

**ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CAOLÍN PERTENECIENTE A LA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS, PETRÓLEOS
Y GEOTECNIA DE LA U.T.O.**

Rubén Medinaceli Torrez
r.medinaceli.torrez@gmail.com
Elvys Trujillo Lunario
Jelvyst20@gmail.com

RESUMEN

El caolín es un silicato de aluminio hidratado $Al_2 Si_2 O_5(OH)_4$, producto de la descomposición de rocas feldespáticas principalmente. El término caolín se refiere a arcillas en las que predomina el mineral caolinita; su peso específico es de 2.6; su dureza es 2; de color blanco, puede tener diversos colores debido a las impurezas; brillo generalmente terroso mate; es higroscópico (absorbe agua); su plasticidad es de baja a moderada.

El yacimiento de Caolín sirve académicamente a la Carrera de Ingeniería de Minas para realizar prácticas de docentes y estudiantes en Perforación y voladura, topografía, mecánica de rocas y diseño de explotación a Cielo Abierto.

El objetivo del presente trabajo de investigación se circunscribe a demostrar que la explotación del yacimiento de caolín a cargo de la Carrera de Ingeniería de Minas, Petróleos y Geotecnia es técnicamente factible y económicamente rentable.

El estudio permitió determinar que el yacimiento cuenta con 318.892,14 toneladas de Caolín, el cual será comercializado a un precio en una primera Fase de 20,00 \$us/Tonelada y a un ritmo de explotación de 12,00 Ton/día; en una segunda Fase, se implementará un proceso de tratamiento que permitirá obtener un producto de mayor calidad que podrá comercializarse a un precio de 100,00 U\$us/Tonelada y a un ritmo de explotación de 40,00 Ton/día.

Además, desde el punto de vista económico, el estudio permitió determinar que la utilidad por año será en la primera Fase de 53.886,17 US\$ y en la segunda Fase de 1.03.732,20 US\$. La factibilidad del proyecto está demostrada puesto que el estudio arrojó una razón de Beneficio/Costo de 4,1 en la primera fase y de 21.62 en la segunda fase.

**TECHNICAL AND ECONOMIC STUDY OF KAOLIN DEPOSIT EXPLOITATION BELONGING TO CAREER
ENGINEERING OF MINES, PETROLEUM
And GEOTECNIA OF U.T.O.**

Abstract

Kaolin is a hydrated aluminum silicate $Si_2O_5 Al_2 (OH)_4$, product of the decomposition of feldspathic rocks mainly. The term refers to kaolin clays in predominantly mineral kaolinite; its specific gravity is 2.6; its hardness is 2; white, you may have different colors due to impurities; generally earthy matt gloss; is hygroscopic (absorbs water); its plasticity is low to moderate.

The site serves academically Kaolin Race Mining Engineering practices for teachers and students in Drilling and blasting, topography, rock mechanics and design Opencast.

The objective of this research is confined to demonstrate that the exploitation of the deposit of kaolin in charge of the School of Mining Engineering, Petroleum and Geotechnical is technically feasible and economically profitable.

The study allowed us to determine that the site has tons of Kaolin 318,892.14, which will be marketed at a price in a first phase US \$ 20.00 / ton and operating at a rate of 12.00 tons / day; In a second phase, a treatment process which will obtain a higher quality product that can be marketed at a price of 100.00 U \$ us / Tonne and operating at a rate of 40.00 tons / day will be implemented.

Moreover, from the economic point of view, the study allowed us to determine that the income per year will be in the first phase of US \$ 53,886.17 and the second phase 1.03.732,20 US \$. Project feasibility is demonstrated since the study showed a ratio of benefit / cost of 4.1 in the first round and 21.62 in the second phase.

1. Introducción

El yacimiento de Caolín perteneciente a la Carrera de Ingeniería de Minas, Petróleos y Geotecnia de la Universidad Técnica de Oruro, se encuentra ubicado en la zona sud de la ciudad de Oruro en la falda Sud-oeste

del Cerro San Felipe, muy próximo a las operaciones antiguas de la mina Itos. La concesión se denomina LA TETILLA y cuenta de 39.5 pertenencias de acuerdo al plano catastral de SETMIN.

