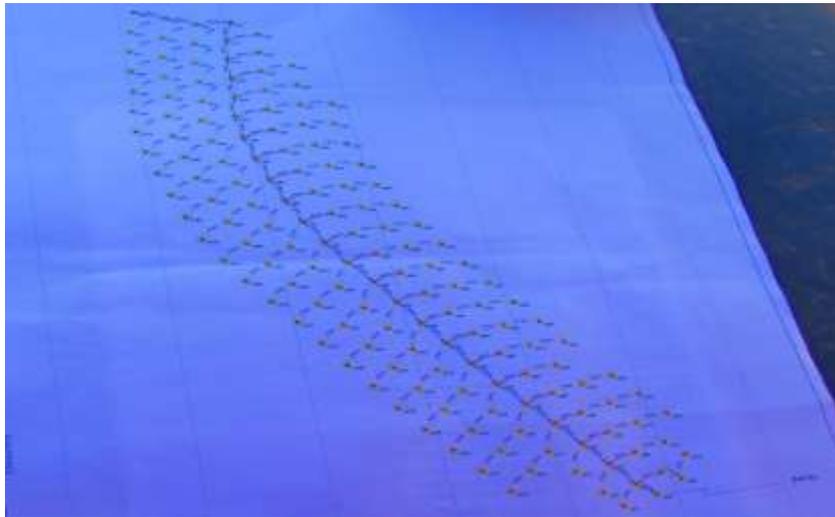
#### **A. Perforación**

En el ciclo de la explotación minera, es la primera actividad que debe realizarse; consiste en realizar un hueco sobre una superficie, con la finalidad de alojar en él los explosivos que servirán para llevar a cabo la voladura. Para llevar a cabo esta actividad, se debe contar con una serie de equipos de perforación como son: las perforadoras y las mallas de perforación.



**Figura 2.** Zona de perforación

Las mallas de perforación, se deben adecuar al tipo de mineral, siguiendo especificaciones claras según la dureza, tipo de taladro, entre otros. En la siguiente tabla se observan las diferentes especificaciones.



**Figura 3.** Diseño de malla de voladura

**Tabla 2.**

*Malla de perforación en mineral*

Tipo de taladro	Diámetro (pulg)	E (m)	B (m)	Sub drill (m)	Roca	Dureza
Producción	12 1/4	7 - 10	6 - 8.7	1 - 1.5	Sk	R3 - R6
Amortiguado	12 1/4	5.5	5 - 5.2	0	Sk	R3 - R6
Pre corte	5	1.5	0	0	Sk	R3 - R6

**Fuente:** Elaboración propia

### **B. Voladura**

Actividad que consiste en hacer reaccionar los explosivos contenidos en los taladros, con la finalidad de fragmentar el material para que pueda ser cargado, transportado y procesado. Los explosivos son transportados por la empresa a la cual les compran los explosivos y el material asociado a las voladuras.



**Figura 4.** Voladura

Diseño de parámetros para la voladura

- Burden (B)

$$B = D \times 0.0254 \times K_b$$

Donde:

B = Expresado en metros.

Kb = Varía entre los valores de 20 a 40, depende de la clase de roca y del tipo de explosivo empleado.

D = Diámetro del en pulgadas (es igual al diámetro de la broca debido al explosivo a granel).

- Esparcimiento (S)

$$S = K_s \times B$$

**Tabla 3.**

Valores de  $K_s$

Tipo de roca	Valor $K_s$
Roca suave	1.35
Roca media	1.20
Roca dura	1.15

**Fuente:** Elaboración propia.

- Sobre perforación (J)

$$J = K_j \times B$$

**Tabla 4.**

Valores de  $K_j$

Tipo de roca	Valor $K_j$
Roca suave	0.20
Roca media	0.25
Roca dura	0.30

**Fuente:** Elaboración propia.

- Tamaño óptimo de material del taco ( $\mu$ )

$$\mu = \left( \frac{1}{10} a \frac{1}{15} \right) \times D_t$$

Donde:

$D_t$  = Diámetro del taladro

- Taco (T)

$$T = K_t \times B$$

$K_t$ : Valor de  $K_t > 1$  para evitar un sobre rompimiento del banco.

- Longitud de perforación (L)

$$L = K_l \times B$$

**Tabla 5.**

*Valores de KI*

Rangos L	Valor KI
Longitud mínima	1.50
Longitud promedio	2.75
Longitud máxima	4.00

**Fuente:** Elaboración propia

### **C. Carguío**

El objetivo del carguío es cargar de forma eficiente y segura el material disparado desde el frente de carguío en camiones, con el fin de generar los espacios suficientes para la perforación y voladura. (3)



**Figura 5.** Carguío de taladros

### **D. Acarreo**

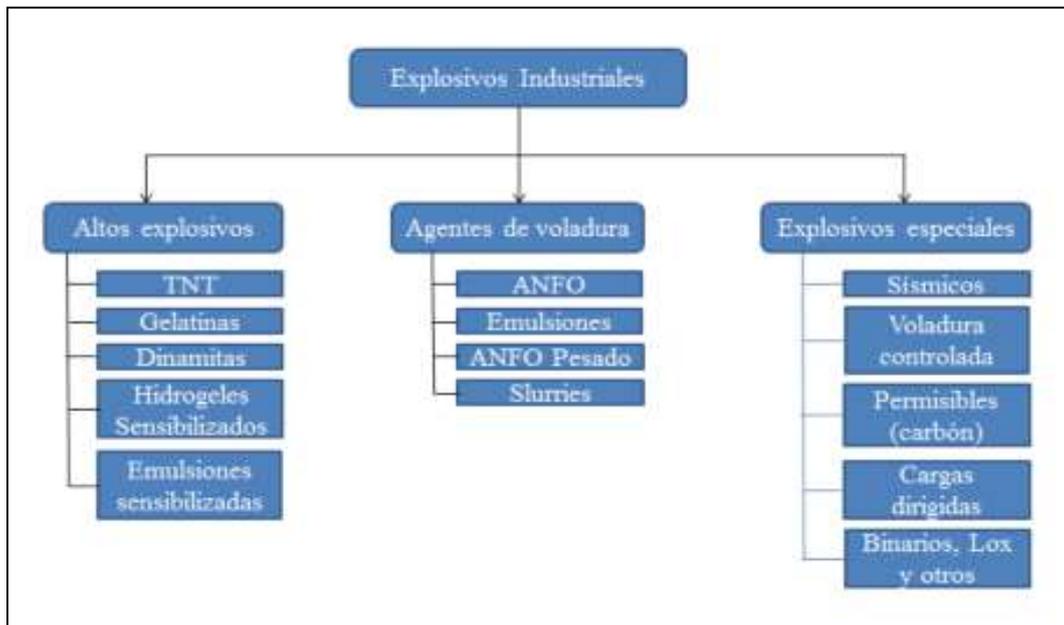
El objetivo del proceso es retirar el material volado y transportarlo hacia los distintos puntos de descarga (chancadora, botadero, stock) para cumplir con los requerimientos de desarrollo y producción.

## **2.2.4 Explosivos**

Son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido-reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve (microsegundos) en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar muy altas temperaturas y en consecuencia muy elevadas presiones.

La reacción exotérmica que es iniciada por medios pirotécnicos o eléctricos, da lugar a la expansión violenta de gases con un cambio de volumen de hasta el diez mil veces en comparación al espacio inicial en donde fue confinado.

Debido al gran uso que tiene principalmente en la minería, se creó una gran variedad de explosivos en función de las diferentes propiedades, características y aplicación, se muestra la clasificación en la siguiente figura.



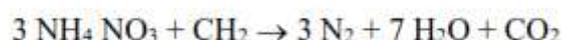
**Figura 6.** Clasificación de explosivos

### **A. Agentes de voladura**

Son mezclas de combustibles y oxidantes caracterizados por no ser sensibles al fulminante N°8, por lo cual necesitan ser iniciados mediante el cebado o reforzador (booster). Por sus propiedades, facilidad de manipulación y bajo costo tuvo una mayor aplicación en la minería a tajo abierto, logrando crear nuevas mezclas con la finalidad de mejorar sus propiedades y poder de fragmentación. (4)

#### **Anfo**

Por sus siglas en inglés Ammonium Nitrate (AN) - Fuel Oil (FO) es el explosivo número uno en minería a cielo abierto y se ha extendido a nivel mundial reemplazando a la dinamita y gelatinas por su bajo costo y facilidad de manipulación, la reacción generada en la mezcla es la siguiente:



Generándose 927 kcal/kg y un volumen de gases de 970 l/kg. Esta mezcla estequiométrica corresponde a un 94,5% de NA y un 5,5% de petróleo, esta relación se da con la finalidad de obtener un balance de oxígeno igual a 0 para evitar la generación de gases contaminantes.

## **B. Emulsiones**

Las emulsiones son mezclas explosivas de dos líquidos que no se pueden disolver uno en el otro, son de última generación y cuyo diseño está preparado para fragmentar rocas de mayor dureza en distintas condiciones. Es decir, una emulsión está compuesta por gotas de una solución oxidante suspendida en una fase continua de aceite, representada por sales inorgánicas disueltas en agua y por un combustible líquido inmiscible en el agua de tipo hidrocarbonado, además el tamaño que presentan estas gotas están dadas en micrones ya que esta reducción de tamaño de partículas refleja la eficiencia de la reacción.

### **Emulsión matriz gasificable SAN-G**

Es una emulsión tipo agua en aceite especialmente diseñada y preparada para retener burbujas de nitrógeno en su interior, con un adecuado balance de oxígeno que le permite obtener una alta velocidad de detonación, es seguro y resistente al agua. Es usado en operaciones a tajo abierto mezclado con una solución gasificante (N - 20) que lo sensibiliza antes de su carguío para formar un agente de voladura gasificado.

### **Solución sensibilizante N-20**

Agente sensibilizante constituido por una solución acuosa de sales oxidantes (nitrito de sodio o potasio), químicamente balanceada y de naturaleza iónica (inerte - no detona), que al entrar en contacto con la emulsión matriz (SAN-G) produce gas nitroso (N<sub>2</sub>) que son atrapados en burbujas dentro de la matriz, son estas burbujas de nitrógeno las que sensibilizan a la emulsión.

### **Emulsión gasificada**

Es una solución acuosa de nitrato, es decir, la mezcla de la emulsión matriz con diferentes proporciones de solución gasificante (N-20) que produce una mezcla de menor densidad; la solución N-20 ingresa al mezclador estático, por el que fluye la emulsión matriz realizándose la homogenización, enseguida se inyecta el agua para disminuir la resistencia a la fricción en la manguera durante el bombeo. Como resultado la reacción química entre

la emulsión matriz y el N-20 se produce gas nitroso, este queda atrapado en forma de burbujas dentro de la emulsión, siendo las burbujas de nitrógeno las que sensibilizan a la emulsión matriz.

### **Anfo Pesado**

El ANFO pesado es el producto de la correcta combinación entre una emulsión matriz y ANFO, por la emulsión matriz como resultado adquiere resistencia al agua, cambios en su velocidad de detonación y mayor densidad de acuerdo con el porcentaje de emulsión y ANFO que se usen. Los ratios de posible combinación del HA son: 20-80, 30-70, 40-60, 50-50, 60-40, 70-30; sin embargo, la transferencia de estas mezclas puede variar de acuerdo con el porcentaje de emulsión matriz, los sistemas más conocidos para la transferencia del HA son el sistema de llenado (gravedad) y por bombeo (mezcla viscosa) la transferencia del HA se realiza mediante “camiones fábrica” el cual cuenta con un recipiente de NA o ANFO, un tanque para la emulsión y un tanque más pequeño para el diesel, diseñados para mezclar In situ y programar la mezcla.

### **C. Propiedades de los explosivos**

Cada explosivo tiene propiedades y características específicas que los diferencian de los otros, estas propiedades se miden, calculan y relacionan con la fractura de rocas. Conociendo que propiedades y características son críticas para un buen desempeño en la voladura, se puede escoger el mejor tipo de explosivo para una situación específica, además de la predicción del desempeño relativo y los resultados de la fragmentación, desplazamiento y vibraciones sísmicas.

## **2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

A continuación, se definen conceptos importantes en la investigación.

**Densidad:** La densidad es un parámetro crítico en los explosivos, debido a que de este dependen muchas importantes características como resistencia al agua, velocidad de detonación, poder rompedor, entre otras.

**Detonación:** La detonación es una combustión supersónica que se caracteriza porque genera una onda de choque. En ese frente de onda se generan altos gradientes de presión y temperatura, ya que la reacción química se produce instantáneamente.

**Emulsiones explosivas:** Es una solución altamente concentrada de nitratos, dispersa en una fase continua de aceite. Generalmente no contiene ingredientes

explosivos, tiene elevada resistencia al agua y que se inicia adecuadamente, explotan con una alta velocidad de detonación.

**Energía:** La energía explosiva es calculada usando técnicas basadas en las leyes de la termodinámica, siguiendo estrictamente principios químicos y matemáticos. La energía de los explosivos se puede expresar en Kcal/kg. o MJ/kg.

**Explosivo:** Es un producto químico que presenta un potencial elevado de energía, que tiene una reacción instantánea con gran violencia, debido a que acciona un fulminante o está dado por otro estímulo externo.

**Humos:** La detonación de todo explosivo comercial produce vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono, y eventualmente, sólidos y líquidos. Entre los gases inocuos citados, existe siempre cierto porcentaje de gases tóxicos como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Al conjunto de todos esos productos resultantes se le designa por "humos".

**Potencia:** Es desde el punto de vista industrial una de las propiedades más importantes de un explosivo, define la cantidad de energía liberada para fracturar las rocas.

**Presión de detonación:** Es la presión en el frente de detonación, medido en el plano Chapmant - Jouguet. La presión repentina creada, fragmentará en lugar de desplazar materiales y dará al explosivo el poder fragmentador (refleja la energía de choque). La magnitud de la presión de detonación está en función de la densidad y de la velocidad de detonación del explosivo.

**Resistencia al agua:** Es la capacidad que tiene el explosivo de resistir el contacto prolongado con el agua y no alterar sus propiedades, características y sensibilidad, la escala de resistencia va por lo general de mala a muy buena.

**Sensibilidad:** Es la medida de la facilidad de iniciación de los explosivos, es decir, el mínimo de energía, presión o potencia necesaria para que ocurra la iniciación (detonación). Lo ideal de un explosivo es que sea sensible a la iniciación mediante cebos (estopines) para asegurar la detonación de toda la columna de explosivo, e insensible a la iniciación accidental durante su transporte y manejo.

**Sustancia explosiva:** Son aquellas sustancias químicas que están propensas a reaccionar violentamente en la cual las moléculas se disocian y posteriormente se reagrupan en una forma más estable, por la cual tiene categorías según su magnitud cuanto al impulso energético que es necesario para iniciar la detonación.

**Velocidad de detonación:** Es la velocidad a la que la onda de detonación viaja a través de una columna de explosivos. Por definición, esta velocidad superará la velocidad del sonido a través del material explosivo. La velocidad de detonación de un explosivo es

una variable importante que se emplea para calcular la presión de detonación de un explosivo. La velocidad de detonación se mide en pies por segundo (p/s) o metros por segundo (m/s). Muchos factores afectan la velocidad de detonación de un explosivo, incluyendo el tipo de explosivo, el diámetro de columna, el confinamiento y la temperatura.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Los métodos empíricos se basan en la experiencia en el contacto con la realidad; es decir, se fundamenta en la experimentación y la lógica que, en conjunto a la observación de fenómenos y su análisis estadístico, son los métodos más utilizados en el campo de las ciencias sociales y en las ciencias naturales.

El proyecto de investigación se desarrollará con el método empírico, ya que se utilizará la observación y se formulará una hipótesis para luego realizar el experimento y finalmente llegar a una conclusión mediante el análisis estadístico de las variables de estudio. El proyecto tiene un alcance que abarca solo las voladuras.

#### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación no experimental, es la que se realiza interviniendo una de las variables; lo que se hace en este tipo de investigación es observar fenómenos después de manipular una de las variables para después analizar los resultados de la otra variable.

#### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.3.1 Población**

La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades de población poseen características en común las cuales se estudian y dan origen a los datos de la investigación.

La población será todas las cargas de los taladros en el proceso de voladura en una mina a tajo abierto en un yacimiento tipo Skarn.

### 3.3.2 Muestra

La muestra es una parte significativa o representativa de la población, la cual contiene las características que definen a la población.

El muestreo a utilizar es al azar simple; porque cualquier taladro presenta las mismas condiciones y probabilidad de ser seleccionado. La muestra que se ha utilizado está en un banco de 104 metros de largo, 70 metros de ancho, 10 metros de altura.



*Figura 7.* Muestra de banco de mina

### 3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para contrastar la hipótesis propuesta, se realizará una investigación no experimental de tipo descriptivo que permita analizar el proyecto. Para ello, se optará por la revisión de fuentes bibliográficas referidas al tema de investigación (libros, informes de tesis, revistas, publicaciones, boletines, etcétera). Asimismo, se harán observaciones por parte del participante, con fundamentos teóricos concernientes al tema de investigación y se realizarán las comparaciones con otros resultados. La técnica a utilizar será la observación y se utilizará como instrumento una ficha de observación donde se encuentren contempladas las características físicas y químicas, así como las condiciones de carga que ayuden a caracterizar el rendimiento de la emulsión gasificada y el Carguío actual.

### 3.5 INSTRUMENTOS DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos recogidos mediante la observación, serán transcritos en una base de datos en SPSS v.24 para su posterior análisis e interpretación, donde se realizará una base de datos para las variables en estudio, en las cuales se realizará una especificación de las características físicas y químicas en estudio e igualmente la codificación de la información recolectada.

Se empleará la estadística descriptiva para presentar los resultados mediante cuadros y gráficas estadísticas que permitan comparar las características ya mencionadas con los resultados de las voladuras, así como la reducción de costos, para tal análisis de datos se utilizará el software estadístico SPSS v.24.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 SISTEMA ACTUAL DE CARGUÍO DE TALADROS**

El sistema actual de carguío se lleva a cabo con una mezcla explosiva de Fortis Mex 60 con un taco de tope de 5 m, 5.5 m y 6 m. A continuación, el detalle del diseño de la perforación.

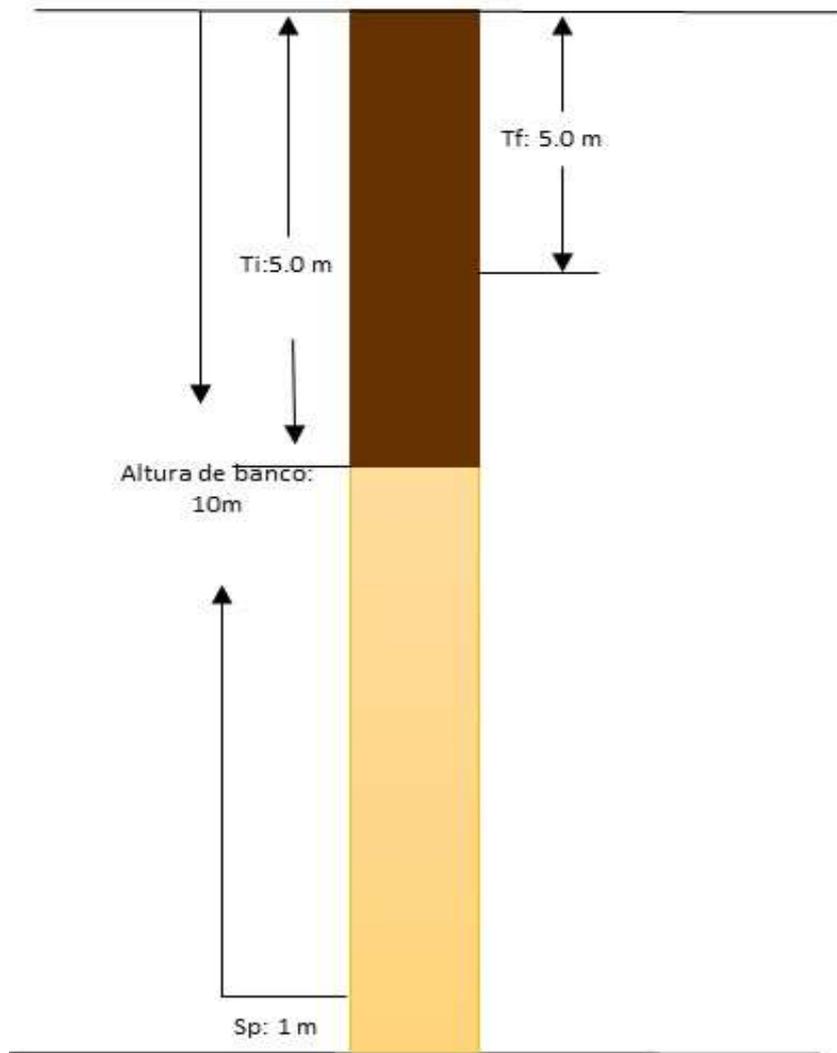


**Figura 8.** Carguío actual

**Tabla 6.***Diseño de perforación taco 5m – Carguío actual*

<b>Diseño de Carga</b>	<b>Carguío actual</b>
Mezcla Explosiva	Fortis Mex 60
Densidad Final (gr/cc)	1.31
Densidad Inicial (gr/cc)	1.31
% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	-
Altura de Agua (m)	1
Taco Inicial (m)	5.00
Esponjamiento (m)	-
Taco Final (m)	5.00
Carga (kg/tal)	388.6
Ahorro en Explosivo (kg)	-
Energía (Mj/kg)	3.01
Energía por Taladro (Mj/tal)	1170
Déficit de Energía (Mj/tal)	-
Porcentaje Déficit de Energía	
Precio Producto (\$/ton)	526.83
Costos de Explosivo (\$)	204.73
Ahorro (\$/tal)	
Porcentaje de Ahorro	-
Altura de Banco (m)	10.00
Sobreperforación (m)	1.00

**Fuente:** Elaboración propia

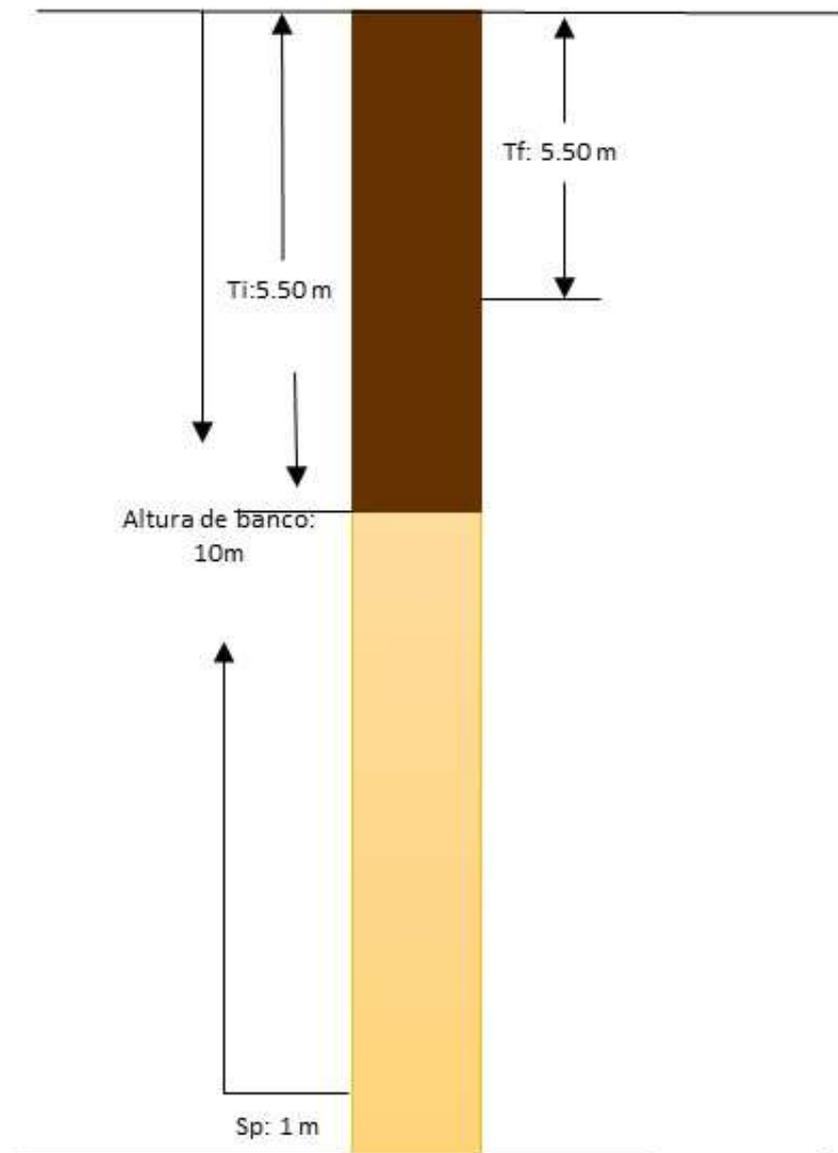


**Figura 9.** Diseño de perforación taco 5 m – Cargúo actual  
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 7.***Diseño de perforación taco 5.50 m – Carguío actual*

<b>Diseño de Carga</b>	<b>Carguío actual</b>
Mezcla Explosiva	Fortis Mex 60
Densidad Final (gr/cc)	1.31
Densidad Inicial (gr/cc)	1.31
% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	-
Altura de Agua (m)	1
Taco Inicial (m)	5.50
Esponjamiento (m)	-
Taco Final (m)	5.50
Carga (kg/tal)	356.22
Ahorro en Explosivo (kg)	-
Energía (Mj/kg)	3.01
Energía por Taladro (Mj/tal)	1072
Déficit de Energía (Mj/tal)	-
Porcentaje Déficit de Energía	
Precio Producto (\$/ton)	526.83
Costos de Explosivo (\$)	187.67
Ahorro (\$/tal)	
Porcentaje de Ahorro	-
Altura de Banco (m)	10.00
Sobreperforación (m)	1.00

**Fuente:** Elaboración propia

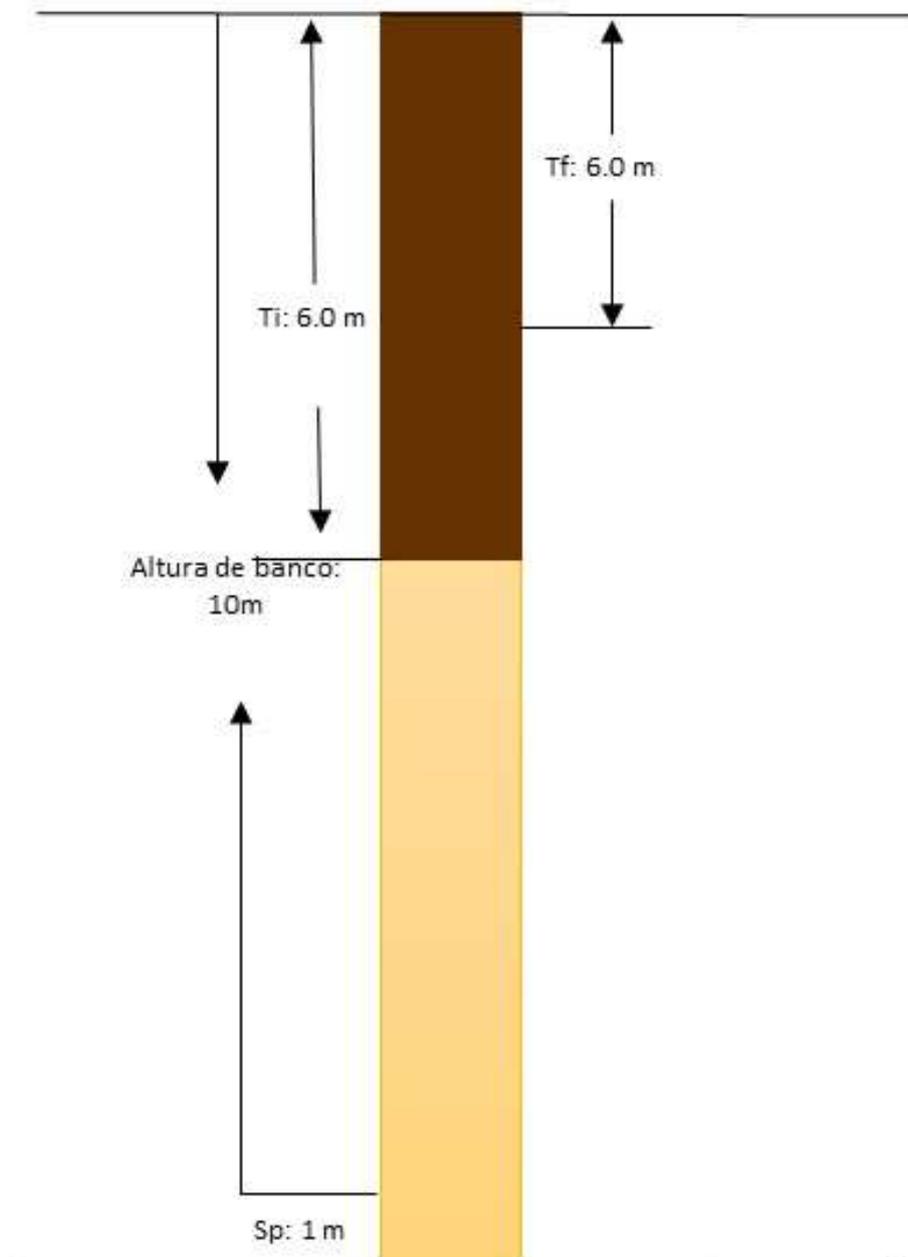


**Figura 10.** Diseño de perforación taco 5.50 m – Carguío actual  
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 8.***Diseño de perforación taco 6 m – Carguío actual*

<b>Diseño de Carga</b>	<b>Carguío actual</b>
Mezcla Explosiva	Fortis Mex 60
Densidad Final (gr/cc)	1.31
Densidad Inicial (gr/cc)	1.31
% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	-
Altura de Agua (m)	1
Taco Inicial (m)	6.00
Esponjamiento (m)	-
Taco Final (m)	6.00
Carga (kg/tal)	323.83
Ahorro en Explosivo (kg)	-
Energía (Mj/kg)	3.01
Energía por Taladro (Mj/tal)	975
Déficit de Energía (Mj/tal)	-
Porcentaje Déficit de Energía	
Precio Producto (\$/ton)	526.83
Costos de Explosivo (\$)	170.61
Ahorro (\$/tal)	
Porcentaje de Ahorro	-
Altura de Banco (m)	10.00
Sobreperforación (m)	1.00

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 11.** Diseño de perforación taco 6 m – Carguío actual  
**Fuente:** Elaboración propia

Propiedades físicas, químicas y condiciones de carga del Carguío actual. Entre las propiedades se analizarán la Velocidad de detonación (m/s), Energía (Mj/kg), Densidad (g/cm<sup>3</sup>), Energía relativa efectiva (REE), Emisión CO<sub>2</sub> (kg/t), Diámetro del taladro (mm) y Tipos de taladro.

**Tabla 9.**

*Propiedades físicas, químicas y condiciones del carguío actual*

Diseño de Carga	Mezcla Explosiva	Velocidad de detonación (m/s)	Propiedades físicas				Propiedades químicas	Condiciones de carga	
			Energía (Mj/kg)	Densidad (g/cm3)	Energía relativa efectiva (REE)		Emisión CO2 (kg/t)	Diámetro del taladro (mm)	Tipos de taladro
					Fuerza relativa en peso	Fuerza relativa en volumen			
Carguío actual	Fortis Mex 60	4557.4	3.01	1.3100 gr/cc	100 -106	177- 191	189 - 198	250	Secos con agua o desaguadero

**Fuente:** Elaboración propia

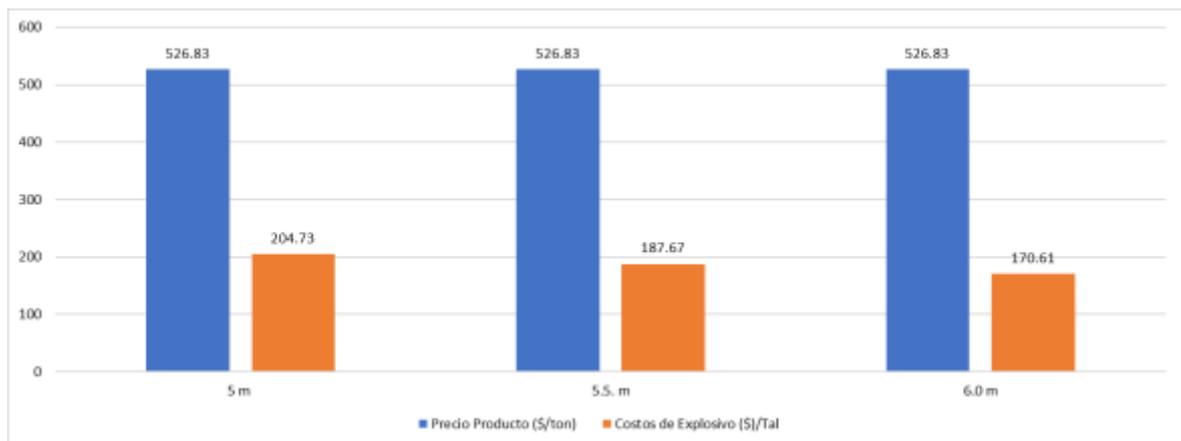
Al analizar los costos se tiene:

**Tabla 10.**

*Costo del carguío actual por tipo de taco*

Tipo de taco	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$)/Tal
5 m	526.83	204.73
5.5. m	526.83	187.67
6.0 m	526.83	170.61

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 12.** Costo del carguío actual por tipo de taco

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo con lo analizado el método actual tiene un costo según tipo de taco de 5m los Costos de Explosivo (\$) / Tal es de \$ 204.73, con taco de 5.5m el Costos de

Explosivo (\$) / Tal es de \$ 187.67 y con taco de 6m; el Costos de Explosivo (\$) / Tal es de \$ 170.61.

#### 4.2 EVALUACIÓN DE LA EMULSIÓN GASIFICADA

Para la emulsión gasificada se llevará a cabo una mezcla explosiva con Fortis Advantage 60 1.1gr/cc, Fortis Advantage 70 1.1gr/cc, Fortis Advantage 70 1.05gr/cc, Fortis Advantage 100 1.1gr/cc, Fortis Advantage 100 1.05gr/cc, Fortis Advantage 100 1.0gr/cc con un taco de tope de 5 m, 5.5 m y 6 m. A continuación, el detalle del diseño de las perforaciones.



**Figura 13.** Emulsión gasificada



**Figura 14.** Carguío de emulsión gasificada

#### 4.2.1 Taco de tope 5 m

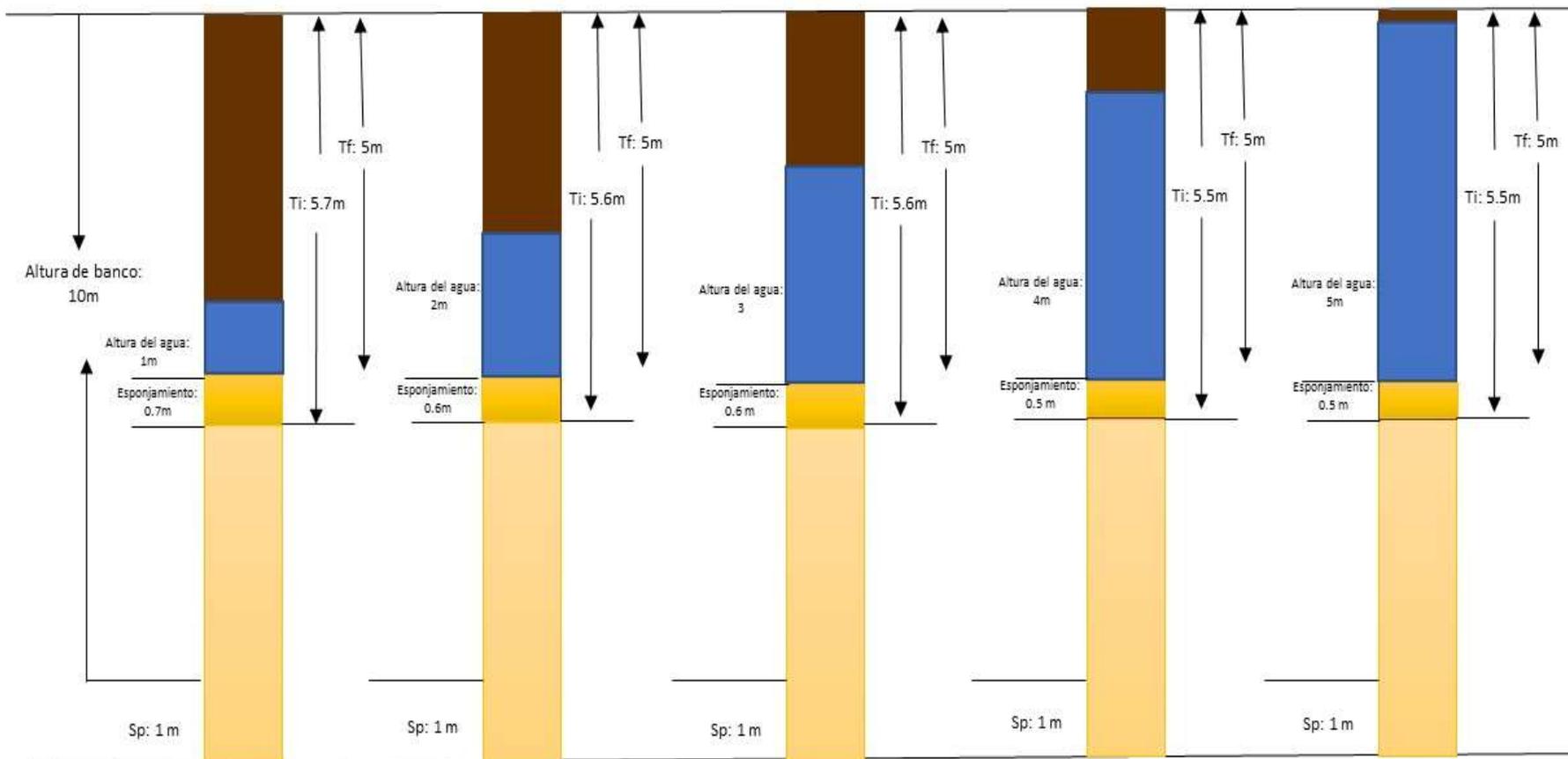
- Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc)

**Tabla 11.**

*Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
Mezcla Explosiva	Fortis Advantage 60 1.1gr/cc				
Densidad Final (gr/cc)	1.100				
Densidad Inicial (gr/cc)	1.310				
% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	0.260%				
Altura de Agua (m)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
Taco Inicial (m)	5.70	5.60	5.60	5.50	5.50
Esponjamiento (m)	0.70	0.60	0.60	0.50	0.50
Taco Final (m)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Carga (kg/tal)	343.26	349.74	349.74	356.22	356.22
Ahorro en Explosivo (kg)	45.34	38.86	38.86	32.38	32.38
Energía (Mj/kg)	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06
Energía por Taladro (Mj/tal)	1050.39	1070.21	1070.21	1090.03	1090.03
Déficit de Energía (Mj/tal)	119.30	99.48	99.48	79.66	79.66
Porcentaje Déficit de Energía	0.10	0.09	0.09	0.07	0.07
Precio Producto (\$/ton)	574.83	574.83	574.83	574.83	574.83
Costos de Explosivo (\$/tal)	197.32	201.04	201.04	204.76	204.76
Ahorro (\$/tal)	7.41	3.69	3.69	-0.04	-0.04
Porcentaje de Ahorro	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00
Altura de Banco (m)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Sobreperforación (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: Orica



**Figura 15.** Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 60 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

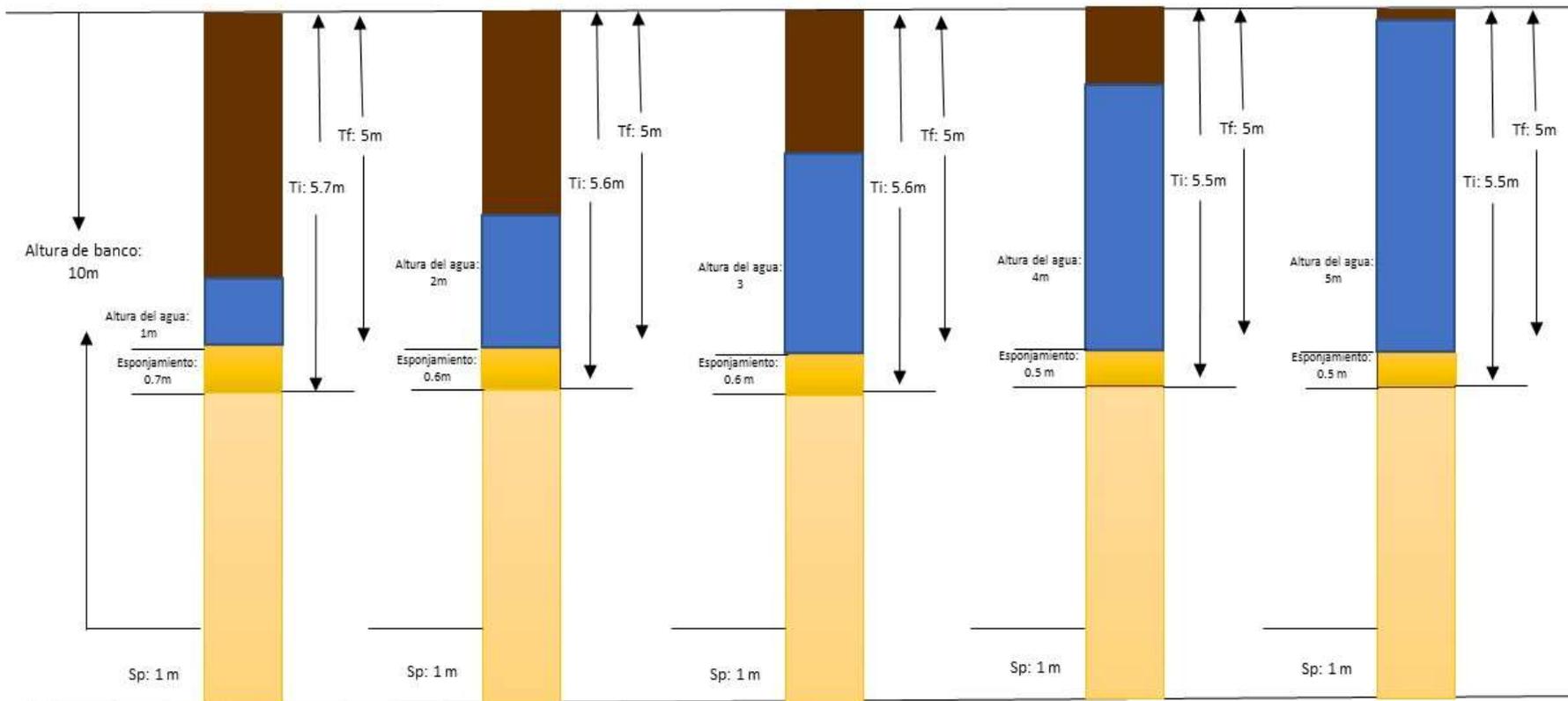
- Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc)

**Tabla 12.**

*Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 70 1.1gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.320				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.260%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	5.70	5.60	5.60	5.50	5.50
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.70	0.60	0.60	0.50	0.50
<b>Taco Final (m)</b>	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	345.89	352.41	352.41	358.94	358.94
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	42.72	36.19	36.19	29.66	29.66
<b>Energía (Mj/kg)</b>	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	1044.57	1064.28	1064.28	1083.99	1083.99
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	125.12	105.41	105.41	85.70	85.70
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.11	0.09	0.09	0.07	0.07
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	570.93	570.93	570.93	570.93	570.93
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	197.48	201.20	201.20	204.93	204.93
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	7.25	3.52	3.52	-0.20	-0.20
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 16.** Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 70 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

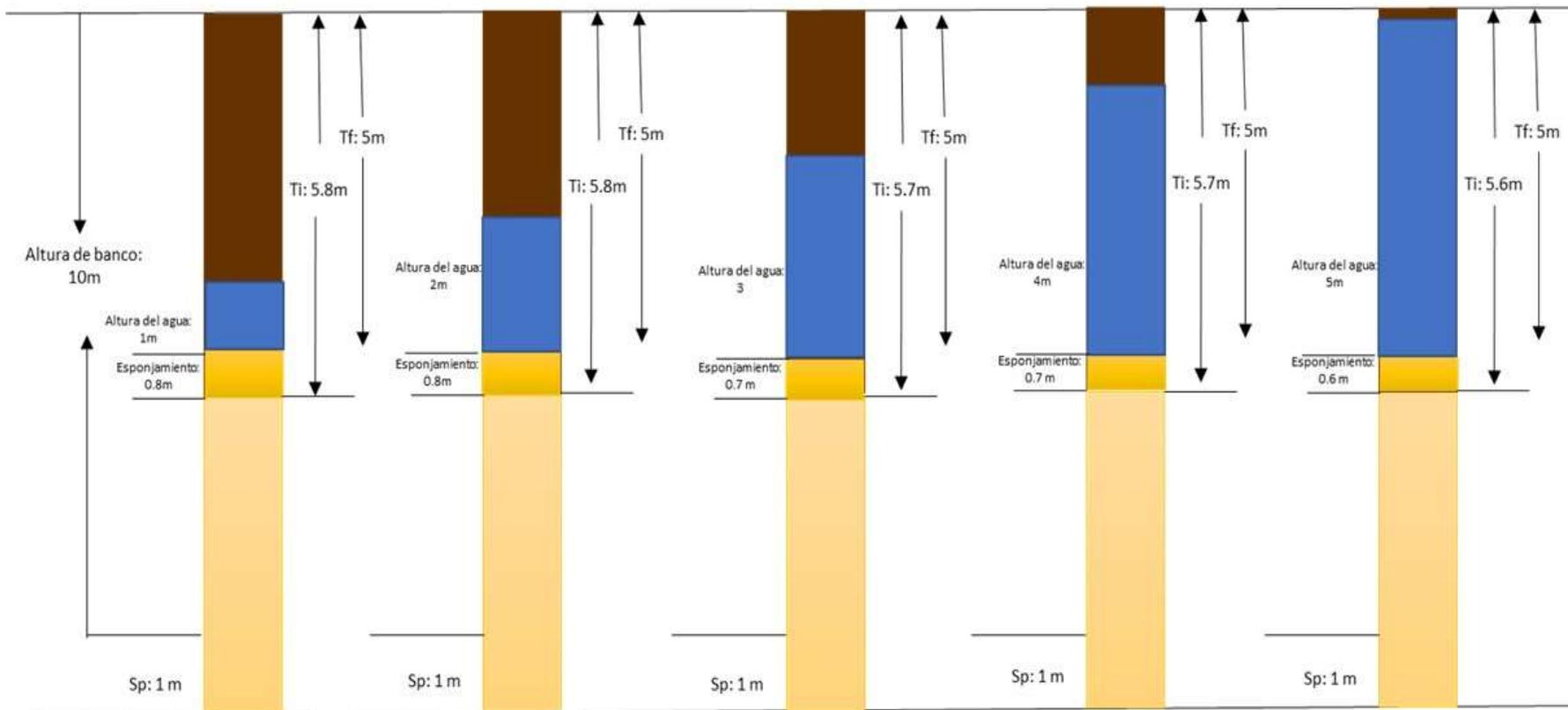
- Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc)

**Tabla 13.**

*Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 70 1.105gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.050				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.320				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.329%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	5.80	5.80	5.70	5.70	5.60
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.80	0.80	0.70	0.70	0.60
<b>Taco Final (m)</b>	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	339.36	339.36	345.89	345.89	352.41
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	49.24	49.24	42.72	42.72	36.19
<b>Energía (Mj/kg)</b>	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	1024.86	1024.86	1044.57	1044.57	1064.28
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	144.83	144.83	125.12	125.12	105.41
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.12	0.12	0.11	0.11	0.09
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	570.93	570.93	570.93	570.93	570.93
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	193.75	193.75	197.48	197.48	201.20
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	10.98	10.98	7.25	7.25	3.52
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 17.** Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 70 1.05gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

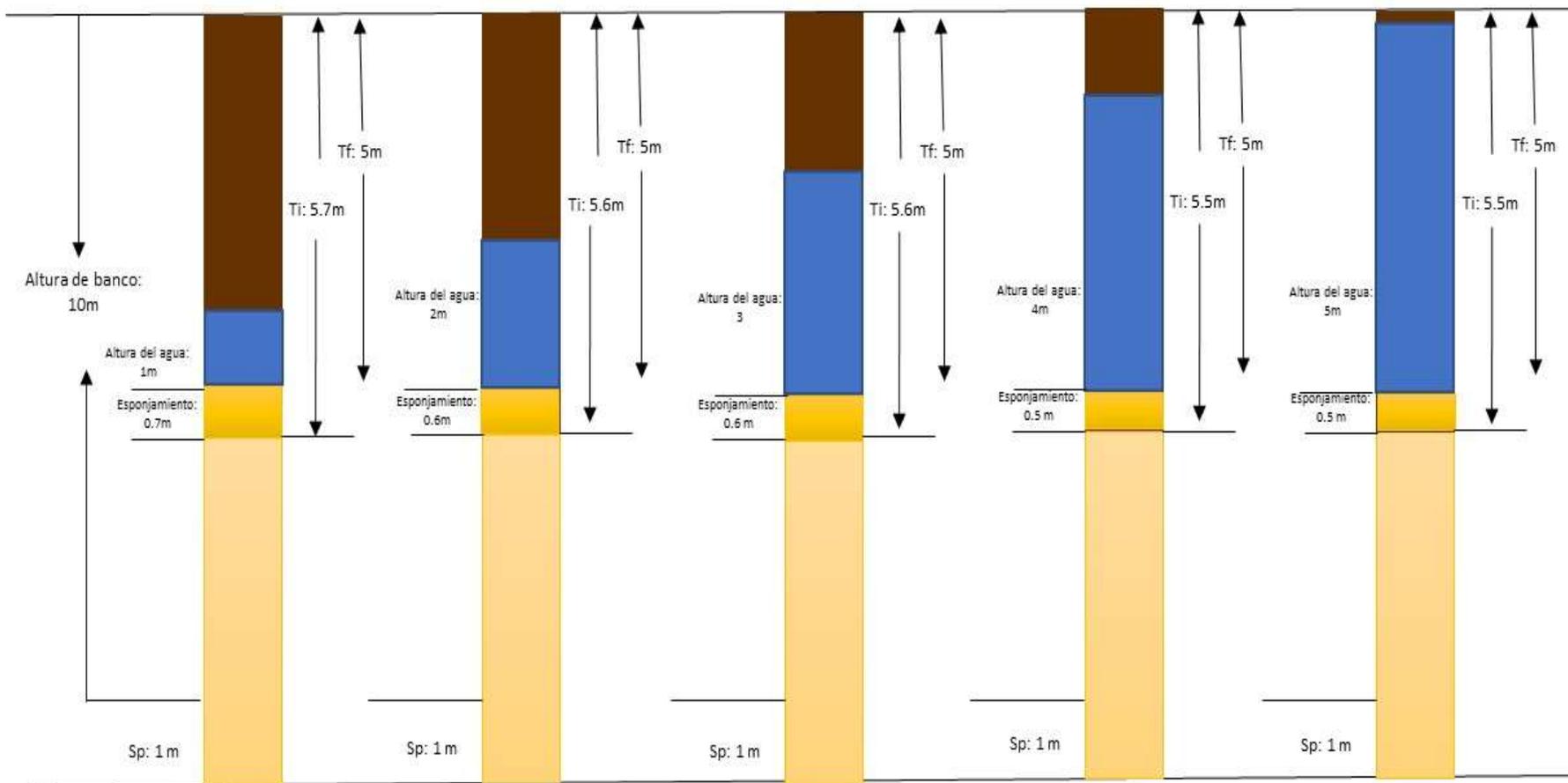
- Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc)