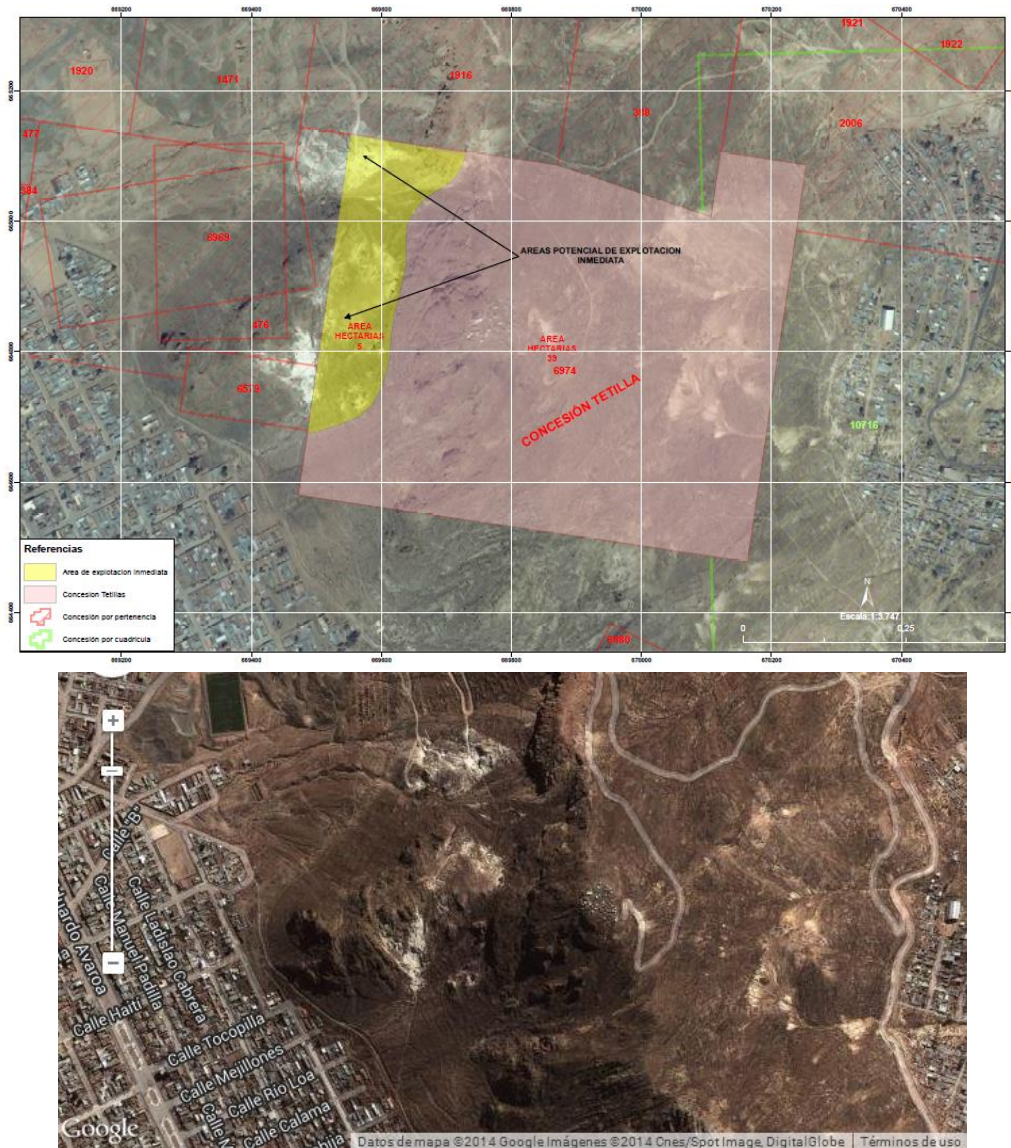


Figura 1.- Ubicación del yacimiento de caolín perteneciente a la Carrera de Ingeniería de Minas, Petróleos y Geotecnia de la Universidad Técnica de Oruro

Las coordenadas geográficas del yacimiento son: Latitud: 17°57'25" Sud; Longitud: 67°08'03" Oeste. Las coordenadas UTM del yacimiento son: 0697985 E - 8012327 N. La accesibilidad al yacimiento es total.

Como se puede observar en la imagen siguiente, la concesión de la Carrera de Ingeniería de Minas, es muy extensa; tiene 2 sectores de explotación de Caolín, y en este estudio, solamente se ha considerado el sector de la izquierda (S 17°58'12").