**Tabla 14.**

*Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.1gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.260%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	5.70	5.60	5.60	5.50	5.50
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.70	0.60	0.60	0.50	0.50
<b>Taco Final (m)</b>	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	351.13	357.75	357.75	364.38	364.38
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	37.48	30.85	30.85	24.23	24.23
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	891.86	908.69	908.69	925.51	925.51
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	277.83	261.00	261.00	244.18	244.18
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.24	0.22	0.22	0.21	0.21
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	196.36	200.07	200.07	203.77	203.77
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	8.36	4.66	4.66	0.95	0.95
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 18.** Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 100 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

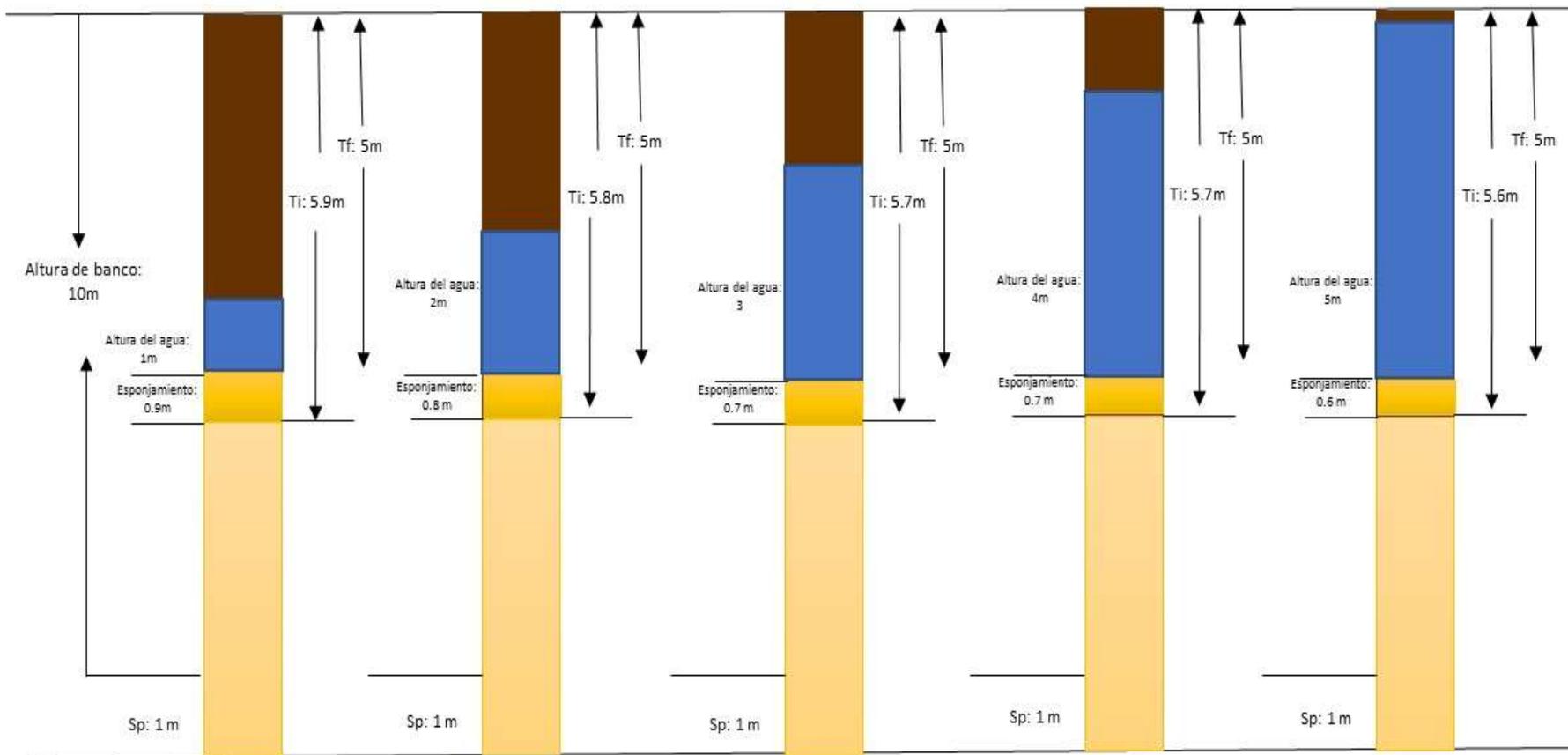
- Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc)

**Tabla 15.**

*Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.05gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.050				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.329%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	5.90	5.80	5.70	5.70	5.60
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.90	0.80	0.70	0.70	0.60
<b>Taco Final (m)</b>	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	337.88	344.50	351.13	351.13	357.75
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	50.73	44.10	37.48	37.48	30.85
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	858.20	875.03	891.86	891.86	908.69
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	311.49	294.66	277.83	277.83	261.00
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.27	0.25	0.24	0.24	0.22
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	188.95	192.66	196.36	196.36	200.07
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	15.77	12.07	8.36	8.36	4.66
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.08	0.06	0.04	0.04	0.02
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 19.** Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 100 1.05gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

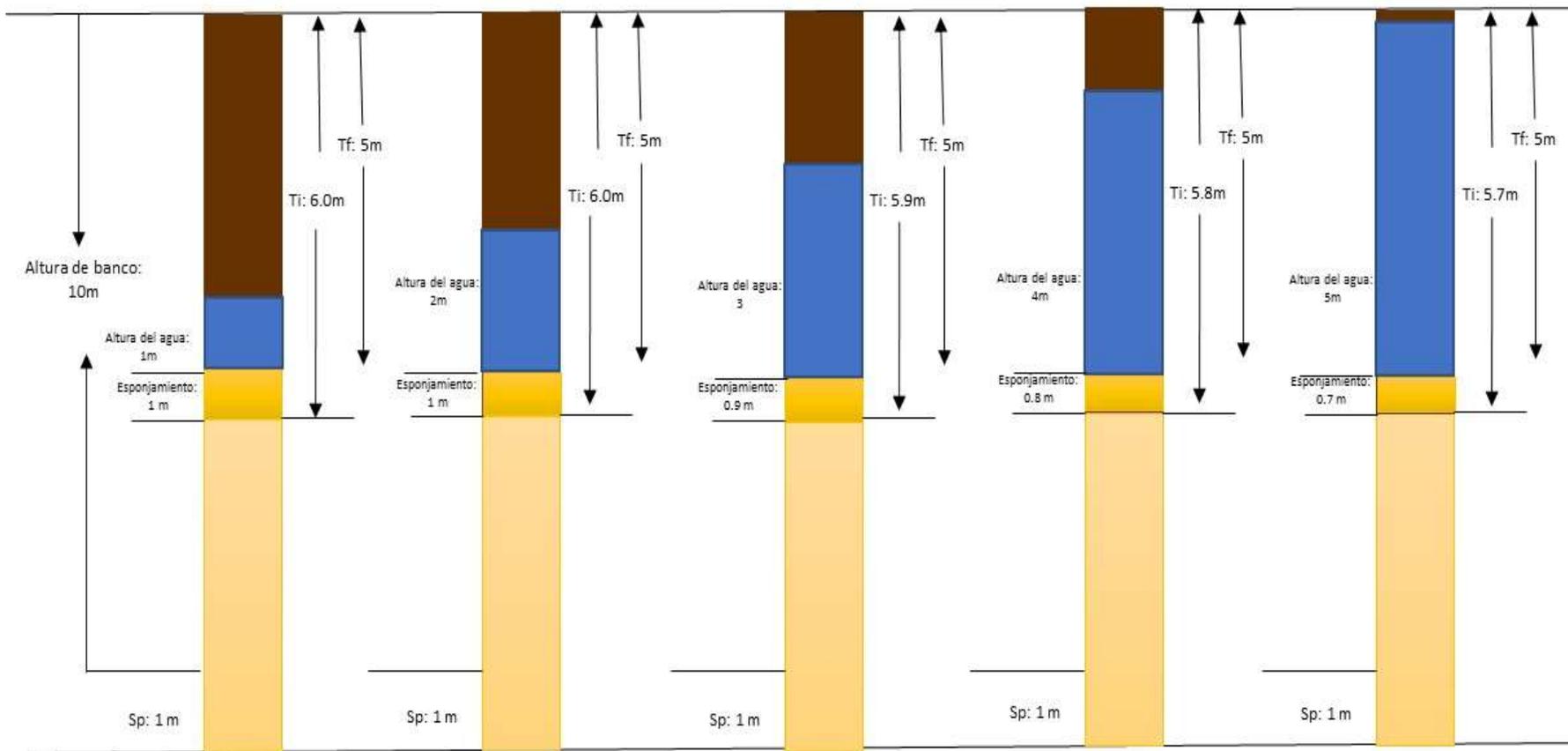
- Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc)

**Tabla 16.**

*Diseño de perforación Taco de 5 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.0gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.000				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.405%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.00	6.00	5.90	5.80	5.70
<b>Esponjamiento (m)</b>	1.00	1.00	0.90	0.80	0.70
<b>Taco Final (m)</b>	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	331.25	331.25	337.88	344.50	351.13
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	57.35	57.35	50.73	44.10	37.48
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	841.38	841.38	858.20	875.03	891.86
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	328.31	328.31	311.49	294.66	277.83
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.28	0.28	0.27	0.25	0.24
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	185.25	185.25	188.95	192.66	196.36
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	19.48	19.48	15.77	12.07	8.36
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.10	0.10	0.08	0.06	0.04
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 20.** Gasificado Taco 5 m con Fortis Advantage 100 1.0gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.2 Taco de tope 5.50 m

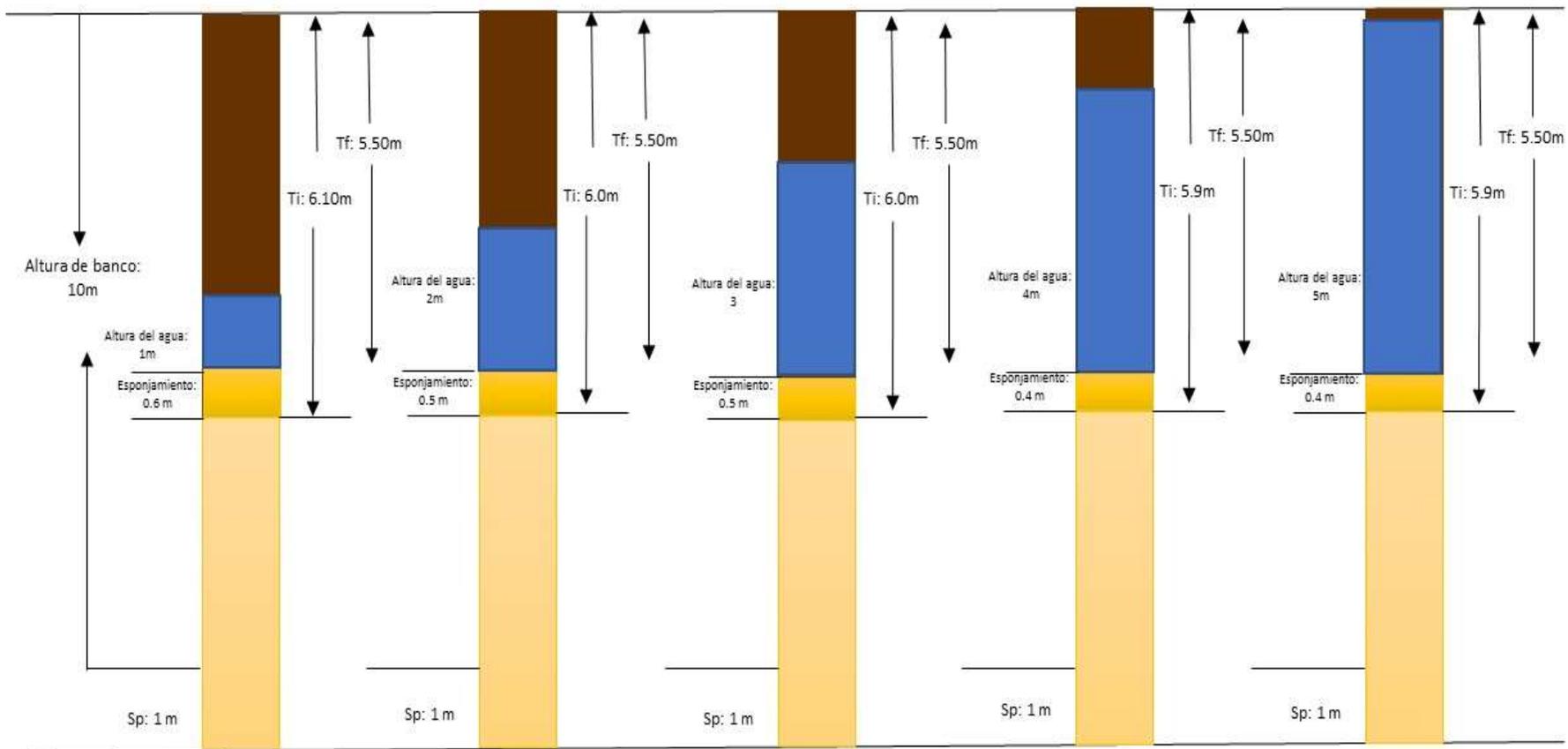
- Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc)

**Tabla 17.**

*Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 60 1.1gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.310				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.260%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.10	6.00	6.00	5.90	5.90
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40
<b>Taco Final (m)</b>	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
<b>Carga (kg/tal)</b>	317.36	323.83	323.83	330.31	330.31
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	38.86	32.38	32.38	25.91	25.91
<b>Energía (Mj/kg)</b>	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	971.12	990.93	990.93	1010.75	1010.75
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	101.10	81.28	81.28	61.46	61.46
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	574.83	574.83	574.83	574.83	574.83
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	182.43	186.15	186.15	189.87	189.87
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	5.24	1.52	1.52	-2.21	-2.21
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.03	0.01	0.01	-0.01	-0.01
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 21.** Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 60 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

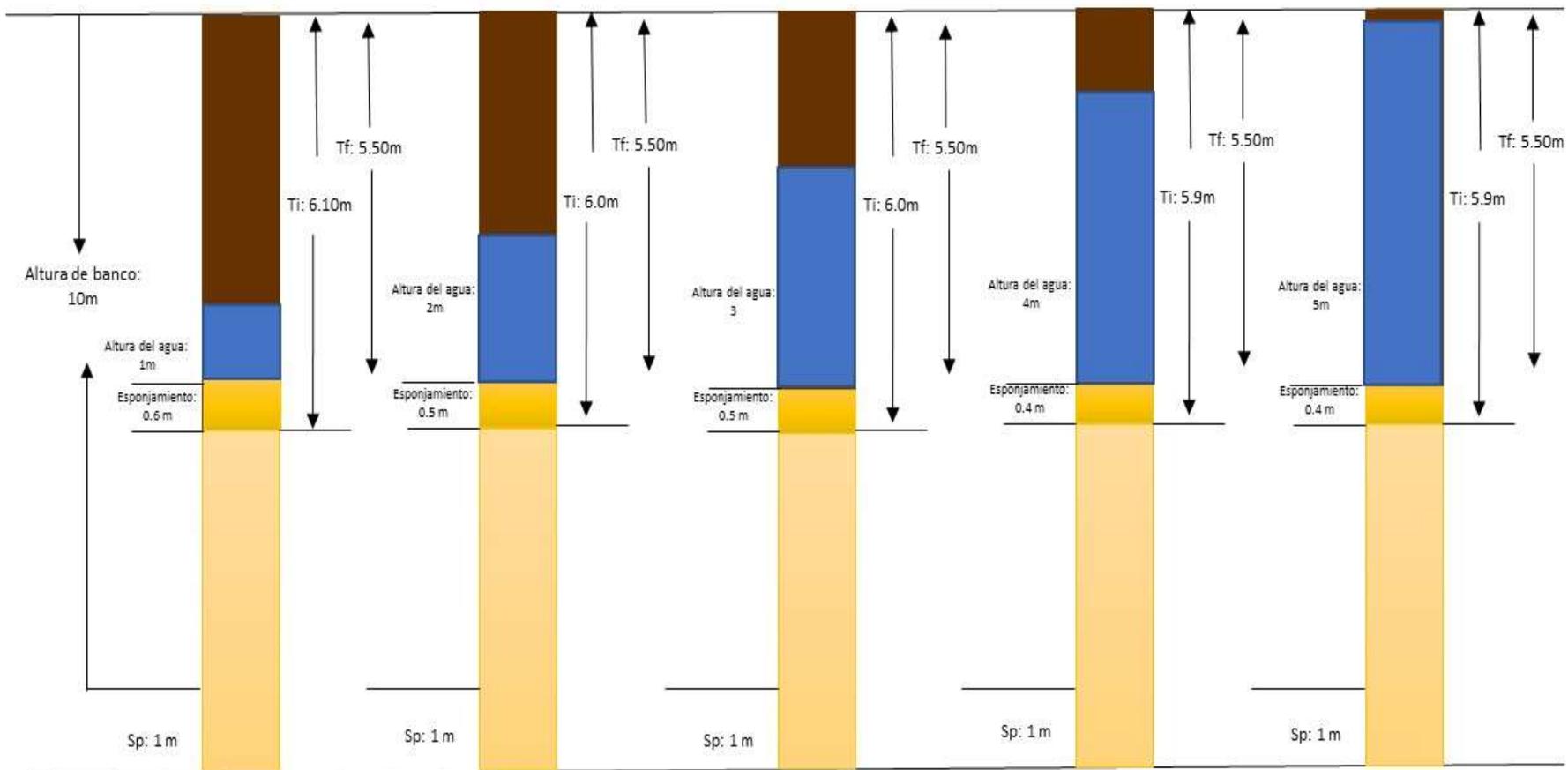
- Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc)

**Tabla 18.**

*Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 70 1.1gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.310				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.260%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.10	6.00	6.00	5.90	5.90
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40
<b>Taco Final (m)</b>	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
<b>Carga (kg/tal)</b>	319.78	326.31	326.31	332.83	332.83
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	36.44	29.91	29.91	23.39	23.39
<b>Energía (Mj/kg)</b>	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	965.74	985.45	985.45	1005.16	1005.16
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	106.48	86.77	86.77	67.06	67.06
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.10	0.08	0.08	0.06	0.06
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	570.93	570.93	570.93	570.93	570.93
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	182.57	186.30	186.30	190.02	190.02
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	5.09	1.37	1.37	-2.36	-2.36
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.03	0.01	0.01	-0.01	-0.01
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 22.** Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 70 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

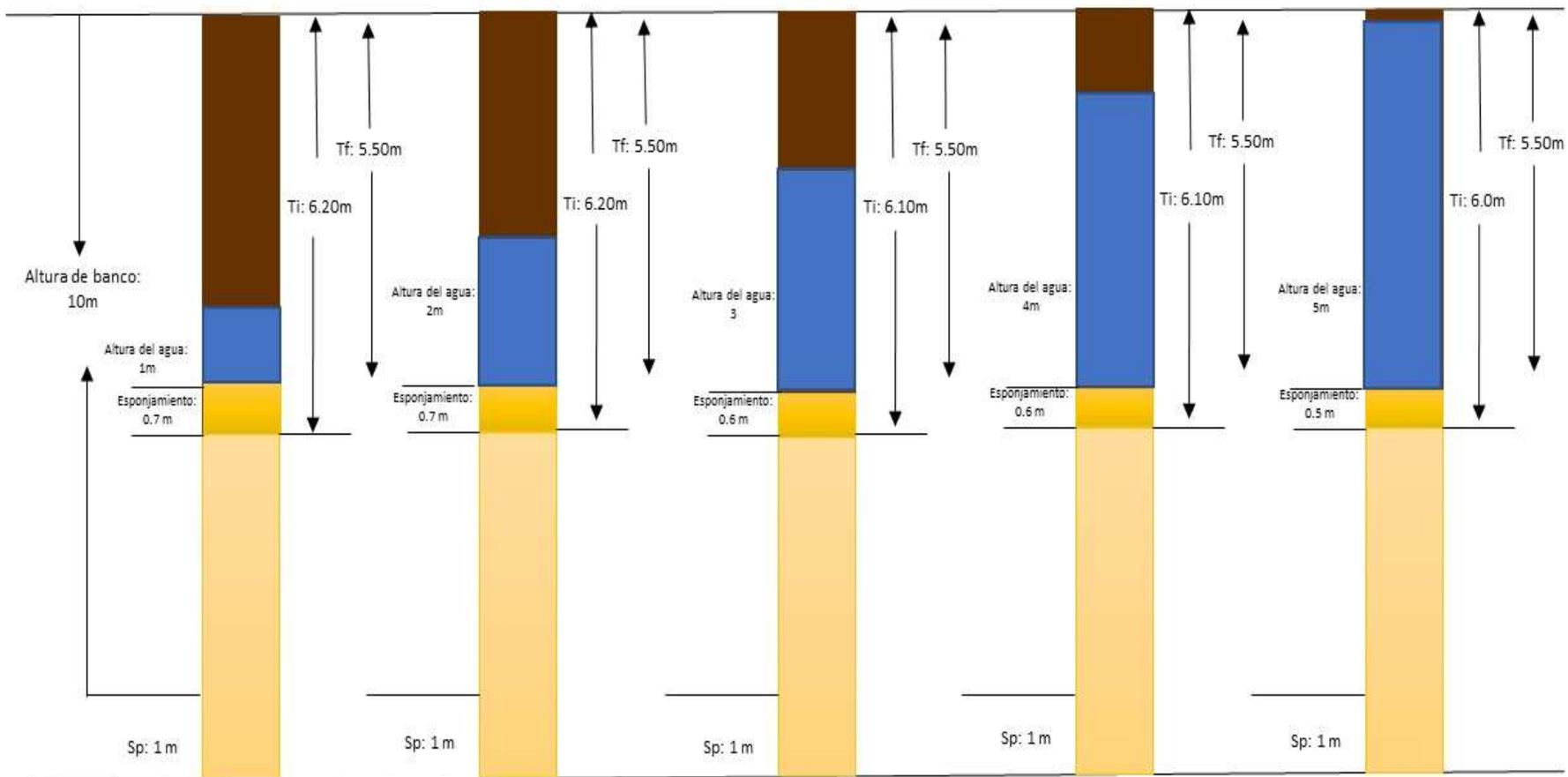
- Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc)

**Tabla 19.**

*Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 70 1.05gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.050				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.320				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.329%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.20	6.20	6.10	6.10	6.00
<b>Espojamiento (m)</b>	0.70	0.70	0.60	0.60	0.50
<b>Taco Final (m)</b>	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
<b>Carga (kg/tal)</b>	313.25	313.25	319.78	319.78	326.31
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	42.96	42.96	36.44	36.44	29.91
<b>Energía (Mj/kg)</b>	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	946.03	946.03	965.74	965.74	985.45
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	126.19	126.19	106.48	106.48	86.77
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.12	0.12	0.10	0.10	0.08
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	570.93	570.93	570.93	570.93	570.93
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	178.85	178.85	182.57	182.57	186.30
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	8.82	8.82	5.09	5.09	1.37
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 23.** Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 70 1.05gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

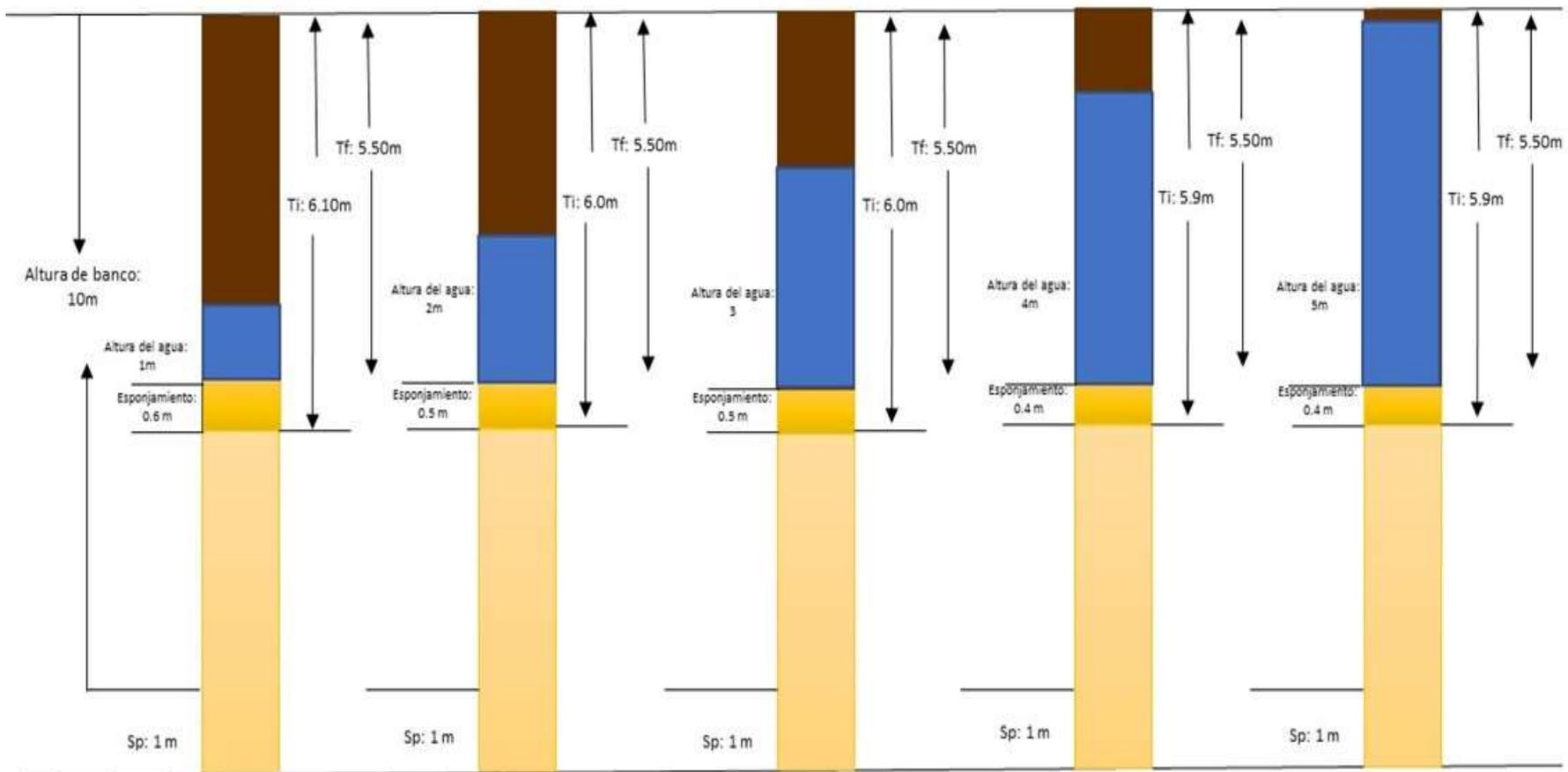
- Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc)

**Tabla 20.**

*Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.1gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.260%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.10	6.00	6.00	5.90	5.90
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40
<b>Taco Final (m)</b>	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
<b>Carga (kg/tal)</b>	324.63	331.25	331.25	337.88	337.88
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	31.59	24.97	24.97	18.34	18.34
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	824.55	841.38	841.38	858.20	858.20
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	247.67	230.84	230.84	214.01	214.01
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.23	0.22	0.22	0.20	0.20
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	181.54	185.25	185.25	188.95	188.95
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	6.12	2.42	2.42	-1.29	-1.29
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.03	0.01	0.01	-0.01	-0.01
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 24.** Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 100 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

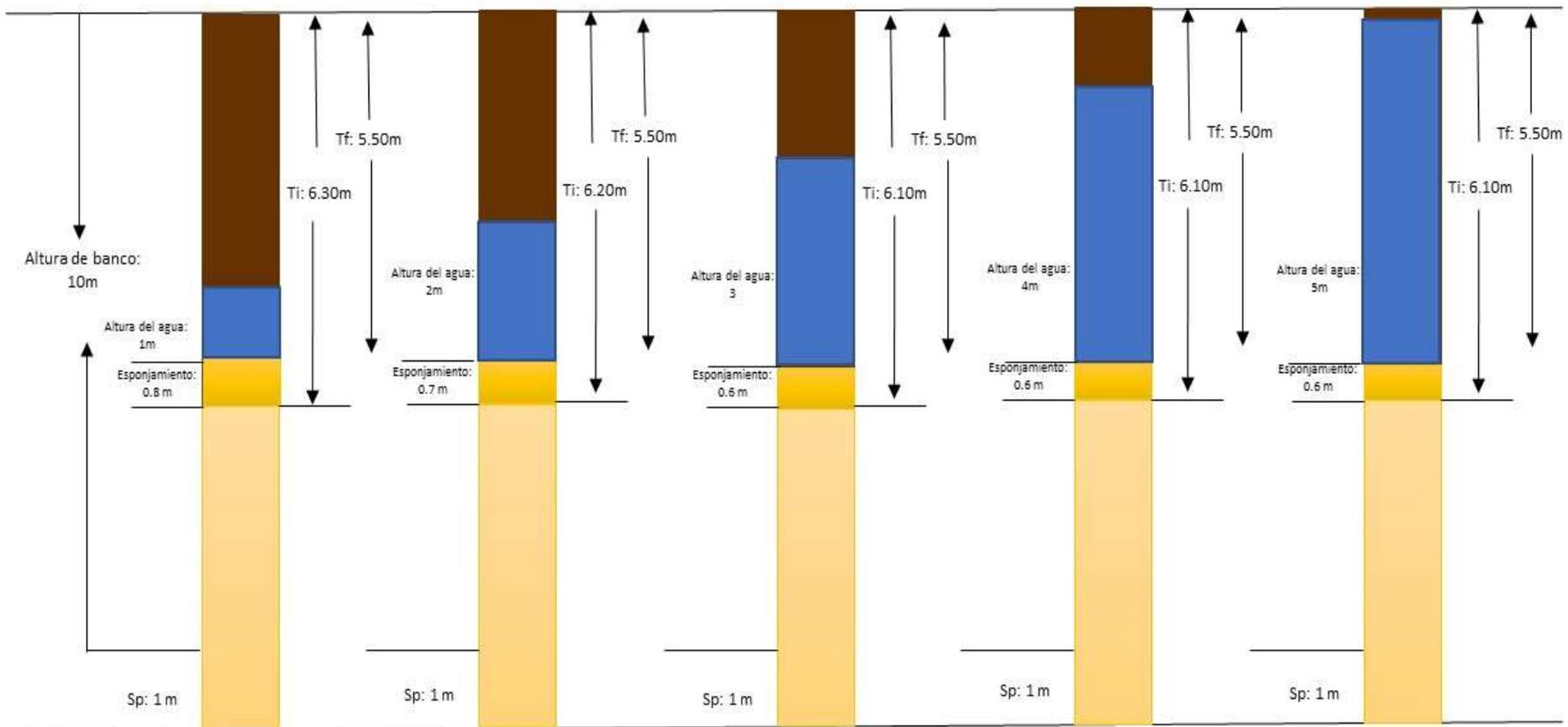
- Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc)

**Tabla 21.**

*Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.05gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.329%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.30	6.20	6.10	6.10	6.10
<b>Espojamiento (m)</b>	0.80	0.70	0.60	0.60	0.60
<b>Taco Final (m)</b>	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
<b>Carga (kg/tal)</b>	311.38	318.00	324.63	324.63	324.63
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	44.84	38.22	31.59	31.59	31.59
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	790.89	807.72	824.55	824.55	824.55
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	281.32	264.49	247.67	247.67	247.67
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.26	0.25	0.23	0.23	0.23
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	174.13	177.84	181.54	181.54	181.54
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	13.53	9.83	6.12	6.12	6.12
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 25.** Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 100 1.05gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

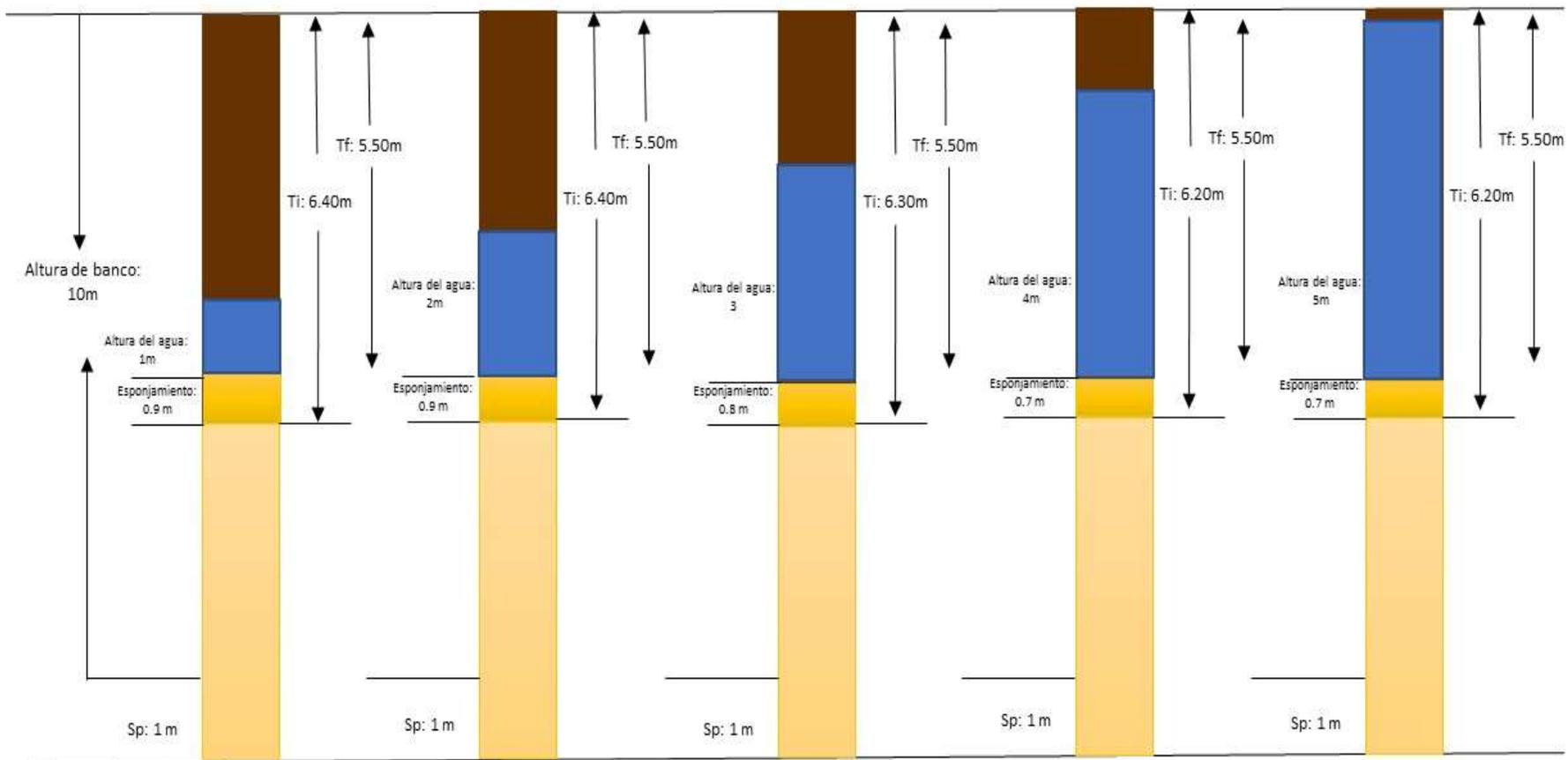
- Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc)

**Tabla 22.**

*Diseño de perforación Taco de 5.50 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.0gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.000				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.405%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.40	6.40	6.30	6.20	6.20
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.90	0.90	0.80	0.70	0.70
<b>Taco Final (m)</b>	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
<b>Carga (kg/tal)</b>	304.75	304.75	311.38	318.00	318.00
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	51.47	51.47	44.84	38.22	38.22
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	774.07	774.07	790.89	807.72	807.72
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	298.15	298.15	281.32	264.49	264.49
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.28	0.28	0.26	0.25	0.25
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	170.43	170.43	174.13	177.84	177.84
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	17.24	17.24	13.53	9.83	9.83
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.09	0.09	0.07	0.05	0.05
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 26.** Gasificado Taco 5.50 m con Fortis Advantage 100 1.0gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

### 4.2.3 Taco de tope 6 m

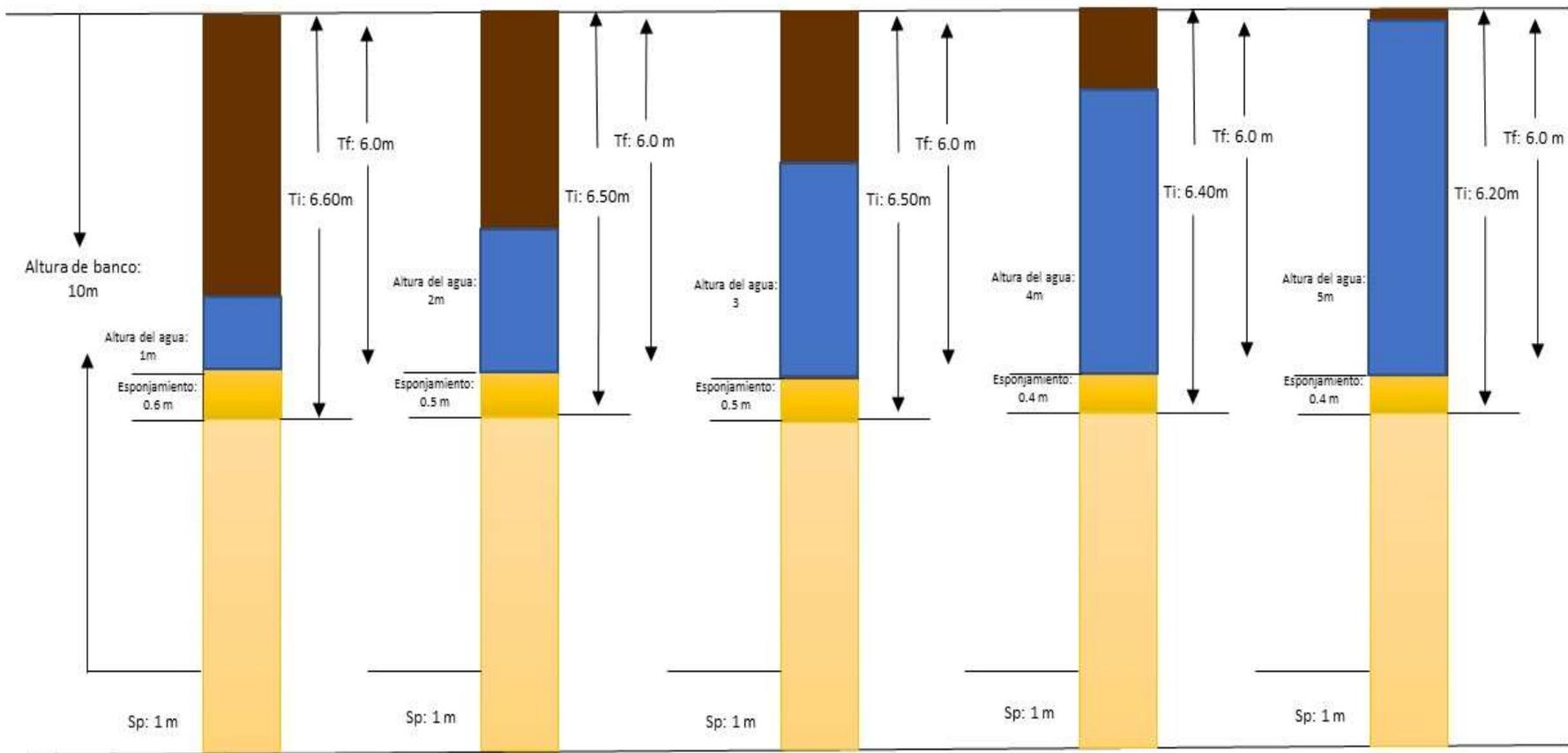
- Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc)

**Tabla 23.**

*Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 60 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 60 1.1gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.310				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.260%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.60	6.50	6.50	6.40	6.40
<b>Espojamiento (m)</b>	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40
<b>Taco Final (m)</b>	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	284.97	291.45	291.45	297.93	297.93
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	38.86	32.38	32.38	25.91	25.91
<b>Energía (Mj/kg)</b>	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	872.02	891.84	891.84	911.66	911.66
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	102.72	82.90	82.90	63.08	63.08
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.11	0.09	0.09	0.06	0.06
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	574.83	574.83	574.83	574.83	574.83
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	163.81	167.53	167.53	171.26	171.26
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	6.79	3.07	3.07	-0.65	-0.65
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 27.** Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 60 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

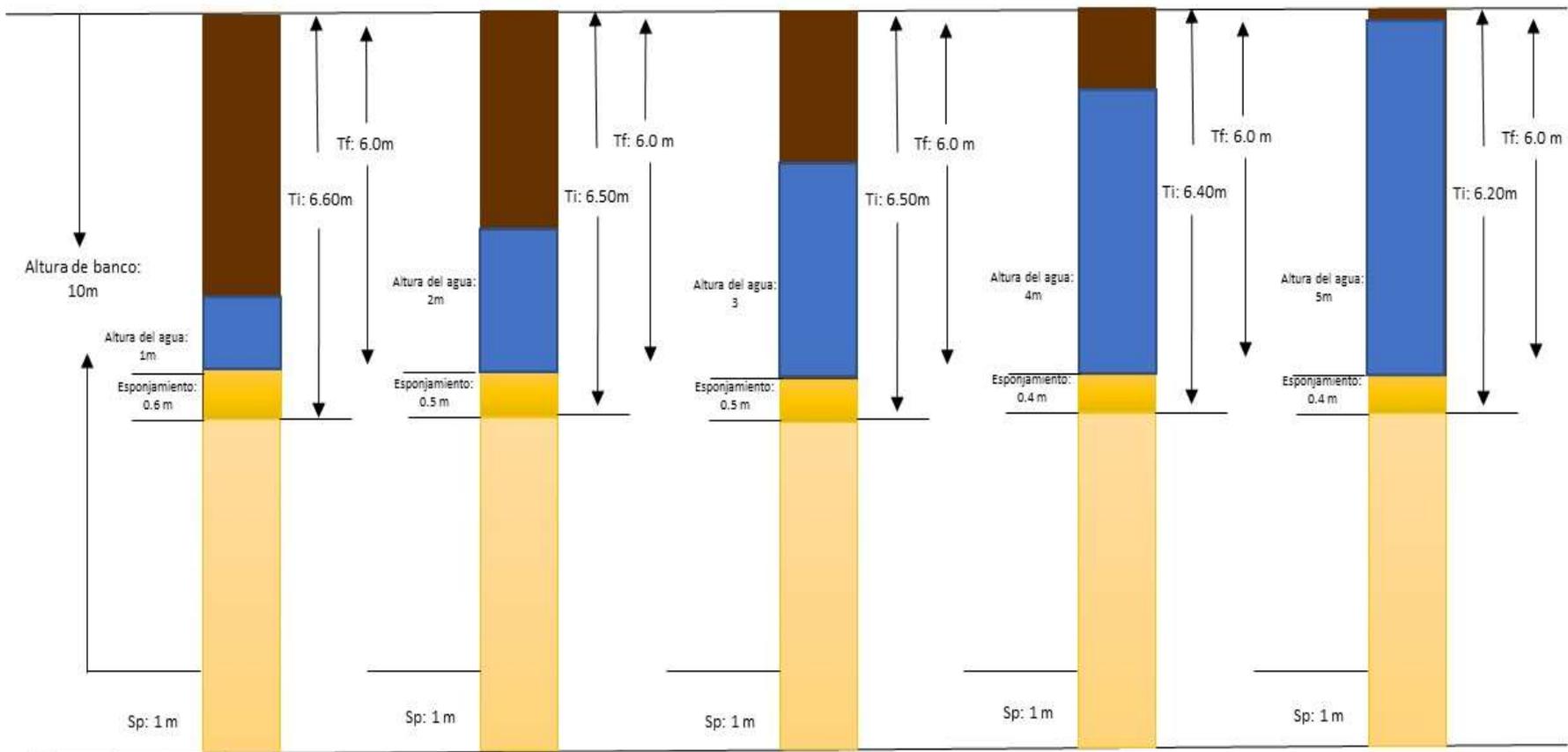
- Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc)

**Tabla 24.**

*Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 70 1.1gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.320				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.260%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.60	6.50	6.50	6.40	6.40
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40
<b>Taco Final (m)</b>	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	287.15	293.68	293.68	300.20	300.20
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	36.68	30.16	30.16	23.63	23.63
<b>Energía (Mj/kg)</b>	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	867.19	886.90	886.90	906.61	906.61
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	107.55	87.84	87.84	68.13	68.13
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.11	0.09	0.09	0.07	0.07
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	570.93	570.93	570.93	570.93	570.93
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	163.94	167.67	167.67	171.40	171.40
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	6.66	2.94	2.94	-0.79	-0.79
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 28.** Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 70 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

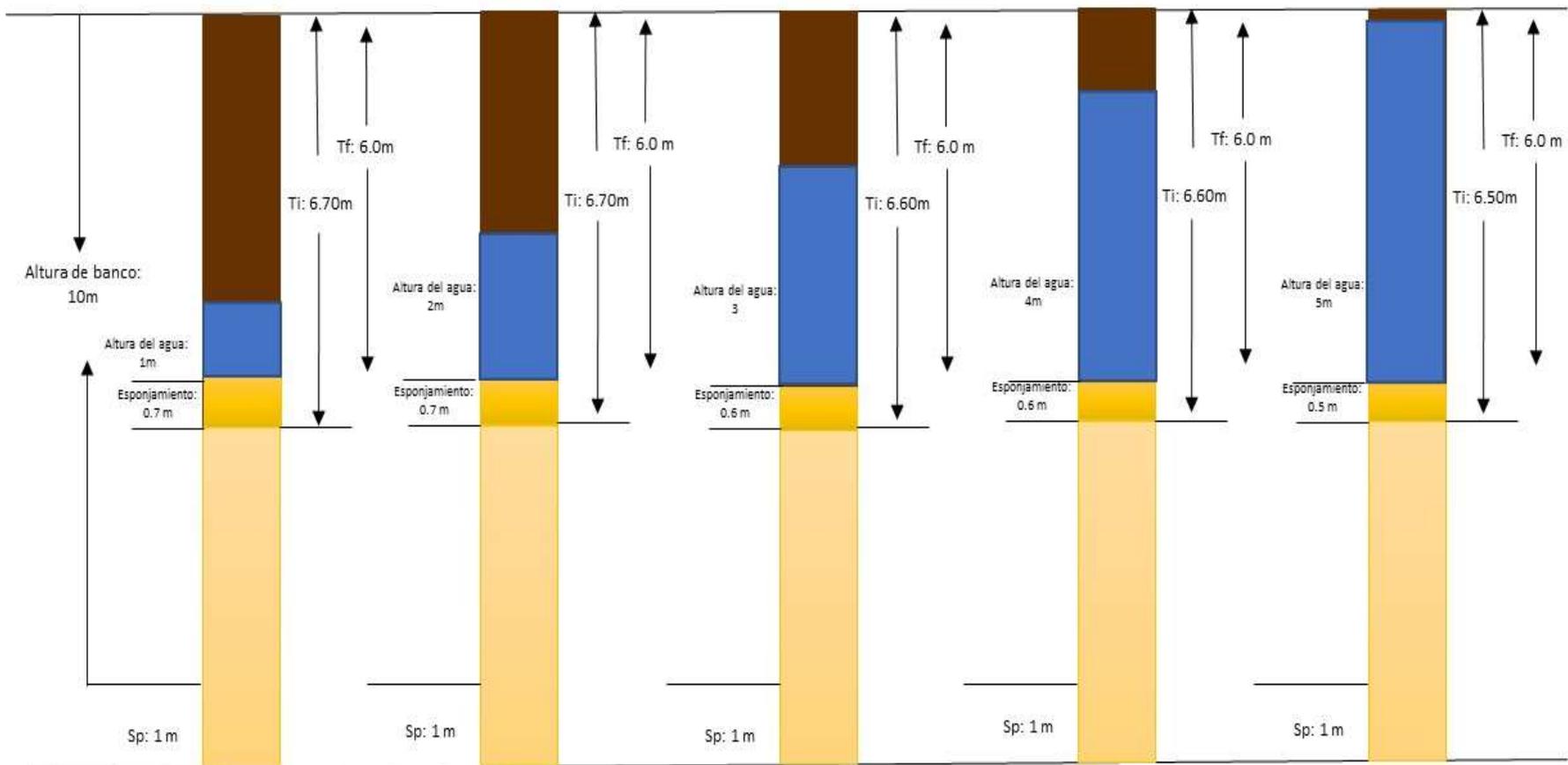
- Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc)

**Tabla 25.**

*Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 70 1.05gr/cc)*

<b>Diseño de Carga</b>	<b>Gasificada</b>				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 70 1.05gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.050				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.320				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.329%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.70	6.70	6.60	6.60	6.50
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.70	0.70	0.60	0.60	0.50
<b>Taco Final (m)</b>	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	280.62	280.62	287.15	287.15	293.68
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	43.21	43.21	36.68	36.68	30.16
<b>Energía (Mj/kg)</b>	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	847.48	847.48	867.19	867.19	886.90
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	127.26	127.26	107.55	107.55	87.84
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.13	0.13	0.11	0.11	0.09
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	570.93	570.93	570.93	570.93	570.93
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	160.22	160.22	163.94	163.94	167.67
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	10.39	10.39	6.66	6.66	2.94
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 29.** Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 70 1.05gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

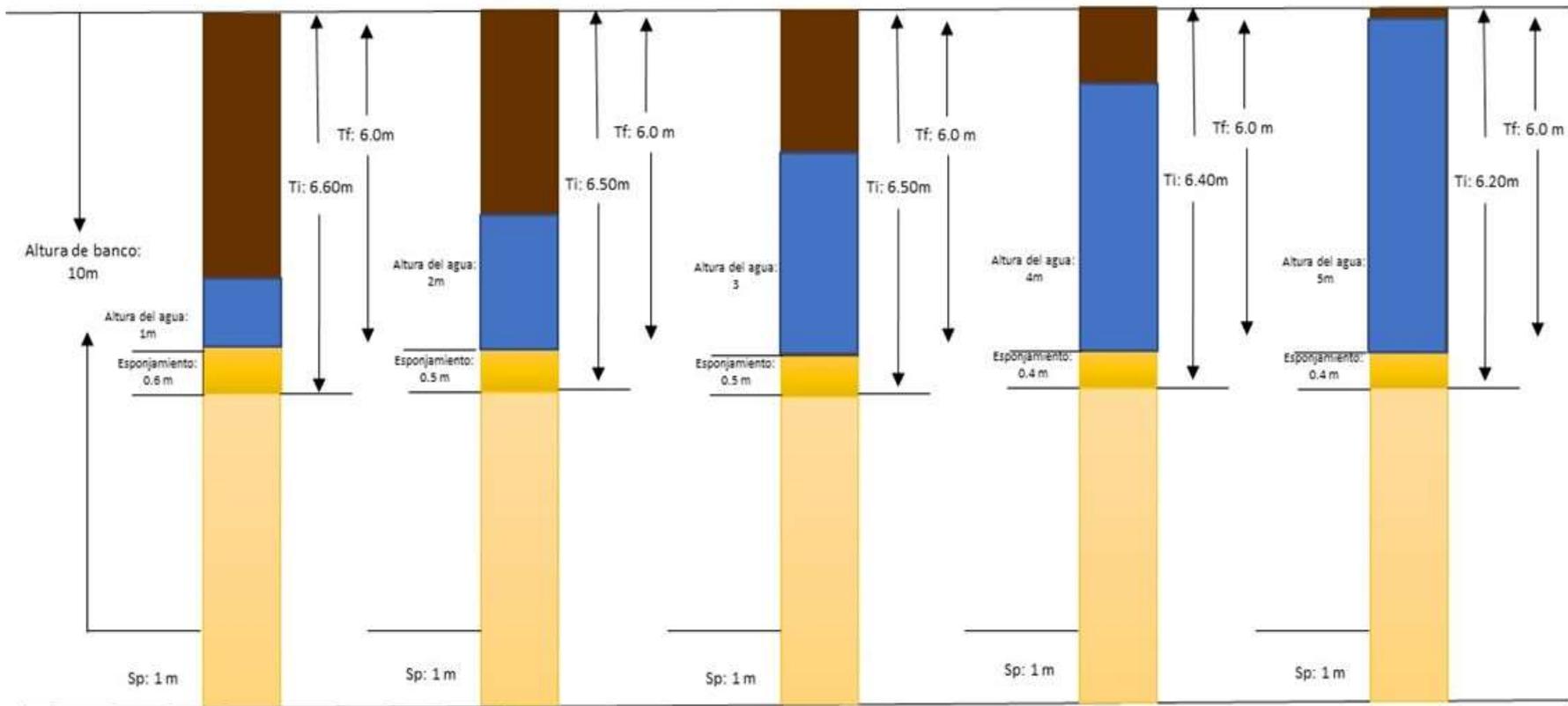
- Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc)