Figura 2.- Ubicación del yacimiento de caolín estudiado

El caolín tiene muchas aplicaciones; es utilizado en la preparación de pinturas de caucho o emulsionadas, ya que por su blancura es de alto grado de rendimiento. Al mismo tiempo, se utiliza en diferentes industrias:

- ✓ Papel: Como carga y recubrimiento del papel. En el acabado de papel de arte y tapiz y en papel corrugado. Reduce la porosidad y da suavidad y brillo a la superficie.
- ✓ Refractarios: En la elaboración de perfiles, bloques y ladrillos refractarios, así como en ladrillos de alta alúmina. En la elaboración de cemento refractario y resistente a los ácidos. En cajas de arcilla refractaria para cocer alfarería fina.
- ✓ Cerámica: En la fabricación de sanitarios, comedores, porcelana eléctrica y tejas de alto grado, vajillas, objetos de baño, refractarios y cajas de arcilla refractaria para cocer alfarería fina.
- ✓ Vidrio: En la formulación de placas de vidrio.
- ✓ Pinturas: En la elaboración de pigmentos de extensión para pinturas y en la fabricación de tintas. Se usa como dilatador por su inercia química, suave fluidez, facilidad de dispersión y por no ser abrasivo. En pinturas de agua con liga de aceite, a base de silicato y al temple; en pinturas para moldes de fundición; en pigmentos para el color ultramarino. Da suavidad y brillo a la superficie, mejora la durabilidad de la misma y reduce la cantidad de pigmento necesario.
- ✓ Plásticos: Es usado como relleno en hules y plásticos y auxiliar en procesos de filtración. En revestimientos plásticos para ductos y tejas plásticas. Se mezcla bien con oleoresinas en plásticos y mejora la rigidez y dureza del mismo.
- ✓ Agroquímicos: Forma parte de los componentes de insecticidas y pesticidas bien como material de acompañamiento a insecticidas presentados en polvo o bien solo, uso este hoy en alza para el control de determinadas plagas agrícolas, como por ejemplo la [mosca del olivo](#) sobre todo en [agricultura ecológica](#). También se está viendo su uso en la protección de las quemaduras solares ó golpes de sol en los frutos debido a su capacidad para absorber las ondas cortas de la radiación solar.
- ✓ Farmacéutica: En la elaboración de medicamentos por ser químicamente inerte y libre de bacterias.
- ✓ Medicina: Se utiliza como [adsorbente](#) en ciertos casos de [diarrea](#) junto con la [pectina](#).
- ✓ Cosméticos: Es uno de los principales componentes de los cosméticos. Absorbe humedad, mejora las bases blancas para colores, se adhiere a la piel y tiene textura suave.
- ✓ Construcción: Usado como terraplén y como material crudo en la formulación de crisolita y placas de vidrio. Usado para producir arcillas pesadas. En pistas para aterrizaje de aviones y en mezclas termoplásticas para techar. Como relleno en linóleo y en cementos resistentes a los ácidos y

refractarios. En cojines de fieltro para paneles o tableros de metal. En revestimientos plásticos para ductos, ladrillos para pisos y para sellar mezclas. En mezclas termoplásticas para techar. En el concreto mejora la durabilidad, remueve el hidróxido de calcio químicamente activo, mejora la porosidad y la adhesión entre el cemento, la arena y la grava.

- ✓ Material eléctrico: Es usado en la fabricación de cable eléctrico, en recubrimientos y aislantes eléctricos. Da resistencia térmica.
- ✓ Caucho: Para reforzar el caucho y hacerlo más rígido.
- ✓ Hule: En la industria del hule es usado como carga y por su resistencia a la humedad y ataque químico. Mezcla bien con el hule, le incrementa la dureza y durabilidad.
- ✓ Metales: En ruedas abrasivas, para soldar cubiertas en varillas y en material de adherencia en fundición
- ✓ Química: En la elaboración de productos como sulfato de aluminio, alúmina y alumbre; en catalizadores y absorbentes; en el acabado de textiles; en jabón, recubrimientos, curtiduría y productos de asbesto; en ruedas abrasivas, como material de adherencia en fundición y para soldar cubiertas en varillas.
- ✓ El caolín se utiliza para la fabricación de porcelanas y de aprestos para almidonar. También es utilizada en ciertos medicamentos y cuando la materia no es muy pura, se utiliza en la fabricación de papel. Conserva su color blanco durante la cocción. En las industrias se usa como relleno para la creación o transformación. Muy usado en la industria de la fabricación de pintura vinílicas (base agua) y en la fabricación de piezas de plástico por medio de inyección. En la industria alimentaria es usado como antiaglomerante y antihumectante (por su cualidad de absorción).
- ✓ Se utiliza caolín como [talco](#) para realización de pleurodesis química (sellado de las pleuras) en cirugía de tórax. Como absorbente gastrointestinal.
- ✓ Actualmente el caolín también es usado en tratamientos de belleza, se aplica luego de tratamientos de exfoliación y como blanqueante de la piel.
- ✓ Empleado frecuentemente en talcos para pies y mascarillas faciales, por sus efectos desinflamatorios, astringentes y correctores de exceso de sebo.