**Tabla 26.**

*Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.1gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.1gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.100				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.260%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.60	6.50	6.50	6.40	6.40
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40
<b>Taco Final (m)</b>	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	291.50	298.13	298.13	304.75	304.75
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	32.33	25.71	25.71	19.08	19.08
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	740.41	757.24	757.24	774.07	774.07
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	234.33	217.50	217.50	200.68	200.68
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.24	0.22	0.22	0.21	0.21
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	163.02	166.72	166.72	170.43	170.43
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	7.59	3.88	3.88	0.18	0.18
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 30.** Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 100 1.1gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

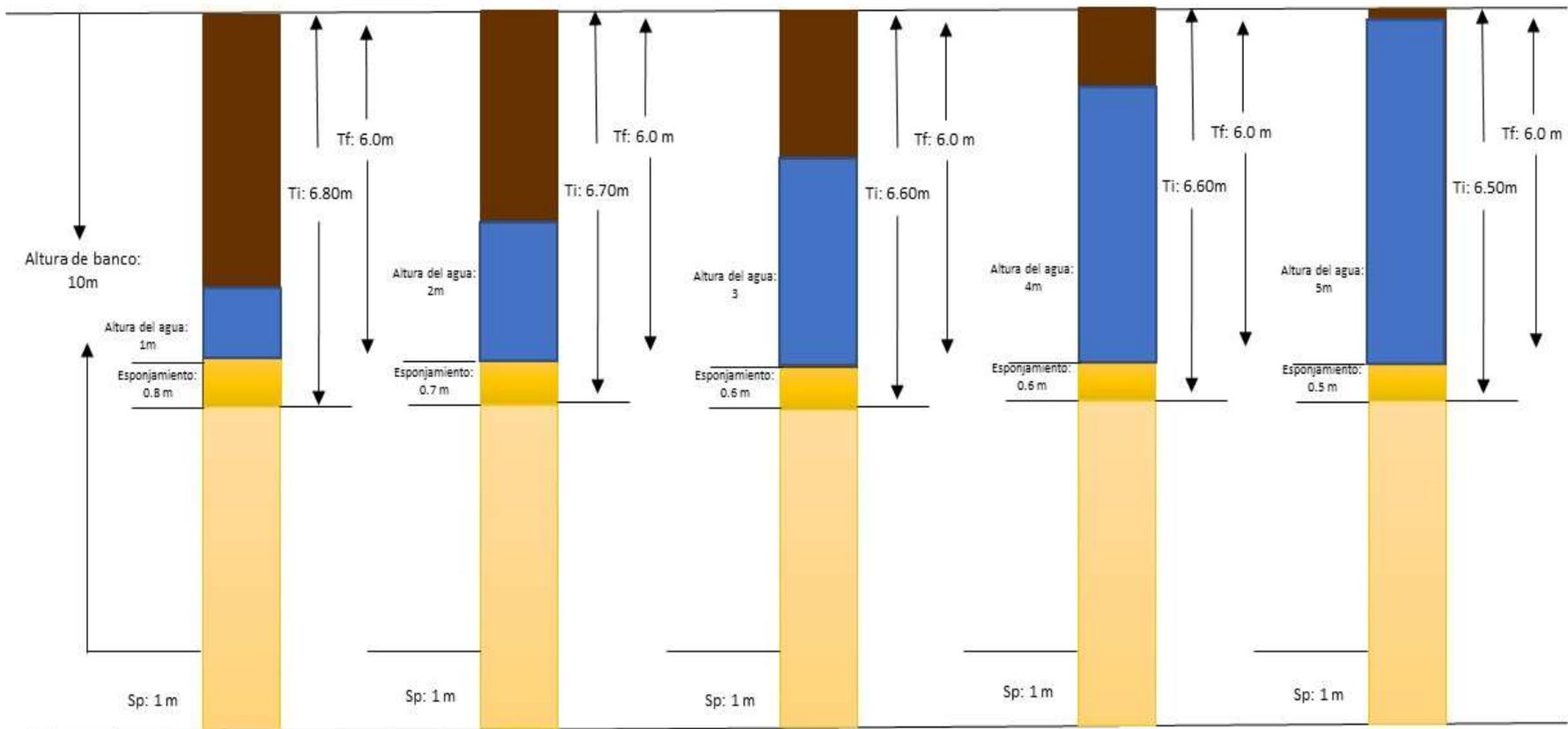
- Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc)

**Tabla 27.**

*Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.05gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.05gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.050				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.329%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.80	6.70	6.60	6.60	6.50
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.80	0.70	0.60	0.60	0.50
<b>Taco Final (m)</b>	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	278.25	284.88	291.50	291.50	298.13
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	45.58	38.96	32.33	32.33	25.71
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	706.76	723.58	740.41	740.41	757.24
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	267.99	251.16	234.33	234.33	217.50
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.27	0.26	0.24	0.24	0.22
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	155.61	159.31	163.02	163.02	166.72
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	15.00	11.29	7.59	7.59	3.88
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.09	0.07	0.04	0.04	0.02
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 31.** Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 100 1.05gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

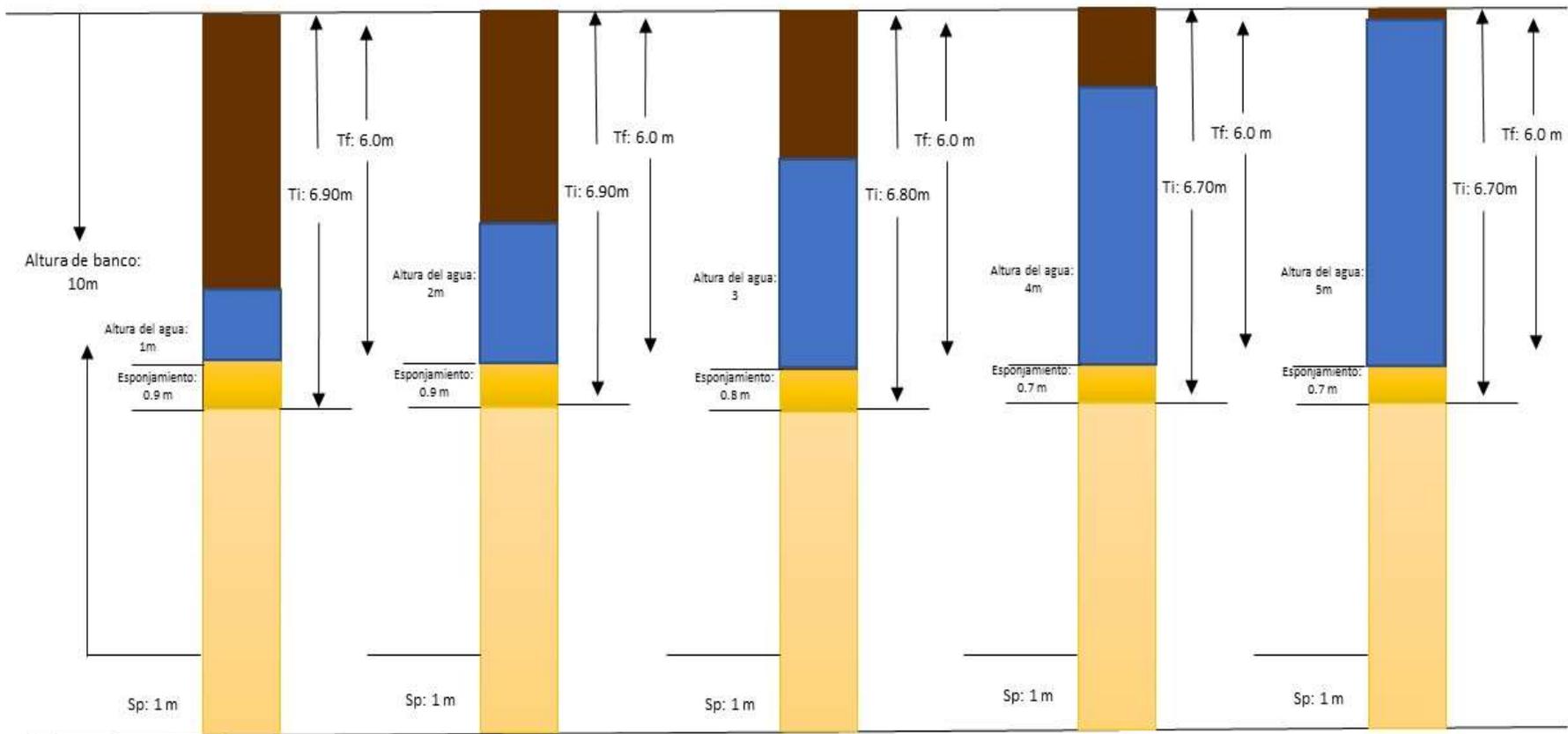
- Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc)

**Tabla 28.**

*Diseño de perforación Taco de 6 m – Gasificado (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc)*

Diseño de Carga	Gasificada				
<b>Mezcla Explosiva</b>	Fortis Advantage 100 1.0gr/cc				
<b>Densidad Final (gr/cc)</b>	1.000				
<b>Densidad Inicial (gr/cc)</b>	1.340				
<b>% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%</b>	0.405%				
<b>Altura de Agua (m)</b>	1.00	2.00	3.00	4.00	5.0 o más
<b>Taco Inicial (m)</b>	6.90	6.90	6.80	6.70	6.70
<b>Esponjamiento (m)</b>	0.90	0.90	0.80	0.70	0.70
<b>Taco Final (m)</b>	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
<b>Carga (kg/tal)</b>	271.63	271.63	278.25	284.88	284.88
<b>Ahorro en Explosivo (kg)</b>	52.21	52.21	45.58	38.96	38.96
<b>Energía (Mj/kg)</b>	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
<b>Energía por Taladro (Mj/tal)</b>	689.93	689.93	706.76	723.58	723.58
<b>Déficit de Energía (Mj/tal)</b>	284.81	284.81	267.99	251.16	251.16
<b>Porcentaje Déficit de Energía</b>	0.29	0.29	0.27	0.26	0.26
<b>Precio Producto (\$/ton)</b>	559.24	559.24	559.24	559.24	559.24
<b>Costos de Explosivo (\$)</b>	151.90	151.90	155.61	159.31	159.31
<b>Ahorro (\$/tal)</b>	18.70	18.70	15.00	11.29	11.29
<b>Porcentaje de Ahorro</b>	0.11	0.11	0.09	0.07	0.07
<b>Altura de Banco (m)</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
<b>Sobreperforación (m)</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*Fuente:* Orica



**Figura 32.** Gasificado Taco 6 m con Fortis Advantage 100 1.0gr/cc  
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 29.**

*Propiedades físicas, químicas y condiciones de carga de la emulsión gasificada*

Diseño de Carga	Mezcla Explosiva	Propiedades físicas					Propiedades químicas	Condiciones de carga	
		Velocidad de detonación (m/s)	Energía (Mj/kg)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Energía relativa efectiva (REE)		Emisión CO <sub>2</sub> (kg/Ton)	Diámetro del taladro (mm)	Tipos de taladro
					Fuerza relativa en peso	Fuerza relativa en volumen			
Gasificado	Fortis Advantage 60 1.1gr/cc	5191.8	3.06	1.1000 gr/cc	120 - 125	171 - 189	190 - 192	89	Seco, Húmedo, con Agua o Desaguado
	Fortis Advantage 70 1.1gr/cc	5268.4	3.02	1.1000 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160 -162	140	Seco, Húmedo, con Agua o Desaguado
	Fortis Advantage 70 1.05gr/cc	5354.8	3.02	1.0500 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160-162	140	Seco, Húmedo, con Agua o Desaguado
	Fortis Advantage 100 1.1gr/cc	5892.2	2.54	1.1000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140	Seco, Húmedo, con Agua o Desaguado
	Fortis Advantage 100 1.05gr/cc	5837.6	2.54	1.0500 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160-162	140	Seco, Húmedo, con Agua o Desaguado
	Fortis Advantage 100 1.0gr/cc	5786.5	2.54	1.0000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140	Seco, Húmedo, con Agua o Desaguado

**Fuente:** Elaboración propia

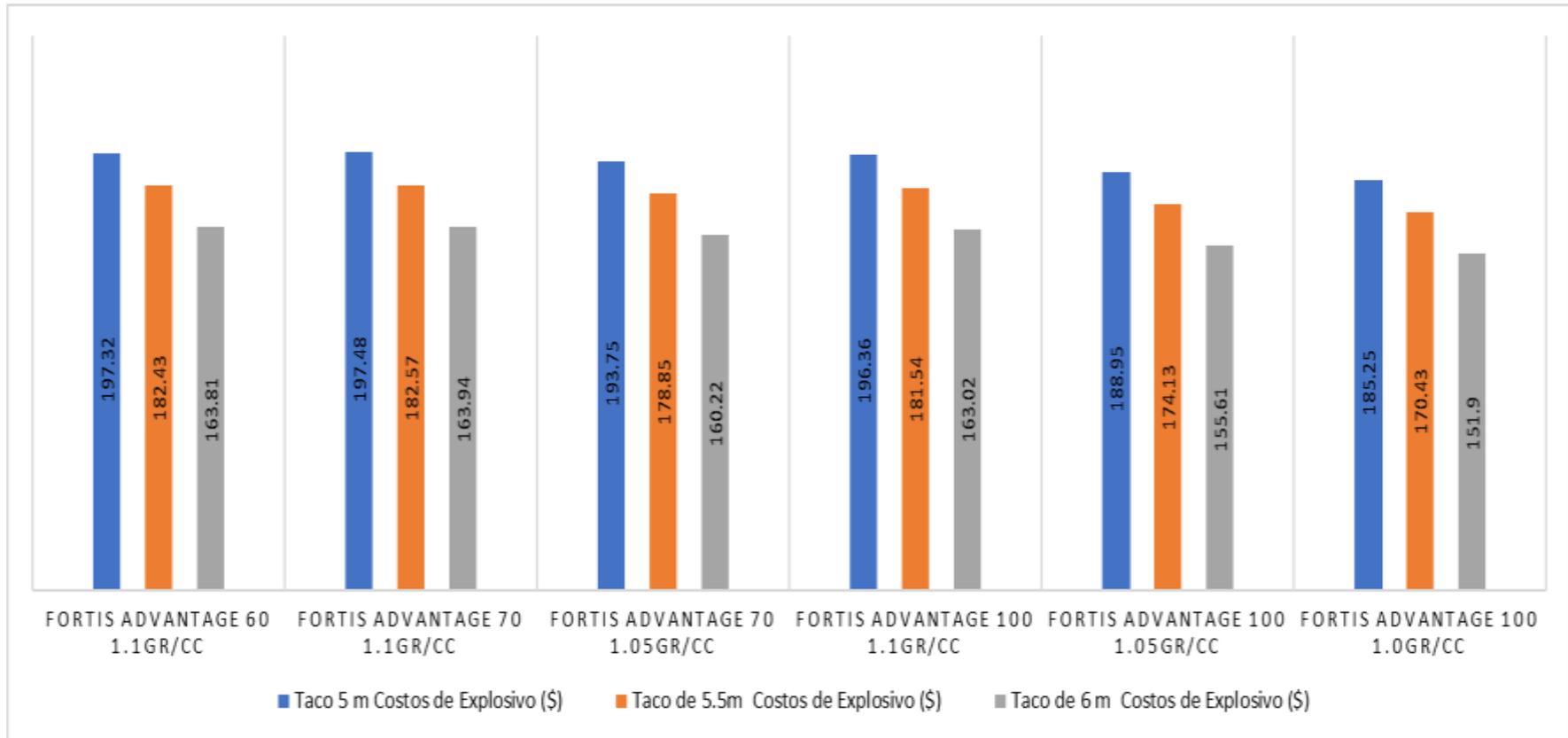
Propiedades físicas, químicas y condiciones de carga de la emulsión gasificada. Entre las propiedades se analizarán la Velocidad de detonación (m/s), Energía (Mj/kg), Densidad (g/cm<sup>3</sup>), Energía relativa efectiva (REE), Emisión CO<sub>2</sub> (kg/t), Diámetro del taladro (mm) y Tipos de taladro

**Tabla 30.**

*Costos de la emulsión gasificada por tipo de Taco*

Mezcla Explosiva	Taco 5 m		Taco de 5.5m		Taco de 6 m	
	Precio Producto (\$/Ton)	Costos de Explosivo (\$/Tal)	Precio Producto (\$/Ton)	Costos de Explosivo (\$/Tal)	Precio Producto (\$/Ton)	Costos de Explosivo (\$/Tal)
Fortis Advantage 60 1.1gr/cc	574.83	197.32	574.83	182.43	574.83	163.81
	574.83	201.04	574.83	186.15	574.83	167.53
	574.83	201.04	574.83	186.15	574.83	167.53
	574.83	204.76	574.83	189.87	574.83	171.26
	574.83	204.76	574.83	189.87	574.83	171.26
Fortis Advantage 70 1.1gr/cc	570.93	197.48	570.93	182.57	570.93	163.94
	570.93	201.20	570.93	186.3	570.93	167.67
	570.93	201.20	570.93	186.3	570.93	167.67
	570.93	204.93	570.93	190.02	570.93	171.4
	570.93	204.93	570.93	190.02	570.93	171.4
Fortis Advantage 70 1.05gr/cc	570.93	193.75	570.93	178.85	570.93	160.22
	570.93	193.75	570.93	178.85	570.93	160.22
	570.93	197.48	570.93	182.57	570.93	163.94
	570.93	197.48	570.93	182.57	570.93	163.94
	570.93	201.20	570.93	186.3	570.93	167.67
Fortis Advantage 100 1.1gr/cc	559.24	196.36	559.24	181.54	559.24	163.02
	559.24	200.07	559.24	185.25	559.24	166.72
	559.24	200.07	559.24	185.25	559.24	166.72
	559.24	203.77	559.24	188.95	559.24	170.43
	559.24	203.77	559.24	188.95	559.24	170.43
Fortis Advantage 100 1.05gr/cc	559.24	188.95	559.24	174.13	559.24	155.61
	559.24	192.66	559.24	177.84	559.24	159.31
	559.24	196.36	559.24	181.54	559.24	163.02
	559.24	196.36	559.24	181.54	559.24	163.02
	559.24	200.07	559.24	181.54	559.24	166.72
Fortis Advantage 100 1.0gr/cc	559.24	185.25	559.24	170.43	559.24	151.9
	559.24	185.25	559.24	170.43	559.24	151.9
	559.24	188.95	559.24	174.13	559.24	155.61
	559.24	192.66	559.24	177.84	559.24	159.31
	559.24	196.36	559.24	177.84	559.24	159.31

**Fuente:** Orica



**Figura 33.** Costos de la emulsión gasificada por tipo de Taco  
**Fuente:** Elaboración propia

El costo de la mezcla explosiva, depende a la altura de taco final a utilizar y de la altura del agua que se tomó en cuenta en el estudio, 1, 2, 3, 4, 5 o más metros de altura (considerando el terreno donde se realizan las perforaciones); de esta manera, los costos generados que se pueden apreciar en la gráfica anterior, serían los más convenientes a utilizar para su evaluación, donde se tuvo en consideración el producto (explosivo), la altura de taco y altura de agua.

#### 4.3 ANÁLISIS DEL BENEFICIO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN EL CARGUÍO DE TALADROS

Luego de realizar las pruebas se llegó a lo siguiente, en cuanto al ahorro:

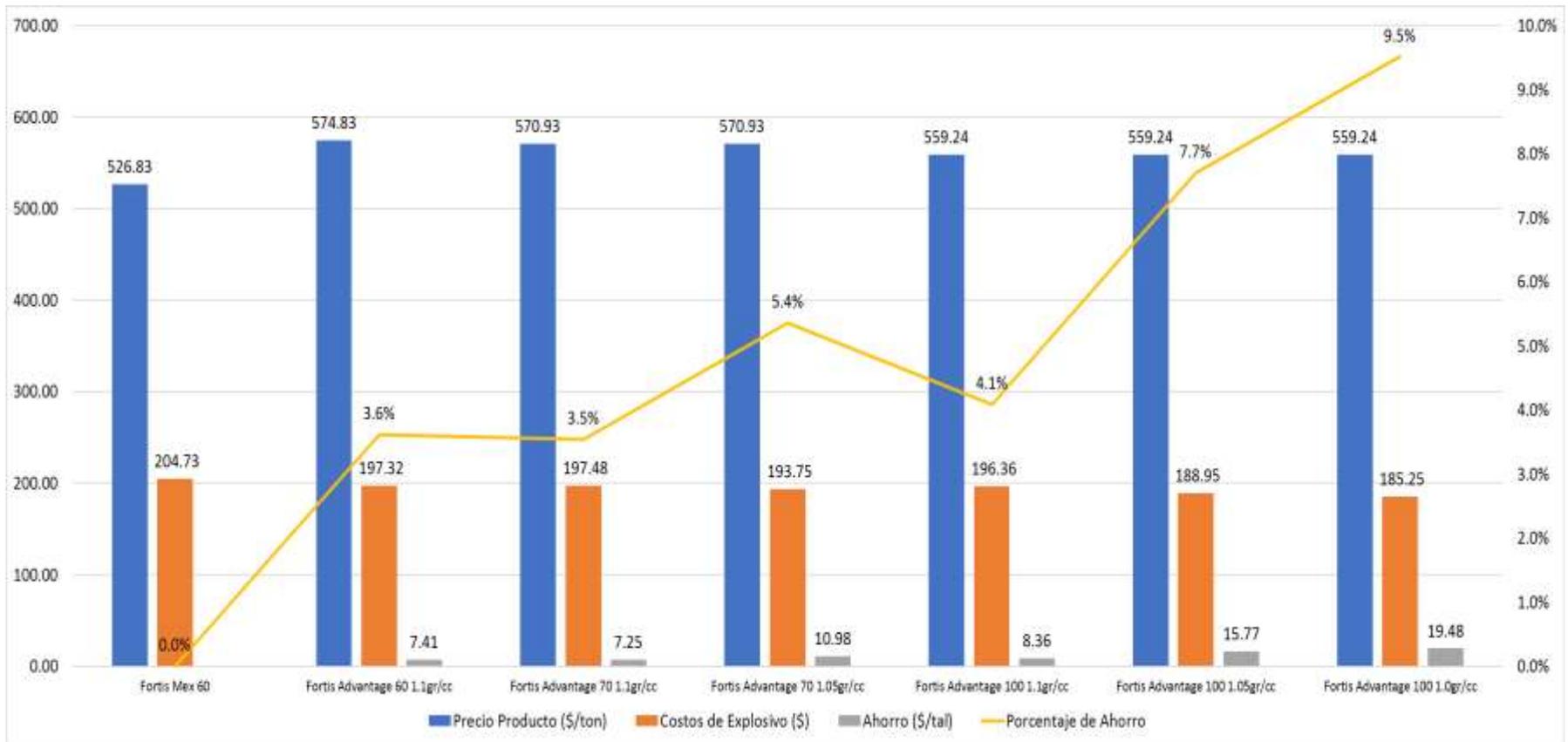
- Taco de 5 m

**Tabla 31.**

*Ahorro en carguío de taladro en Taco de 5 m*

Diseño de Carga	Mezcla Explosiva	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$/Tal)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro
Carguío actual	Fortis Mex 60	526.83	204.73		-
Gasificado	Fortis Advantage 60 1.1gr/cc	574.83	197.32	7.41	3.6%
		574.83	201.04	3.69	1.8%
		574.83	201.04	3.69	1.8%
		574.83	204.76	-0.04	0.0%
		574.83	204.76	-0.04	0.0%
	Fortis Advantage 70 1.1gr/cc	570.93	197.48	7.25	3.5%
		570.93	201.20	3.52	1.7%
		570.93	201.20	3.52	1.7%
		570.93	204.93	-0.20	-0.1%
		570.93	204.93	-0.20	-0.1%
	Fortis Advantage 70 1.05gr/cc	570.93	193.75	10.98	5.4%
		570.93	193.75	10.98	5.4%
		570.93	197.48	7.25	3.5%
		570.93	197.48	7.25	3.5%
		570.93	201.20	3.52	1.7%
	Fortis Advantage 100 1.1gr/cc	559.24	196.36	8.36	4.1%
		559.24	200.07	4.66	2.3%
		559.24	200.07	4.66	2.3%
		559.24	203.77	0.95	0.5%
		559.24	203.77	0.95	0.5%
	Fortis Advantage 100 1.05gr/cc	559.24	188.95	15.77	7.7%
		559.24	192.66	12.07	5.9%
		559.24	196.36	8.36	4.1%
		559.24	196.36	8.36	4.1%
		559.24	200.07	4.66	2.3%
	Fortis Advantage 100 1.0gr/cc	559.24	185.25	19.48	9.5%
		559.24	185.25	19.48	9.5%
		559.24	188.95	15.77	7.7%
559.24		192.66	12.07	5.9%	
559.24		196.36	8.36	4.1%	

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 34.** Ahorro en carguío de taladro en Taco de 5 m  
**Fuente:** Elaboración propia

Al analizar el ahorro por diseño de carga en Taco de 5m, se tiene que el Carguío actual es el comparativo para el cálculo del ahorro y al verificar el ahorro en las gasificaciones se tiene:

- En el Carguío actual utilizando como mezcla explosiva Fortis Mex 60 tiene un precio de \$526.83 por tonelada y el costo del explosivo \$204.73 por taladro.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 60 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$574.83, el explosivo \$197.32 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$7.41, representando el 3.6%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 70 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$570.93, el explosivo \$197.48 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$7.25, representando el 3.5%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 70 1.05gr/cc el precio de producto fue de \$570.93, el explosivo \$193.75 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$10.98, representando el 5.4%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$559.24, el explosivo \$196.36 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$8.36, representando el 4.1%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.05gr/cc el precio de producto fue de \$559.24, el explosivo \$188.95 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$15.77, representando el 7.7%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.0gr/cc el precio de producto fue de \$559.24, el explosivo \$185.25 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$19.48, representando el 9.5%.

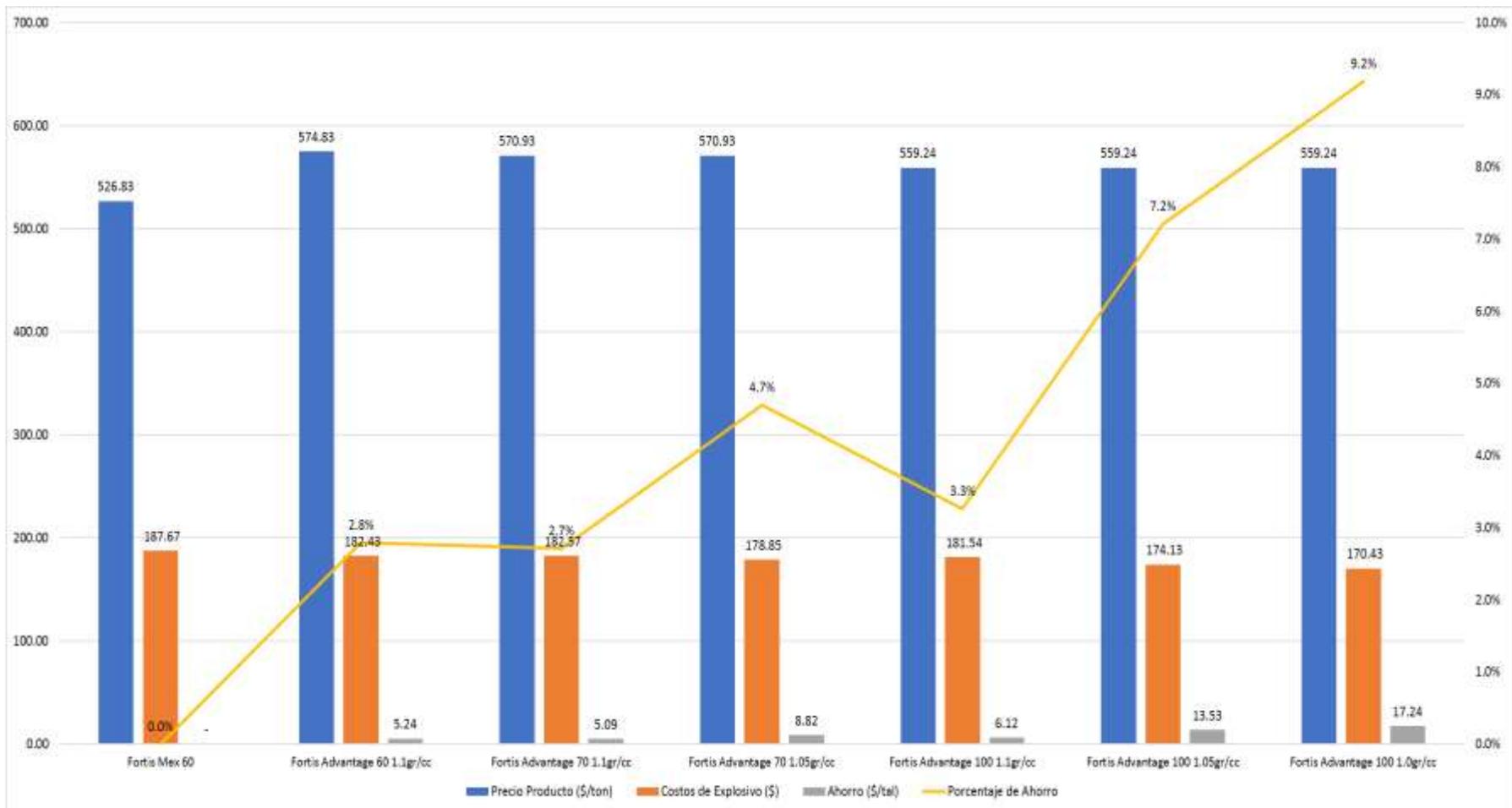
- Taco de 5.5m

**Tabla 32.**

*Ahorro en carguío de taladro en Taco de 5.5m*

Diseño de Carga	Mezcla Explosiva	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro
Carguío actual	Fortis Mex 60	526.83	187.67	-	-
		574.83	182.43	5.24	2.8%
	Fortis Advantage 60 1.1gr/cc	574.83	186.15	1.52	0.8%
		574.83	186.15	1.52	0.8%
		574.83	189.87	-2.21	-1.2%
		574.83	189.87	-2.21	-1.2%
	Fortis Advantage 70 1.1gr/cc	570.93	182.57	5.09	2.7%
		570.93	186.30	1.37	0.7%
		570.93	186.30	1.37	0.7%
		570.93	190.02	-2.36	-1.3%
	Fortis Advantage 70 1.05gr/cc	570.93	190.02	-2.36	-1.3%
		570.93	178.85	8.82	4.7%
		570.93	178.85	8.82	4.7%
		570.93	182.57	5.09	2.7%
Gasificado	Fortis Advantage 70 1.05gr/cc	570.93	182.57	5.09	2.7%
		570.93	186.30	1.37	0.7%
		570.93	186.30	1.37	0.7%
		570.93	181.54	6.12	3.3%
	Fortis Advantage 100 1.1gr/cc	559.24	185.25	2.42	1.3%
		559.24	185.25	2.42	1.3%
		559.24	188.95	-1.29	-0.7%
		559.24	188.95	-1.29	-0.7%
	Fortis Advantage 100 1.05gr/cc	559.24	174.13	13.53	7.2%
		559.24	177.84	9.83	5.2%
559.24		181.54	6.12	3.3%	
559.24		181.54	6.12	3.3%	
559.24		181.54	6.12	3.3%	
559.24		170.43	17.24	9.2%	
Fortis Advantage 100 1.0gr/cc	559.24	170.43	17.24	9.2%	
	559.24	174.13	13.53	7.2%	
	559.24	177.84	9.83	5.2%	
	559.24	177.84	9.83	5.2%	

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 35.** Ahorro en carguío de taladro en Taco de 5.5 m  
**Fuente:** Elaboración propia

Al analizar el ahorro por diseño de carga en Taco de 5.5m, se tiene que el Carguío actual es el comparativo para el cálculo del ahorro y al verificar el ahorro en las gasificaciones se tiene:

- En el Carguío actual utilizando como mezcla explosiva Fortis Mex 60 tiene un precio de \$526.83 por tonelada y el explosivo \$187.67 por taladro.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 60 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$574.83, el explosivo \$182.43 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$5.24, representando el 2.86%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 70 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$570.93, el explosivo \$182.57 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$5.09, representando el 2.7%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 70 1.05gr/cc el precio de producto fue de \$570.93, el explosivo \$178.85 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$8.82, representando el 4.7%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$559.24 el explosivo \$181.54 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$6.12, representando el 3.3%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.05gr/cc el precio de producto fue de \$559.24 el explosivo \$174.13 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$13.53, representando el 7.2%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.0gr/cc el precio de producto fue de \$559.24 el explosivo \$170.43 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$17.24, representando el 9.2%.

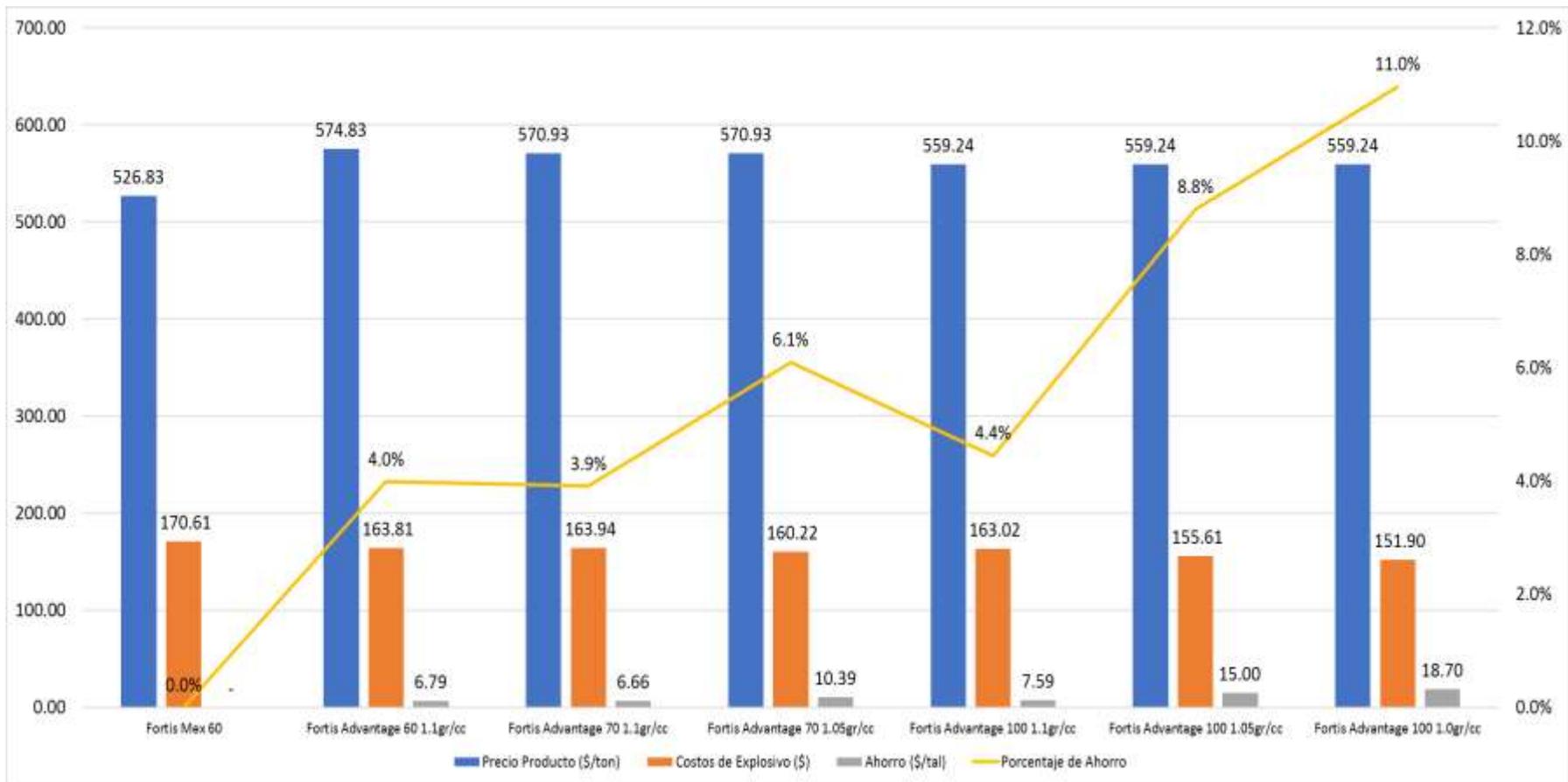
- Taco de 6m

**Tabla 33.**

*Ahorro en carguío de taladro en Taco de 6m*

Diseño de Carga	Mezcla Explosiva	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$/tal)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro
Carguío actual	Fortis Mex 60	526.83	170.61	-	-
		574.83	163.81	6.79	4.0%
	Fortis Advantage 60 1.1gr/cc	574.83	167.53	3.07	1.8%
		574.83	167.53	3.07	1.8%
		574.83	171.26	-0.65	-0.4%
		574.83	171.26	-0.65	-0.4%
		570.93	163.94	6.66	3.9%
	Fortis Advantage 70 1.1gr/cc	570.93	167.67	2.94	1.7%
		570.93	167.67	2.94	1.7%
		570.93	171.40	-0.79	-0.5%
		570.93	171.40	-0.79	-0.5%
		570.93	160.22	10.39	6.1%
	Fortis Advantage 70 1.05gr/cc	570.93	160.22	10.39	6.1%
		570.93	163.94	6.66	3.9%
570.93		163.94	6.66	3.9%	
570.93		167.67	2.94	1.7%	
559.24		163.02	7.59	4.4%	
Gasificado	Fortis Advantage 100 1.1gr/cc	559.24	166.72	3.88	2.3%
		559.24	166.72	3.88	2.3%
		559.24	170.43	0.18	0.1%
		559.24	170.43	0.18	0.1%
		559.24	155.61	15.00	8.8%
	Fortis Advantage 100 1.05gr/cc	559.24	159.31	11.29	6.6%
		559.24	163.02	7.59	4.4%
		559.24	163.02	7.59	4.4%
		559.24	166.72	3.88	2.3%
		559.24	151.90	18.70	11.0%
Fortis Advantage 100 1.0gr/cc	559.24	151.90	18.70	11.0%	
	559.24	155.61	15.00	8.8%	
	559.24	159.31	11.29	6.6%	
		559.24	159.31	11.29	6.6%

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 36.** Ahorro en carguío de taladro en Taco de 6 m  
**Fuente:** Elaboración propia

Al analizar el ahorro por diseño de carga en Taco de 6m, se tiene que el Carguío actual es el comparativo para el cálculo del ahorro y al verificar el ahorro en las gasificaciones se tiene:

- En el Carguío actual utilizando como mezcla explosiva Fortis Mex 60 tiene un precio de \$526.83 por tonelada y el explosivo \$170.61 por taladro cargado.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 60 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$574.83, el explosivo \$163.81 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$6.79, representando el 4.00%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 70 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$570.93, el explosivo \$163.94 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$6.66, representando el 3.9%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 70 1.05gr/cc el precio de producto fue de \$570.93, el explosivo \$160.22 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$10.39, representando el 6.1%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.1gr/cc el precio de producto fue de \$559.24, el explosivo \$163.02 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$7.59, representando el 4.4%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.05gr/cc el precio de producto fue de \$559.24, el explosivo \$155.61 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$15.00, representando el 8.80%.
- En las gasificadas cuando la mezcla explosiva fue Fortis Advantage 100 1.0gr/cc el precio de producto fue de \$559.24, el explosivo \$155.61 con un ahorro en relación con el Carguío actual de \$18.70, representando el 11.00%.

### 4.3.1 Determinación del ahorro

Tabla 34.

Ahorro en carguío de Taladro

Mezcla Explosiva	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$/Tal).	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro
Fortis Advantage 100 1.0gr/cc Taco 5m	559.24	185.25	19.48	9.5%
Fortis Advantage 100 1.0gr/cc Taco 5.5m	559.24	170.43	17.24	9.2%
Fortis Advantage 100 1.0gr/cc Taco 6m	559.24	151.90	18.70	11.0%

Fuente: Elaboración propia

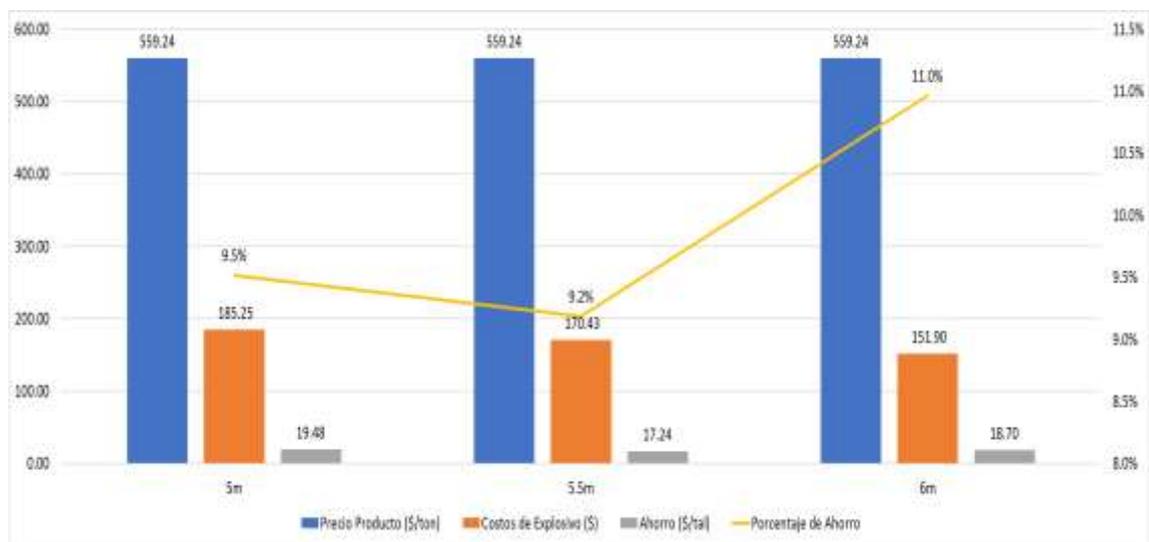


Figura 37. Ahorro en carguío de taladro

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que donde se obtiene el mayor ahorro, es cuando se utiliza Fortis Advantage 100 1.0gr/cc, ya que se lograría un ahorro del 11.0%

### 4.3.2 Beneficios

Entre los beneficios que se obtendrán con la emulsión gasificada se tiene:

- Mayor resistencia al agua, ya que es confiable en barrenos secos, con agua y húmedos.
- El producto asegura exactitud, productividad y confiabilidad en el suministro.
- Puede ser cargado a distintas densidades para maximizar la fragmentación, mejorando la productividad de la mina.
- La densidad final del producto puede ser modificada para ajustarse a los requerimientos deseados del producto.
- La emulsión es bombeable, reduce los derrames y junto a la excelente resistencia al agua, minimiza el percolamiento de nitrato y el resultante impacto medio ambiental.
- La gran velocidad de carga y los reducidos gases post voladura al usar, mejora el tiempo de retorno al área de trabajo.
- Se elimina la preocupación relacionada con la salud ocupacional por manipulación y almacenamiento de explosivos.



**Figura 38.** Vista de voladura

#### **4.4 DISCUSIÓN**

Con relación a los antecedentes observados en esta investigación, pudimos analizar según el tipo de antecedente:

Chugá (2018), en su investigación obtuvo un diseño basado en la geología de la zona, específicamente en la mina Cuajone, donde el burden fue de 1:1.15 realizando una separación de taladros por descripción geológica de detritus y rediseños de espaciamiento, producto de la modificación de mallas de perforación a lo largo de las múltiples pruebas experimentales. Por su parte Mertuszka, Cenian, Kramarczyk y Pytel (2018), realizaron un artículo en Polonia, donde los resultados de estudios que investigan la influencia del diámetro de una carga explosiva de emulsión a granel en la velocidad de detonación, utilizando un registrador de datos / VOD MicroTrap™ fabricado por MREL, Canadá. Las

pruebas subterráneas se desarrollaron en la mina de cobre “Polkowice-Sieroszowice” en Polonia.

En cuanto a los antecedentes nacionales Macedo (2020), concluyó en su investigación, que se observa una leve mejoría en términos de emisión de gases nitrosos post voladura en zonas de Taco y mineral y se obtuvo un incremento del 3.4% en el VOD, por lo cual se mejora la presión de detonación de la mezcla y se espera obtener mejora en la fragmentación. Zabala (2017), por su parte encontró un ahorro que tuvo un impacto positivo en la carga lineal (kg/m), el factor de potencia (kg/ton), consumo de nitrato de amonio y la baja generación de humos naranjas, para lo cual se llevaron a cabo cinco disparos primarios, usando las mezclas convencionales y mezclas gasificadas, los resultados serán agrupados en tablas para comparar sus resultados y demostrar el monto de ahorro (\$/tal).

Los trabajos de investigación realizados a nivel local se tienen Llacma (2017), que concluye en su investigación que, mediante el uso de la emulsión gasificada en la mezcla explosiva, se obtuvieron mejores resultados en términos de fragmentación y uniformidad, el P80 disminuyó en un 7,1% comparado con los resultados de los análisis realizados en proyectos disparado con Heavy ANFO. Además, en proporción directa a la mejora de fragmentación, también se optimizó la velocidad de minado de los equipos de carguío en un 10%.

Escriba (2018), concluyó que, en lo económico, la eliminación del costo de fabricación del ANFO y el menor costo por tonelada de la emulsión gasificable, se obtuvo una reducción del 3.11% del costo por tonelada fragmentada. Post-voladura no se obtuvo presencia de gases nitrosos, debido a la no utilización de ANFO y el buen balance de oxígeno que se genera.

## CONCLUSIONES

1. El sistema actual de carguío de taladros que es utilizado, es una mezcla explosiva de Fortis Mex 60, con una altura de taco final de 5 m, 5.5 m y 6 m. El costo de la mezcla explosiva varía según tipo de taco de 5 m, el costo del explosivo (\$/Tal), es de \$ 204.73, con Taco de 5.5 m, el costos del explosivo (\$/Tal) es de \$ 187.67 y con Taco de 6 m el costos del explosivo (\$/Tal) es de \$ 170.61; no pudiendo reducir los costos.
2. Para realizar las pruebas, se utilizaron diferentes tipos de emulsión gasificadas como: Fortis Mex 60, Fortis Advantage 60 1.1gr/cc, Fortis Advantage 70 1.1gr/cc, Fortis Advantage 70 1.05gr/cc, Fortis Advantage 100 1.1gr/cc, Fortis Advantage 100 1.05gr/cc, Fortis Advantage 100 1.0gr/cc. Las cuales se compararon con el carguío de taladros actual en voladura; obteniendo como resultado que los costos de estos varían según la altura de taco y por la reducción en el uso de emulsión debido a la gasificación mostrando positivamente la reducción de costos.
3. Al analizar el ahorro e implementar el uso de emulsión gasificada en voladura en una mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn, se encontró que el taco de 6m utilizando Fortis Advantage 100 1.0gr/cc. Se obtiene un ahorro del 11.0% al compararlo con el carguío actual. (significando de esta manera que podríamos proyectar la reducción de costos en un ahorro mensual y anual. Por ejemplo, una mina donde se realicen 4,000 mil taladros al mes multiplicado por el ahorro de \$18.70 (Fortis Advantage 100 1.0gr/cc), nos daría un ahorro de \$ 74,800 dólares al mes y \$ 897,600 dólares al año). Además de obtener beneficios asociados a su uso como la reducción de gases, entre otros.