2. Objetivo y alcance del trabajo de investigación

El objetivo del presente trabajo de investigación se circunscribe a demostrar que la explotación del yacimiento de caolín a cargo de la Carrera de Ingeniería

de Minas, Petróleos y Geotécnia es técnicamente factible y económicamente rentable.

La investigación se circunscribió al siguiente alcance:

- ✓ Estimación del volumen de los recursos de caolín del yacimiento
- ✓ Caracterización química de muestras del yacimiento
- ✓ Establecimiento de las características topográficas y de accesibilidad para aplicar los métodos de explotación a cielo abierto
- ✓ Planificación de la explotación minera y estimación del rendimiento económico
- ✓ Generación de un ambiente adecuado para las prácticas de formación profesional de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería de Minas, Petróleos y Geotécnia

3. Ingeniería del proyecto

3.1 Características del Caolín

La caolinita es una [arcilla](#) blanca muy pura que se utiliza para la fabricación de [porcelanas](#) y de aprestos para almidonar. El caolín es un suelo natural en el que abunda la caolinita, que le aporta a menudo un color blanco.

También es utilizada en ciertos medicamentos y como [agente adsorbente](#). Cuando la materia no es muy pura, se utiliza en fabricación de papel. Conserva su color blanco durante la cocción.

La fotografía siguiente, muestra el material presente en el yacimiento.



Fotografía 1.- Muestra del caolín del yacimiento

La tabla siguiente, muestra las características generales y las propiedades físicas de las muestras de caolín obtenidas:

General	
Categoría	Minerales filosilicatos
Clase	9.ED.05 (Strunz)
Fórmula química	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$
Propiedades físicas	
Color	Blanco
Raya	Blanca
Lustre	Mate, nacarada
Sistema cristalino	Triclínico
Exfoliación	Perfecta
Fractura	Astillosa
Dureza	1
Densidad	2,6

Tabla 1.- Propiedades generales y físicas de la muestra de caolín del yacimiento

Un ensayo de compresión uniaxial, mediante protocolos estándares de las muestras cortadas en forma de cubos de 2,5 pulgadas por lado, permitió obtener el valor de 830 Kgf. Es decir, el material se caracteriza por ser suave y es

posible romperlo con el golpe de la cuchara de una pala mecánica. Las fotografías siguientes muestran las etapas de preparación de la muestra y el proceso del ensayo uniaxial efectuado.



Figura 3.- Preparación y ensayo uniaxial efectuado de la muestra de caolín del yacimiento

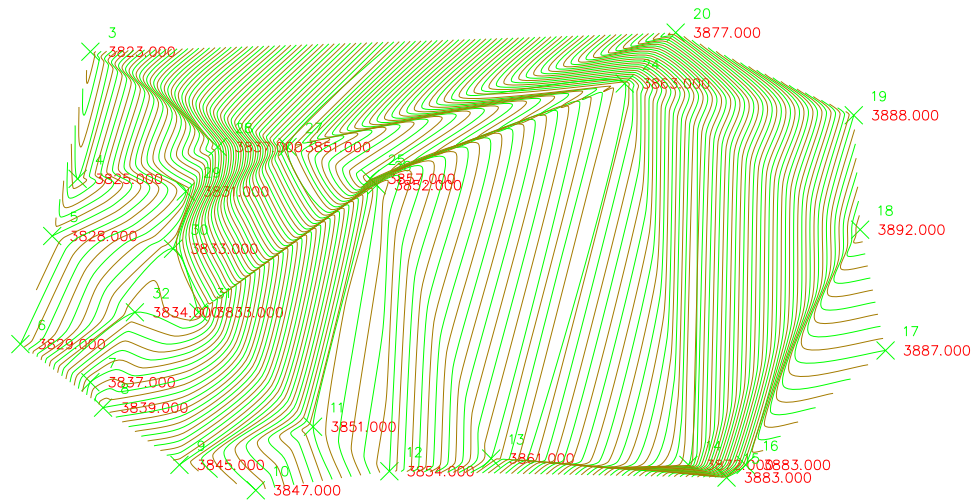
3.2 Levantamiento Topográfico y Estimación del Volúmen del Yacimiento de Caolín