## RECOMENDACIONES

1. Revisar los carguíos de taladros, a fin de que la empresa pueda implementar la propuesta para el uso de emulsión gasificada en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn para reducir los costos de voladura, ya que al comparar los resultados obtenidos, se encuentra que en las emulsiones gasificadas se obtienen mayores beneficios.
2. Es necesario analizar a profundidad los diferentes tipos de carguío y emulsiones que se usan en voladura, a fin de poder diferenciar de una manera adecuada cuales serían las necesidades de la mina, para tener una mejor productividad y rentabilidad en el desarrollo de sus actividades mejorando la reducción de los costos en el área de voladura.
3. Al analizar el ahorro y al implementar el uso de emulsión gasificada en la voladura de una mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn, se pudo determinar que los taladros con un taco de 6 m de altura y utilizando Fortis Advantage 100 1.0gr/cc. se obtiene un ahorro de \$18.70, significando el 11.0%, al compararlo con el Carguío actual de taladros; Por lo que se recomienda el uso de la emulsión gasificada en el carguío de taladros para la voladura en yacimientos tipo Skarn.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACARO, T. Evaluación técnica del uso de la emulsión gasificada para la optimización del proceso de voladura de rocas en la mina Santa Clotilde 7- Chongoyape. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Chiclayo: Universidad César Vallejo. 2020. 106 pp. [fecha de consulta: 19 de febrero de 2021]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43283/Acaro\\_YTY.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43283/Acaro_YTY.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ARIAS, F. El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica. 6ta edición. Caracas: Editorial Episteme. 2012. 137 pp. ISBN: 980-07-8529-9
- ALCALDE, J. Emulsión gasificada en reemplazo de heavy anfo para reducir el P80 en la fragmentación e incrementar la productividad en carguío, acarreo y chancado en mina Shougang Hierro Perú. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. 2019. 128 pp. [fecha de consulta: 19 de enero de 2021]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15735>
- ALCÁZAR, P. Optimización del proceso de voladura implementando emulsión gasificable en mina de hierro. Tacna. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. 2017. 166 pp. [fecha de consulta: 22 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2492>
- BEHAR, D. Metodología de la Investigación. 1era edición. Bogotá: Editorial Shalom. 2008. 94 pp. ISBN: 978-959-212-783-7
- BERAUN, K. Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336-Sociedad Minera El Brocal Colquijirca. Huancayo, Perú: Universidad Continental, 2019. 127 pp. [fecha de consulta: 18 de enero de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7112>
- BERTO, A. Análisis del uso de emulsión gasificable SAN-G APU para optimizar la fragmentación de voladuras primarias - Compañía Minera Antamina S.A. -Huaraz. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cusco, Perú: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. 2019. 166 pp. [fecha de consulta: 25 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4608>
- CHALLA, D. Alternativa de variación de HEAVY ANFO a emulsión gasificada para mejorar los costos, parámetros técnicos y medio ambientales de voladura en mina Cuajone Southern Perú. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa, Perú: Universidad

- Nacional de San Agustín de Arequipa. 2014. 184 pp. [Fecha de consulta: 17 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3847>
- CHUGÁ, A. Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la Mina Cuajone – Southern Perú. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. 2017. 148 pp. [Fecha de consulta: 23 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3847>
- COOPERACIÓN. Caso “Las Bambas” Informe Especial. Perú: s.n. 2015. 21 pp. [en línea]. [fecha de consulta: 23 de enero de 2021]. Disponible en: <https://cooperacion.org.pe/publicaciones/2114/>
- ESCRIBA, E. Utilización de emulsión gasificable en voladura para optimizar factores ambientales, técnicos y económicos en minería a tajo abierto. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa - Lima: Universidad San Agustín de Arequipa. 2018. 109 pp. [fecha de consulta: 21 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7317/Mleschejs.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., Y BAPTISTA, M. Metodología de la Investigación. 6ta. México: Editorial Mcgraw-Hill. 2014. 634 pp. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- INTERNATIONAL SOCIETY OF EXPLOSIVES ENGINEERS. Manual del especialista en voladura. 2014. 10 pp. Lima, Perú: Sigdo. [en línea]. [fecha de consulta: 21 de enero de 2021]. Disponible en: <https://dl-manual.com/doc/p1-manual-del-especialista-en-voladurapdf-7o9pep45q1vk>
- CALVIN J. KONYA, ENRIQUE ALBARRAN N. Diseño de Voladuras. Ediciones cautil, México 1998, 253 pp.
- LLACMA, O. Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. 2017. 100 pp. [fecha de consulta: 21 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2988>
- MACEDO, R. Empleo de emulsión gasificada SAN-G APU para mejorar la fragmentación en la fase 8 de la mina Antamina año 2018. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huaraz, Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 2020. 109 pp. [fecha de consulta: 29 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4263>
- MAMANI, E. Aplicación de emulsión gasificada (SAN-G) y su factibilidad en el rendimiento de columna explosiva de la compañía minera “La Zanja” Cajamarca 2014. Tesis

- (Titulo de Ingeniero de Minas). Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. 2018. 160 pp. [fecha de consulta: 18 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3197>.
- MEDINA, R. (2014). Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuajone – Southern Perú. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. 2014. 145 pp. [fecha de consulta: 18 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1273>
- MERTUSZKA, P., CENIAN, B., KRAMARCZYK, B., PYTEL, W. (2018). Influence of Explosive Charge Diameter on the Detonation Velocity Based on Emulinit 7L and 8L Bulk Emulsion Explosives. Polonia: Central European Journal of Energetic Materials. Vol. 15, no. 2. 2018. [en línea]. [fecha de consulta: 18 de enero de 2021]. Disponible en: <http://www.wydawnictwa.ipo.waw.pl/cejem/Vol-16-Number-2-2018/Mertuszka.pdf>
- QUISPE, J. Evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada en la voladura de rocas de la minera Las Bambas – Cotabambas, Apurímac. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Cusco, Perú: Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco. 2018. 178 pp. [fecha de consulta: 18 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/3684>
- TAMAYO, M. El proceso de la Investigación Científica. 4ta. México: LIMUSA. ISBN 9681858727. 2005. 440 pp.
- VILELA, W. Análisis de factibilidad para el uso de ANFO pesado a base de emulsión gasificable en minera Yanacocha. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. 2014. 83 pp. [fecha de consulta: 18 de enero de 2021]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5950>
- ZABALA, K. Empleo de agente de voladura gasificado para minimizar costos de voladura en la Compañía Minera Antamina S.A. - Año 2017. Tesis (Titulo de Ingeniería de Minas). Huaraz, Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 2017. 127 pp. [fecha de consulta: 88 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2384>
- ZARZAS C. Métodos y Pensamientos Crítico. México: Grupo Editorial Patria. ISBN 6077442577, 2015. 200 pp.
- ZUÑIGA, C. Estudio geológico y perforación diamantina del SKARN DISTAL ACEJAR, Distrito San Antonio de Rondoní, Provincia de Ambo, Departamento de Huánuco.

Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2017. 193 pp. [fecha de consulta: 88 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2541>

## **ANEXOS**

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Independiente:</b> Tipo de emulsión
¿El uso de emulsiones en el carguío de taladros en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn influye en los costos de voladura?	Establecer una propuesta para implementar el uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn para reducir los costos de voladura.	El uso de emulsión gasificada en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn si influye en los costos en voladura.	
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Especifica</b>	
¿Con el método actual de carguío de taladros empleado en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn se podrán reducir los costos de voladura?	Identificar el método actual de carguío de taladros empleado en una mina a tajo abierto con yacimiento tipo Skarn.	Con el método actual de carguío de taladros no es factible reducir los costos en voladura.	<b>Variable dependiente:</b> Costo de Voladura
¿Utilizando otros métodos de emulsión gasificada en el carguío de taladros en la mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn, influirán en los costos de voladura?	Evaluar la emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn.	El uso de la emulsión gasificada en el carguío de taladros influye positivamente en los costos de voladura.	
¿Cuál será el beneficio al implementar el uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn?	Analizar los resultados del uso de emulsión gasificada en el carguío de taladros en una mina de tajo abierto con yacimiento tipo Skarn.	La aplicación de emulsión gasificada aportará varios beneficios en las operaciones de voladura, siendo más resaltante la reducción de costos en la voladura.	

## Anexo 2.

### Ficha de recolección – Carguío actual

Mezcla Explosiva	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Taco Inicial (m)	Esponjamiento (m)	Taco Final (m)	Carga (kg/tal)	Ahorro en Explosivo (kg)	Energía (Mj/kg)	Energía por Taladro (Mj/tal)	Déficit de Energía (Mj/tal)	Porcentaje Déficit de Energía	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro	Altura de Banco (m)	Sobreperforación (m)	B (m)	E (m)	Densidad de Roca (gr/cc)	
Fortis Mex 60																							

### Anexo 3.

#### Ficha de recolección – Emulsión gasificada - Fortis Advantage 60 1.1gr/cc

Mezcla Explosiva	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Tac o Inicial (m)	Esponjam iento (m)	Ta co Final (m)	Car ga (kg/tal)	Ahorr o en Explorativo (kg)	Ener gía (Mj/kg)	Ener gía por Tala dro (Mj/tal)	Déficit de Ener gía (Mj/tal)	Porcen taje Déficit de Ener gía	Preci o Produ cto (\$/ton)	Costo s de Explorativo (\$)	Aho rro (\$/tal)	Porcen taje de Ahorro	Altu ra de Ban co (m)	Sobreperfo ración (m)	B (m)	E (m)	Densi dad de Roca (gr/cc)	
Fortis Advantage 60 1.1gr/cc																							

#### Anexo 4.

#### Ficha de recolección – Emulsión gasificada - Fortis Advantage 70 1.1gr/cc

Mezcla Explosiva	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Tac o Inicial (m)	Esponjam iento (m)	Ta co Final (m)	Car ga (kg/tal)	Ahorr o en Explorativo (kg)	Ener gía (Mj/kg)	Ener gía por Taladro (Mj/tal)	Déficit de Ener gía (Mj/tal)	Porcen taje Déficit de Ener gía	Preci o Produ cto (\$/ton)	Costo s de Explorativo (\$)	Aho rro (\$/tal)	Porcen taje de Ahorro	Altu ra de Banco (m)	Sobreperforación (m)	B (m)	E (m)	Densi dad de Roca (gr/cc)	
Fortis Advantage 70 1.1gr/cc																							

### Anexo 5.

#### Ficha de recolección – Emulsión gasificada - Fortis Advantage 70 1.05gr/cc

Mezcla Explosiva	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Taco Inicial (m)	Esponjamiento (m)	Taco Final (m)	Carga (kg/tal)	Ahorro en Explosivo (kg)	Energía (Mj/kg)	Energía por Taladro (Mj/tal)	Déficit de Energía (Mj/tal)	Porcentaje Déficit de Energía	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro	Altura de Banco (m)	Sobreperforación (m)	B (m)	E (m)	Densidad de Roca (gr/cc)	
Fortis Advantage 70 1.1gr/cc																							

### Anexo 6.

#### Ficha de recolección – Emulsión gasificada - Fortis Advantage 100 1.1gr/cc

Mezcla Explosiva	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección de Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Tacómetro Inicial (m)	Esponjamiento (m)	Tacómetro Final (m)	Carga (kg/tal)	Ahorro en Explosivo (kg)	Energía (Mj/kg)	Energía por Taladro (Mj/tal)	Déficit de Energía (Mj/tal)	Porcentaje Déficit de Energía	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro	Altura de Banco (m)	Sobreperforación (m)	B (m)	E (m)	Densidad de Roca (gr/cc)	
Fortis Advantage 100 1.1gr/cc																							

### Anexo 7.

#### Ficha de recolección – Emulsión gasificada - Fortis Advantage 100 1.05gr/cc

Mezcla Explosiva	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Taco Inicial (m)	Esponjamiento (m)	Taco Final (m)	Carga (kg/tal)	Ahorro en Explosivo (kg)	Energía (Mj/kg)	Energía por Tala dro (Mj/tal)	Déficit de Energía (Mj/tal)	Porcentaje Déficit de Energía	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro	Altura de Banco (m)	Sobreperforación (m)	B (m)	E (m)	Densidad de Roca (gr/cc)	
Fortis Advantage 100 1.05gr/cc																							

### Anexo 8.

### Ficha de recolección – Emulsión gasificada - Fortis Advantage 100 1.0gr/cc

V	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Taco Inicial (m)	Esponjamiento (m)	Taco Final (m)	Carga (kg/tal)	Ahorro en Explosivo (kg)	Energía (Mj/kg)	Energía por Taladro (Mj/tal)	Déficit de Energía (Mj/tal)	Porcentaje Déficit de Energía	Precio Producto (\$/ton)	Costos de Explosivo (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro	Altura de Banco (m)	Sobreperforación (m)	B (m)	E (m)	Densidad de Roca (gr/cc)	
Fortis Advantage 100 1.0gr/cc																							

**Anexo 9:**  
**Cuadro con taco de Taco 5.0 M**

Tipo de Material	Dirección de Carga	Mezcla Explosiva	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección a Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Tecn Inicial (m)	Expansión (m)	Tecn Final (m)	Carga (kg/tal)	Ahorro en Explosivos (kg)	Energía (Mj/kg)	Energía por Taladro (Mj/tal)	Déficit de Energía (Mj/tal)	Porcentaje Déficit de Energía	Precin Producta (\$/ton)	Costo de Explosivos (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro	Altura de Banca (m)	Subaprovechamiento (m)	
Mineral	Garificada	Carga Tradicional	Fartir Max 60	1.310	-	1.0	5.00	-	5.00	368.60	-	3.01	1170	-		526.83	204.73	-	-	10	1	
		Fartir Advantage 60 1.1gr/cc	1.100	1.310	0.260%	1.0	5.70	0.70	5.00	343.26	45	3.06	1050	119	10.2%	574.83	197.32	7.41	3.6%	10	1	
						2.0	5.60	0.60	5.00	343.74	39	3.06	1070	99	8.5%	574.83	201.04	3.69	1.8%	10	1	
						3.0	5.60	0.60	5.00	343.74	39	3.06	1070	99	8.5%	574.83	201.04	3.69	1.8%	10	1	
						4.0	5.50	0.50	5.00	356.22	32	3.06	1090	80	6.8%	574.83	204.76	-0.04	0.0%	10	1	
						5.0 mdr	5.50	0.50	5.00	356.22	32	3.06	1090	80	6.8%	574.83	204.76	-0.04	0.0%	10	1	
		Fartir Advantage 70 1.1gr/cc	1.100	1.320	0.260%	1.0	5.70	0.70	5.00	345.89	43	3.02	1045	125	10.7%	570.93	197.48	7.25	3.5%	10	1	
						2.0	5.60	0.60	5.00	352.41	36	3.02	1064	105	9.0%	570.93	201.20	3.52	1.7%	10	1	
						3.0	5.60	0.60	5.00	352.41	36	3.02	1064	105	9.0%	570.93	201.20	3.52	1.7%	10	1	
						4.0	5.50	0.50	5.00	358.94	30	3.02	1084	86	7.3%	570.93	204.93	-0.20	-0.1%	10	1	
						5.0 mdr	5.50	0.50	5.00	358.94	30	3.02	1084	86	7.3%	570.93	204.93	-0.20	-0.1%	10	1	
		Fartir Advantage 70 1.05gr/cc	1.050	1.320	0.329%	1.0	5.80	0.80	5.00	339.36	49	3.02	1025	145	12.4%	570.93	193.75	10.98	5.4%	10	1	
						2.0	5.80	0.80	5.00	339.36	49	3.02	1025	145	12.4%	570.93	193.75	10.98	5.4%	10	1	
						3.0	5.70	0.70	5.00	345.89	43	3.02	1045	125	10.7%	570.93	197.48	7.25	3.5%	10	1	
						4.0	5.70	0.70	5.00	345.89	43	3.02	1045	125	10.7%	570.93	197.48	7.25	3.5%	10	1	
						5.0 mdr	5.60	0.60	5.00	352.41	36	3.02	1064	105	9.0%	570.93	201.20	3.52	1.7%	10	1	
		Fartir Advantage 100 1.1gr/cc	1.100	1.340	0.260%	1.0	5.70	0.70	5.00	351.13	37	2.54	892	278	23.8%	559.24	196.36	8.36	4.1%	10	1	
						2.0	5.60	0.60	5.00	357.75	31	2.54	909	261	22.3%	559.24	200.07	4.66	2.3%	10	1	
						3.0	5.60	0.60	5.00	357.75	31	2.54	909	261	22.3%	559.24	200.07	4.66	2.3%	10	1	
						4.0	5.50	0.50	5.00	364.38	24	2.54	926	244	20.9%	559.24	203.77	0.95	0.5%	10	1	
						5.0 mdr	5.50	0.50	5.00	364.38	24	2.54	926	244	20.9%	559.24	203.77	0.95	0.5%	10	1	
		Fartir Advantage 100 1.05gr/cc	1.050	1.340	0.329%	1.0	5.90	0.90	5.00	337.88	51	2.54	858	311	26.6%	559.24	188.95	15.77	7.7%	10	1	
						2.0	5.80	0.80	5.00	344.50	44	2.54	875	295	25.2%	559.24	192.66	12.07	5.9%	10	1	
						3.0	5.70	0.70	5.00	351.13	37	2.54	892	278	23.8%	559.24	196.36	8.36	4.1%	10	1	
						4.0	5.70	0.70	5.00	351.13	37	2.54	892	278	23.8%	559.24	196.36	8.36	4.1%	10	1	
						5.0 mdr	5.60	0.60	5.00	357.75	31	2.54	909	261	22.3%	559.24	200.07	4.66	2.3%	10	1	
		Fartir Advantage 100 1.0gr/cc	1.000	1.340	0.405%	1.0	6.00	1.00	5.00	331.25	57	2.54	841	328	28.1%	559.24	185.25	19.48	9.5%	10	1	
						2.0	6.00	1.00	5.00	331.25	57	2.54	841	328	28.1%	559.24	185.25	19.48	9.5%	10	1	
						3.0	5.90	0.90	5.00	337.88	51	2.54	858	311	26.6%	559.24	188.95	15.77	7.7%	10	1	
						4.0	5.80	0.80	5.00	344.50	44	2.54	875	295	25.2%	559.24	192.66	12.07	5.9%	10	1	
						5.0 mdr	5.70	0.70	5.00	351.13	37	2.54	892	278	23.8%	559.24	196.36	8.36	4.1%	10	1	
		Fartir Max 20				0.80			0.5	5.00	0.00	5.00	261.05	128	3.57	932	238	20.3%	559.24	145.99	58.74	28.7%
1.00							0.5	5.00	0.00	5.00	296.64	92	3.45	1023	146	12.5%	559.24	165.89	38.83	19.0%	10	1
1.17							0.5	5.00	0.00	5.00	347.07	42	3.33	1156	14	1.2%	559.24	194.10	10.63	5.2%	10	1
1.27							0.5	5.00	0.00	5.00	376.74	12	3.25	1224	-55	-4.7%	559.24	210.69	-5.96	-2.9%	10	1
1.27							0.5	5.00	0.00	5.00	376.74	12	3.20	1206	-36	-3.1%	559.24	210.69	-5.96	-2.9%	10	1

**Anexo 10:**  
**Cuadro con taco de Taco 5.5 M**

Tipo de Material	Diseño de Carga	Mezcla Explosiva	Densidad Final (gr/cc)	Densidad Inicial (gr/cc)	% de Inyección de Nitrato de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Tecn Inicial (m)	Expansión (m)	Tecn Final (m)	Carga (kg/tal)	Ahorro en Explosivos (kg)	Energía (Mj/kg)	Energía por Taladro (Mj/tal)	Déficit de Energía (Mj/tal)	Porcentaje Déficit de Energía	Pracin Productiva (\$/ton)	Costo de Explosivos (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro	Altura de Banco (m)	Subexposición (m)	
Mineral	Garifonica	Carquin Tradicional	Fartin Mex 60	1.310	-	1.0	5.50	-	5.50	356.22	-	3.01	1072	-		526.83	187.67	-	-	10	1	
		Fartin Advantage 60 1.1gr/cc	1.100	1.310	0.260%	1.0	6.10	0.60	5.50	317.36	39	3.06	971	101	3.4%	574.83	182.43	5.24	2.8%	10	1	
						2.0	6.00	0.50	5.50	323.83	32	3.06	991	81	7.6%	574.83	186.15	1.52	0.8%	10	1	
						3.0	6.00	0.50	5.50	323.83	32	3.06	991	81	7.6%	574.83	186.15	1.52	0.8%	10	1	
						4.0	5.90	0.40	5.50	330.31	26	3.06	1011	61	5.7%	574.83	189.87	-2.21	-1.2%	10	1	
						5.0 amár	5.90	0.40	5.50	330.31	26	3.06	1011	61	5.7%	574.83	189.87	-2.21	-1.2%	10	1	
		Fartin Advantage 70 1.1gr/cc	1.100	1.320	0.260%	1.0	6.10	0.60	5.50	319.78	36	3.02	966	106	3.3%	570.93	182.57	5.09	2.7%	10	1	
						2.0	6.00	0.50	5.50	326.31	30	3.02	985	87	8.1%	570.93	186.30	1.37	0.7%	10	1	
						3.0	6.00	0.50	5.50	326.31	30	3.02	985	87	8.1%	570.93	186.30	1.37	0.7%	10	1	
						4.0	5.90	0.40	5.50	332.83	23	3.02	1005	67	6.3%	570.93	190.02	-2.36	-1.3%	10	1	
		Fartin Advantage 70 1.05gr/cc	1.050	1.320	0.329%	1.0	6.20	0.70	5.50	313.25	43	3.02	946	126	11.8%	570.93	178.85	8.82	4.7%	10	1	
						2.0	6.20	0.70	5.50	313.25	43	3.02	946	126	11.8%	570.93	178.85	8.82	4.7%	10	1	
						3.0	6.10	0.60	5.50	319.78	36	3.02	966	106	9.3%	570.93	182.57	5.09	2.7%	10	1	
						4.0	6.10	0.60	5.50	319.78	36	3.02	966	106	9.3%	570.93	182.57	5.09	2.7%	10	1	
		Fartin Advantage 100 1.1gr/cc	1.100	1.340	0.260%	1.0	6.10	0.60	5.50	324.63	32	2.54	825	248	23.1%	559.24	181.54	6.12	3.3%	10	1	
						2.0	6.00	0.50	5.50	331.25	25	2.54	841	231	21.5%	559.24	185.25	2.42	1.3%	10	1	
						3.0	6.00	0.50	5.50	331.25	25	2.54	841	231	21.5%	559.24	185.25	2.42	1.3%	10	1	
						4.0	5.90	0.40	5.50	337.88	18	2.54	858	214	20.0%	559.24	188.95	-1.29	-0.7%	10	1	
						5.0 amár	5.90	0.40	5.50	337.88	18	2.54	858	214	20.0%	559.24	188.95	-1.29	-0.7%	10	1	
		Fartin Advantage 100 1.05gr/cc	1.050	1.340	0.329%	1.0	6.30	0.80	5.50	311.38	45	2.54	791	281	26.2%	559.24	174.13	13.53	7.2%	10	1	
						2.0	6.20	0.70	5.50	318.00	38	2.54	808	264	24.7%	559.24	177.84	9.83	5.2%	10	1	
						3.0	6.10	0.60	5.50	324.63	32	2.54	825	248	23.1%	559.24	181.54	6.12	3.3%	10	1	
						4.0	6.10	0.60	5.50	324.63	32	2.54	825	248	23.1%	559.24	181.54	6.12	3.3%	10	1	
						5.0 amár	6.10	0.60	5.50	324.63	32	2.54	825	248	23.1%	559.24	181.54	6.12	3.3%	10	1	
		Fartin Advantage 100 1.0gr/cc	1.000	1.340	0.405%	1.0	6.40	0.90	5.50	304.75	51	2.54	774	298	27.8%	559.24	170.43	17.24	9.2%	10	1	
						2.0	6.40	0.90	5.50	304.75	51	2.54	774	298	27.8%	559.24	170.43	17.24	9.2%	10	1	
						3.0	6.30	0.80	5.50	311.38	45	2.54	791	281	26.2%	559.24	174.13	13.53	7.2%	10	1	
						4.0	6.20	0.70	5.50	318.00	38	2.54	808	264	24.7%	559.24	177.84	9.83	5.2%	10	1	
						5.0 amár	6.20	0.70	5.50	318.00	38	2.54	808	264	24.7%	559.24	177.84	9.83	5.2%	10	1	
		Fartin Mex 20			0.88	-	0.5	5.50	0.00	5.50	239.29	117	3.57	854	218	20.3%	850.00	203.40	-15.73	-8.4%	10	1
		Fartin Mex 30			1.00		0.5	5.50	0.00	5.50	271.92	84	3.45	938	134	12.5%	850.00	231.13	-43.47	-23.2%	10	1
		Fartin Mex 40			1.17		0.5	5.50	0.00	5.50	318.15	38	3.33	1059	13	1.2%	850.00	270.43	-82.76	-44.1%	10	1
Fartin Mex 45			1.27	0.5	5.50		0.00	5.50	345.34	11	3.25	1122	-50	-4.7%	850.00	293.54	-105.87	-56.4%	10	1		
Fartin Mex 50			1.27	0.5	5.50		0.00	5.50	345.34	11	3.20	1105	-33	-3.1%	850.00	293.54	-105.87	-56.4%	10	1		

### Anexo 11: Cuadro con taco de Taco 6.0 M

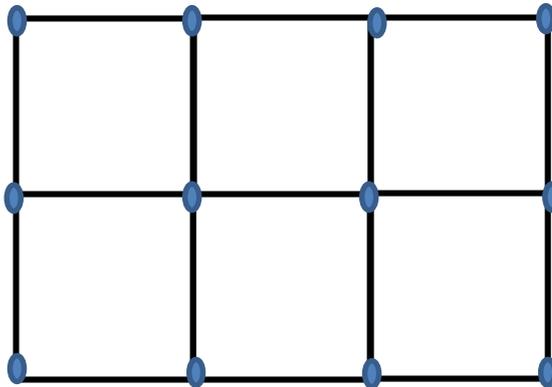
Tipo de Material	Dirección de Carque	Mezcla Explosiva	Densidad Final (qr/cc)	Densidad Inicial (qr/cc)	% de Inyección de Nitrito de Sodio al 10%	Altura de Agua (m)	Tecn Inicial (m)	Expn amian tu (m)	Tecn Final (m)	Carque (kg/tal)	Ahorro en Explosivos (kg)	Energía (Mj/ft)	Energía por Taladro (Mj/ftal)	Déficit de Energía (Mj/ftal)	Porcentaje Déficit de Energía	Presión Producta (\$/ton)	Costo de Explosivos (\$)	Ahorro (\$/tal)	Porcentaje de Ahorro	Altura de Banco (m)	Subaprovechamiento (m)
Mineral	Carque Tradicional	Fartir Mex 60	1.310	1.310	-	1.0	6.00	-	6.00	323.83	-	3.01	975	-		526.83	170.61	-	-	10	1
	Garificada	Fartir Advantage 60 1.1qr/cc	1.100	1.310	0.260%	1.0	6.60	0.60	6.00	284.97	33	3.06	872	103	10.5%	574.83	163.81	6.79	4.0%	10	1
						2.0	6.50	0.50	6.00	291.45	32	3.06	892	83	8.5%	574.83	167.53	3.07	1.8%	10	1
						3.0	6.50	0.50	6.00	291.45	32	3.06	892	83	8.5%	574.83	167.53	3.07	1.8%	10	1
						4.0	6.40	0.40	6.00	297.93	26	3.06	912	63	6.5%	574.83	171.26	-0.65	-0.4%	10	1
						5.0 amár	6.40	0.40	6.00	297.93	26	3.06	912	63	6.5%	574.83	171.26	-0.65	-0.4%	10	1
		Fartir Advantage 70 1.1qr/cc	1.100	1.320	0.260%	1.0	6.60	0.60	6.00	287.15	37	3.02	867	108	11.0%	570.93	163.94	6.66	3.9%	10	1
						2.0	6.50	0.50	6.00	293.66	30	3.02	887	88	9.0%	570.93	167.67	2.94	1.7%	10	1
						3.0	6.50	0.50	6.00	293.66	30	3.02	887	88	9.0%	570.93	167.67	2.94	1.7%	10	1
						4.0	6.40	0.40	6.00	300.20	24	3.02	907	68	7.0%	570.93	171.40	-0.79	-0.5%	10	1
						5.0 amár	6.40	0.40	6.00	300.20	24	3.02	907	68	7.0%	570.93	171.40	-0.79	-0.5%	10	1
		Fartir Advantage 70 1.05qr/cc	1.050	1.320	0.329%	1.0	6.70	0.70	6.00	280.62	43	3.02	847	127	13.1%	570.93	160.22	10.39	6.1%	10	1
						2.0	6.70	0.70	6.00	280.62	43	3.02	847	127	13.1%	570.93	160.22	10.39	6.1%	10	1
						3.0	6.60	0.60	6.00	287.15	37	3.02	867	108	11.0%	570.93	163.94	6.66	3.9%	10	1
						4.0	6.60	0.60	6.00	287.15	37	3.02	867	108	11.0%	570.93	163.94	6.66	3.9%	10	1
						5.0 amár	6.50	0.50	6.00	293.66	30	3.02	887	88	9.0%	570.93	167.67	2.94	1.7%	10	1
		Fartir Advantage 100 1.1qr/cc	1.100	1.340	0.260%	1.0	6.60	0.60	6.00	291.50	32	2.54	740	234	24.0%	559.24	163.02	7.59	4.4%	10	1
						2.0	6.50	0.50	6.00	298.13	26	2.54	757	218	22.3%	559.24	166.72	3.88	2.3%	10	1
						3.0	6.50	0.50	6.00	298.13	26	2.54	757	218	22.3%	559.24	166.72	3.88	2.3%	10	1
						4.0	6.40	0.40	6.00	304.75	19	2.54	774	201	20.6%	559.24	170.43	0.18	0.1%	10	1
						5.0 amár	6.40	0.40	6.00	304.75	19	2.54	774	201	20.6%	559.24	170.43	0.18	0.1%	10	1
	Fartir Advantage 100 1.05qr/cc	1.050	1.340	0.329%	1.0	6.80	0.80	6.00	278.25	46	2.54	707	268	27.5%	559.24	155.61	15.00	8.8%	10	1	
					2.0	6.70	0.70	6.00	284.88	39	2.54	724	251	25.8%	559.24	159.31	11.29	6.6%	10	1	
					3.0	6.60	0.60	6.00	291.50	32	2.54	740	234	24.0%	559.24	163.02	7.59	4.4%	10	1	
					4.0	6.60	0.60	6.00	291.50	32	2.54	740	234	24.0%	559.24	163.02	7.59	4.4%	10	1	
					5.0 amár	6.50	0.50	6.00	298.13	26	2.54	757	218	22.3%	559.24	166.72	3.88	2.3%	10	1	
	Fartir Advantage 100 1.0qr/cc	1.000	1.340	0.405%	1.0	6.90	0.90	6.00	271.63	52	2.54	690	285	29.2%	559.24	151.90	18.70	11.0%	10	1	
					2.0	6.90	0.90	6.00	271.63	52	2.54	690	285	29.2%	559.24	151.90	18.70	11.0%	10	1	
					3.0	6.80	0.80	6.00	278.25	46	2.54	707	268	27.5%	559.24	155.61	15.00	8.8%	10	1	
					4.0	6.70	0.70	6.00	284.88	39	2.54	724	251	25.8%	559.24	159.31	11.29	6.6%	10	1	
					5.0 amár	6.70	0.70	6.00	284.88	39	2.54	724	251	25.8%	559.24	159.31	11.29	6.6%	10	1	
	Fartan Mex 20			0.88	-	0.5	6.00	0.00	6.00	217.54	106	3.57	777	198						10	1
Fartan Mex 30		1.00	0.5	6.00		0.00	6.00	247.20	77	3.45	853	122						10	1		
Fartan Mex 40		1.17	0.5	6.00		0.00	6.00	289.23	35	3.33	963	12						10	1		
Fartan Mex 45		1.27	0.5	6.00		0.00	6.00	313.95	10	3.25	1020	-46						10	1		
Fartan Mex 50		1.27	0.5	6.00		0.00	6.00	313.95	10	3.20	1005	-30						10	1		

## ANEXO 12: MALLAS DE PERFORACION

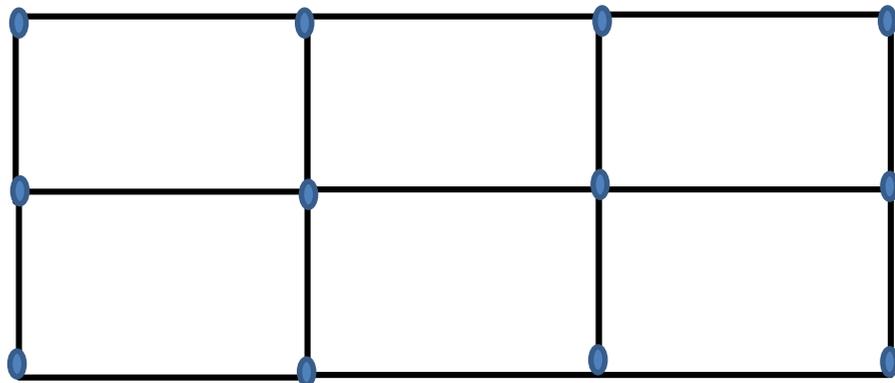
### DISEÑO DE MALLAS DE PERFORACION

Los diseños de las mallas de perforación se desarrollan dependiendo de la naturaleza y de las propiedades del macizo rocoso y las características de la máquina perforadora el diseño de malla de perforación y la distribución de la carga explosiva de los taladros y el orden de detonación se tiene diversas alternativas y ciertos casos suelen ser demasiado complejos; siendo las más usadas en la minería superficial las siguientes:

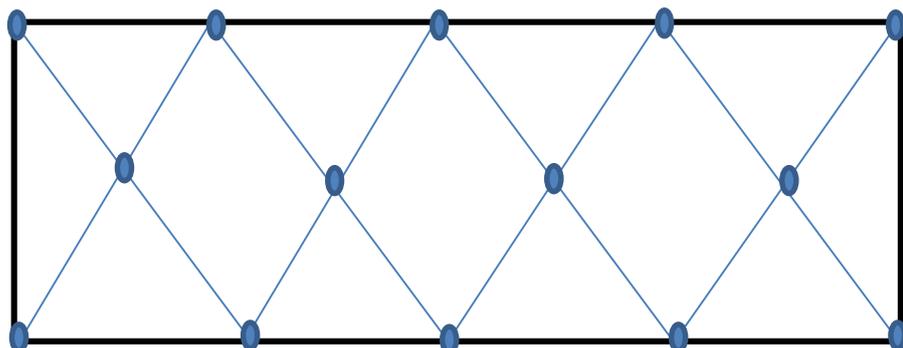
1. CUADRADO: Donde el BURDEN y el ESPACIAMIENTO tienen la misma medida.



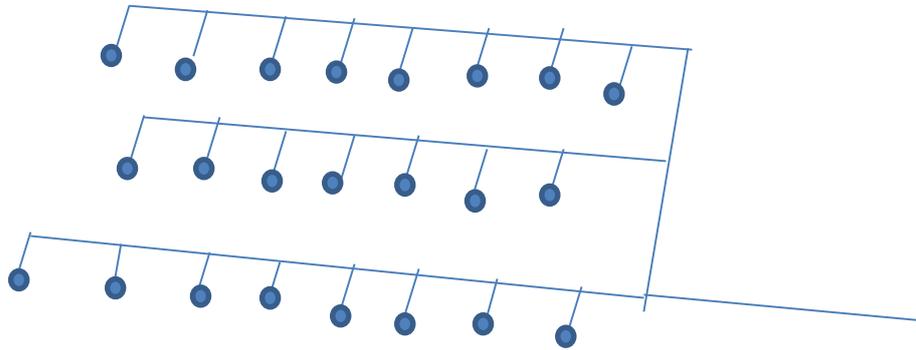
2. RECTANGULAR: Cuando el ESPACIAMIENTO es el doble del BURDEN.



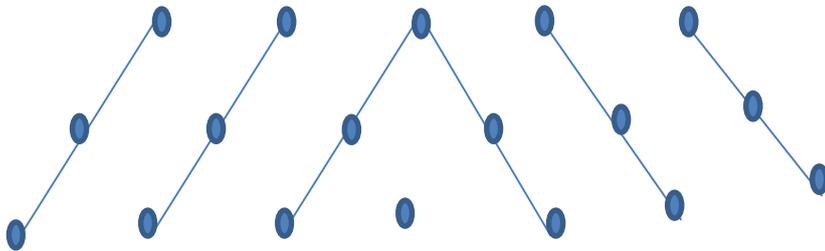
3. TRIANGULAR ( TRESBOLILLO): Donde el ESPACIAMIENTO es la mitad del BURDEN



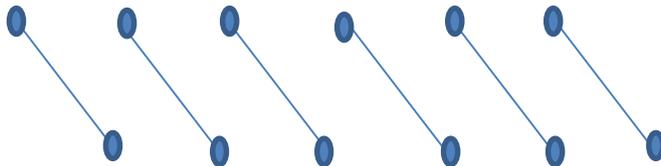
4 POR FILAS: Salidas por tajadas horizontales.



5 EN "V": Salidas en cuña.



6 ECHELON: Salidas por tajadas en diagonal.



## ANEXO 13: MUESTRA DEL BANCO

### BANCO MUESTRA

La muestra que se ha utilizado está en un banco de 104 metros de largo, 70 metros de ancho, 10 metros de altura, de material estéril como prueba para el uso de emulsión gasificada y por las condiciones que presentaba las características del terreno; Asimismo se hace referencia que en mina Pucamarca se realizan pruebas en bancos de 8 a 10 metros.



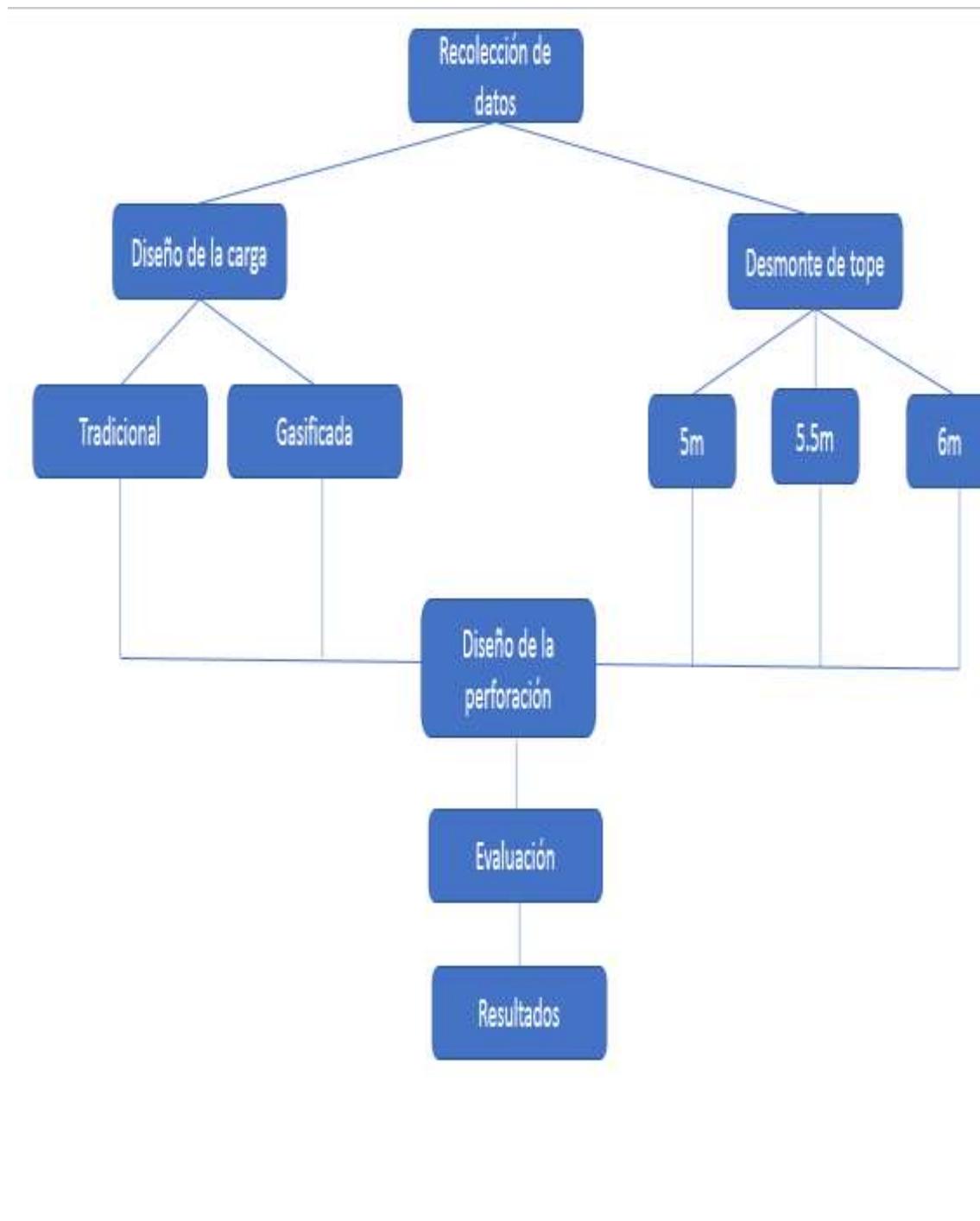
## ANEXO 14: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE EMULSION GASIFICADA

### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE EMULSION GASIFICADA EN VOLADURA PARA MINERIA SUPERFICIAL.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor resistencia al agua, ya que es confiable en barrenos secos, con agua y húmedos.</li> <li>• El producto asegura exactitud, productividad y confiabilidad en el suministro.</li> <li>• Puede ser cargado a distintas densidades para maximizar la fragmentación, mejorando la productividad de la mina.</li> <li>• La emulsión es bombeable, reduce los derrames y junto a la excelente resistencia al agua, minimiza el percolamiento de nitrato y el resultante impacto medio ambiental.</li> <li>• La gran velocidad de carga y los reducidos gases post voladura al usar, mejora el tiempo de retorno al área de trabajo.</li> <li>• Se elimina la preocupación relacionada con la salud ocupacional por manipulación y almacenamiento de explosivos.</li> <li>• Mejora la fragmentación y la granulometría del material volado.</li> <li>• Ya no se consume petróleo, evitando de esta manera riesgo de incendios.</li> <li>• No produce gases nitrosos en la detonación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo para la capacitación del personal, deberán estar capacitados técnicamente para la manipular la emulsión gasificada.</li> <li>• Puede haber pérdidas a consecuencia de las imperfecciones del terreno.</li> <li>• Sobre la dosificación del nitrato de sodio (N2O) gasificaste, al no estar calibrado el camión fabrica puede inyectar un mayor % de (N2O), lo que generaría una sobre gasificación logrando que la emulsión sea menos densa que lo deseado.</li> <li>• La temperatura juega un papel muy importante ya que a mayor temperatura mayor gasificación.</li> </ul>

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Presenta resistencia al peso de taco.</li><li>• Resistencia a las bajas temperaturas donde la temperatura sea muy baja.</li><li>• Resistencia al fuego no existe riesgo de detonación.</li></ul> |  |
|--|--|

## ANEXO 15: SISTEMA DE RECOLECCION DE DATOS



	Precio_5 m	Costo_5 m	Precio_5 5m	Costo_5 5m	Precio_6 m	Costo_6 m	var	var
1	574,83	197,32	574,83	182,43	574,83	163,81		
2	574,83	201,04	574,83	186,15	574,83	167,53		
3	574,83	201,04	574,83	186,15	574,83	167,53		
4	574,83	204,76	574,83	189,87	574,83	171,26		
5	574,83	204,76	574,83	189,87	574,83	171,26		
6	570,93	197,48	570,93	182,57	570,93	163,94		
7	570,93	201,20	570,93	186,30	570,93	167,67		
8	570,93	201,20	570,93	186,30	570,93	167,67		
9	570,93	204,93	570,93	190,02	570,93	171,40		
10	570,93	204,93	570,93	190,02	570,93	171,40		
11	570,93	193,75	570,93	178,85	570,93	160,22		
12	570,93	193,75	570,93	178,85	570,93	160,22		
13	570,93	197,48	570,93	182,57	570,93	163,94		
14	570,93	197,48	570,93	182,57	570,93	163,94		
15	570,93	201,20	570,93	186,30	570,93	167,67		
16	559,24	196,36	559,24	181,54	559,24	163,02		
17	559,24	200,07	559,24	185,25	559,24	166,72		
18	559,24	200,07	559,24	185,25	559,24	166,72		
19	559,24	203,77	559,24	188,95	559,24	170,43		
20	559,24	203,77	559,24	188,95	559,24	170,43		
21	559,24	188,95	559,24	174,13	559,24	155,61		
22	559,24	192,66	559,24	177,84	559,24	159,31		
23	559,24	196,36	559,24	181,54	559,24	163,02		
24	559,24	196,36	559,24	181,54	559,24	163,02		
25	559,24	200,07	559,24	181,54	559,24	166,72		
26	559,24	185,25	559,24	170,43	559,24	151,90		
27	559,24	185,25	559,24	170,43	559,24	151,90		

1

Vista de datos Vista de variables

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

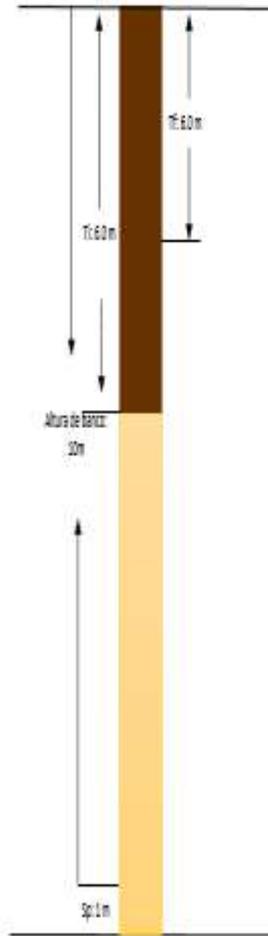
14 :

	✎ Velocidad	✎ Energia	👤 Densidad	👤 Fuerza_p	👤 Fuerza_V	👤 Emision	✎ Diametro
1	4557,40	3,01	1.3100 gr/cc	100 -106	177 - 191	189 - 198	250,00
2	5191,80	3,06	1.1000 gr/cc	120 - 125	171 - 189	190 - 192	89,00
3	5268,40	3,02	1.1000 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160 -162	140,00
4	5354,80	3,02	1.0500 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160-162	140,00
5	5892,20	2,54	1.1000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140,00
6	5837,60	2,54	1.0500 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160-162	140,00
7	5786,50	2,54	1.0000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140,00
8	4557,40	3,01	1.3100 gr/cc	100 -106	177 - 191	189 - 198	250,00
9	5191,80	3,06	1.1000 gr/cc	120 - 125	171 - 189	190 - 192	89,00
10	5268,40	3,02	1.1000 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160 -162	140,00
11	5354,80	3,02	1.0500 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160-162	140,00
12	5892,20	2,54	1.1000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140,00
13	5837,60	2,54	1.0500 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160-162	140,00
14	5786,50	2,54	1.0000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140,00
15	4557,40	3,01	1.3100 gr/cc	100 -106	177 - 191	189 - 198	250,00
16	5191,80	3,06	1.1000 gr/cc	120 - 125	171 - 189	190 - 192	89,00
17	5268,40	3,02	1.1000 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160 -162	140,00
18	5354,80	3,02	1.0500 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160-162	140,00
19	5892,20	2,54	1.1000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140,00
20	5837,60	2,54	1.0500 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160-162	140,00
21	5786,50	2,54	1.0000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140,00
22	4557,40	3,01	1.3100 gr/cc	100 -106	177 - 191	189 - 198	250,00
23	5191,80	3,06	1.1000 gr/cc	120 - 125	171 - 189	190 - 192	89,00
24	5268,40	3,02	1.1000 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160 -162	140,00
25	5354,80	3,02	1.0500 gr/cc	105 - 115	170 - 195	160-162	140,00
26	5892,20	2,54	1.1000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140,00
27	5837,60	2,54	1.0500 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160-162	140,00
28	5786,50	2,54	1.0000 gr/cc	98 - 105	155 - 180	160 -162	140,00

	Altura	Taco	Es pa jam	Taco_f	Carga	A f or	Energia	Deficit_e c	P o c	Preci o	Costo	Ahomo_e	porc entaj e_a	altur a_B	B	Densidad
1	1,00	6,00	-	6,00	323,83	-	3,01	975,00	-		526,83	170,61	-	-	10,00	1,00
2	1,00	6,60	0,60	6,00	284,97	39	3,06	872,00	103	10,5%	574,83	163,81	6,79	4,0%	10,00	1,00
3	2,00	6,50	0,50	6,00	291,45	32	3,06	892,00	83	8,5%	574,83	167,53	3,07	1,8%	10,00	1,00
4	3,00	6,50	0,50	6,00	291,45	32	3,06	892,00	83	8,5%	574,83	167,53	3,07	1,8%	10,00	1,00
5	4,00	6,40	0,40	6,00	297,93	26	3,06	912,00	63	6,5%	574,83	171,26	-0,65	-0,4%	10,00	1,00
6		6,40	0,40	6,00	297,93	26	3,06	912,00	63	6,5%	574,83	171,26	-0,65	-0,4%	10,00	1,00
7	1,00	6,60	0,60	6,00	287,15	37	3,02	867,00	108	11,0%	570,93	163,94	6,66	3,9%	10,00	1,00
8	2,00	6,50	0,50	6,00	293,68	30	3,02	887,00	88	9,0%	570,93	167,67	2,94	1,7%	10,00	1,00
9	3,00	6,50	0,50	6,00	293,68	30	3,02	887,00	88	9,0%	570,93	167,67	2,94	1,7%	10,00	1,00
10	4,00	6,40	0,40	6,00	300,20	24	3,02	907,00	68	7,0%	570,93	171,40	-0,79	-0,5%	10,00	1,00
11		6,40	0,40	6,00	300,20	24	3,02	907,00	68	7,0%	570,93	171,40	-0,79	-0,5%	10,00	1,00
12	1,00	6,70	0,70	6,00	280,62	43	3,02	847,00	127	13,1%	570,93	160,22	10,39	6,1%	10,00	1,00
13	2,00	6,70	0,70	6,00	280,62	43	3,02	847,00	127	13,1%	570,93	160,22	10,39	6,1%	10,00	1,00
14	3,00	6,60	0,60	6,00	287,15	37	3,02	867,00	108	11,0%	570,93	163,94	6,66	3,9%	10,00	1,00
15	4,00	6,60	0,60	6,00	287,15	37	3,02	867,00	108	11,0%	570,93	163,94	6,66	3,9%	10,00	1,00
16		6,50	0,50	6,00	293,68	30	3,02	887,00	88	9,0%	570,93	167,67	2,94	1,7%	10,00	1,00
17	1,00	6,60	0,60	6,00	291,50	32	2,54	740,00	234	24,0%	559,24	163,02	7,59	4,4%	10,00	1,00
18	2,00	6,50	0,50	6,00	298,13	26	2,54	757,00	218	22,3%	559,24	166,72	3,88	2,3%	10,00	1,00
19	3,00	6,50	0,50	6,00	298,13	26	2,54	757,00	218	22,3%	559,24	166,72	3,88	2,3%	10,00	1,00
20	4,00	6,40	0,40	6,00	304,75	19	2,54	774,00	201	20,6%	559,24	170,43	0,18	0,1%	10,00	1,00
21		6,40	0,40	6,00	304,75	19	2,54	774,00	201	20,6%	559,24	170,43	0,18	0,1%	10,00	1,00
22	1,00	6,80	0,80	6,00	278,25	46	2,54	707,00	268	27,5%	559,24	155,61	15,00	8,8%	10,00	1,00
23	2,00	6,70	0,70	6,00	284,88	39	2,54	724,00	251	25,8%	559,24	159,31	11,29	6,6%	10,00	1,00
24	3,00	6,60	0,60	6,00	291,50	32	2,54	740,00	234	24,0%	559,24	163,02	7,59	4,4%	10,00	1,00
25	4,00	6,60	0,60	6,00	291,50	32	2,54	740,00	234	24,0%	559,24	163,02	7,59	4,4%	10,00	1,00
26		6,50	0,50	6,00	298,13	26	2,54	757,00	218	22,3%	559,24	166,72	3,88	2,3%	10,00	1,00

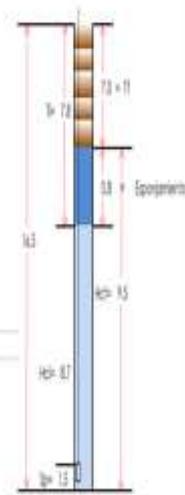
Vista de datos Vista de variables

Diseño de carga	Cargado Tradicional
Mecanismo Explosivo	Poro-Mel 50
Densidad Final (g/cc)	1.31
Densidad Inicial (g/cc)	1.31
% de proyección Nitro de Sodio al 20%	-
Altura de Banco (m)	1
Taco Inicial (m)	5
Equipamiento (m)	-
Taco Final (m)	5
Carga (kg/tal)	388.6
Alomo en Explosivo (kg)	-
Energía (MJ/kg)	3.01
Energía por Taladro (MJ/tal)	1170
Deficit de Energía (MJ/tal)	-
Porcentaje Deficit de Energía	
Precio Producto (\$/ton)	536.65
Costo de Explosivo (\$)	204.75
Alomo (\$/tal)	
Porcentaje de Alomo	-
Altura de Banco (m)	10
Sobrepesadura (m)	1



PARAMETROS	
Densidad H <sub>2</sub> O (g/cm <sup>3</sup> )	1.0
Densidad Taladro (g/cm <sup>3</sup> )	211.2
Altura de Banco (m)	10.0
Sobrepesadura (m)	1.0
Taco Inicial (m)	7.0
Taco Final (m)	7.0
Longitud de carga inicial (m)	0.7
Altura de Banco (m)	1.0
Longitud de carga final (m)	1.0
Porcentaje de Equipamiento (%)	1.42
Estandar (m)	6.5
Equipamiento (m)	7.0
Densidad de roca	2.4
FACTOR DE POTENCIA (KGTON)	1.65

Densidad Líquida (kg/m <sup>3</sup> )	11.4
kg/m <sup>3</sup>	117



Activar Windows  
Ir a Configuración de PC para activar Windows