Las fotografías siguientes, muestran el depósito de caolín:



Fotografía 2.- Vista del yacimiento de caolín

A partir de los datos recolectados mediante el levantamiento topográfico y su sistematización en el programa CIVIL3D, para poder obtener las secciones transversales.



Posteriormente, en base a las secciones A partir de los datos recolectados mediante el levantamiento topográfico y su sistematización en el programa CIVIL3D, para poder obtener las secciones transversales.

Para poder obtener el volumen total del yacimiento a partir de los volúmenes de cada sección transversal se utilizó el programa AutoCAD. La tabla siguiente, resume las áreas calculadas:

ÁREAS TOTALES						
1-1"	2-2"	3-3'	4-4'	5-5'	6-6'	7-7'
730,00	2614,15	3554,21	3691,34	4061,32	3624,09	799,62

TABLA 2.- Resumen de áreas totales calculadas en base a secciones transversales

A partir de la ecuación Simpson, se calculó el volumen total del yacimiento que es de 187.583,61 m³.

Conociendo la densidad del caolín que es 1,70 ton/m³, se determinó las toneladas totales de Caolín en el yacimiento que asciende a **318892.14 toneladas**.

3.3 Estimación de Costos de la Explotación del Yacimiento de Caolín

Por motivos de permisos ambientales, la Carrera de Ingeniería de Minas solo puede vender 300 toneladas/mes. La tabla siguiente muestra el cálculo de la vida útil de la explotación del yacimiento de caolín, para una capacidad máxima de producción de 300 toneladas/mes.

VOLUMEN TOTAL DE CAOLÍN (m3) =	187.583,61
RITMO DE EXPLOTACIÓN (Ton/día) =	12,00
VIDA ÚTIL DE YACIMIENTO (días) =	26574,34
VIDA ÚTIL DE YACIMIENTO (meses) - (25 días/mes) =	1062,97
VIDA ÚTIL DE YACIMIENTO (años) =	89,00

TABLA 3.- Cálculo de la vida útil del yacimiento de caolín a un ritmo de explotación de 300 toneladas/mes

La tabla siguiente presenta la inversión que se requiere para lograr una explotación de 300 toneladas/mes de caolín:

1ra FASE de explotación			
EQUIPOS	NÚMERO	COSTO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Compresora	1	4.000,000	4.000,000
Perforadora+Barreno	2	1.500,000	3.000,000
Carretillas	4	50,000	200,000
Palas	4	10,000	40,000
Generador de energía	1	14.000,000	14.000,000
Tranca	1	2.000,000	2.000,000
Material de escritorio	1	200,000	200,000
Computadoras	2	1.500,000	3.000,000
Impresoras	2	210,000	420,000
TOTAL			26.860,000

TABLA 4.- Inversión requerida para explotar 300 toneladas/mes de Caolín

Asimismo, el costo de la voladura secundaria es resumida en la tabla siguiente:

DESCRIPCION	\$us/unid	PRECIO	PESO NETO Kg/Cant	P. UNITARIO \$us	CANTIDAD	TOTAL \$us
Dinamita Semexsa 80, 1 1/8x8"	\$us/cja	122,000	144,000	0,847	5,000	4,236
Mecha Lenta de Seguridad	\$us/m	0,290	1,000	0,290	10,000	2,900
Fulminante Comun No. 8	\$us/pza	0,220	1,000	0,220	10,000	2,200

TABLA 5.- Costos de voladura secundaria para explotar 300 toneladas/mes de Caolín

Es decir, el costo de la voladura secundaria es de 4 \$us/día.

Finalmente, si consideramos los costos de laboreo que se detallan en la tabla siguiente:

ITEM	US\$/día
Costo voladura secundaria	4,00
Sereno	14,35
Ayudante	11,48
Ingeniero de Minas	28,69
TOTAL (US\$/día)	58,52
TOTAL (US\$/Ton)	4,877

TABLA 6.- Costos de laboreo minero para explotar 300 toneladas/mes de Caolín

VOLUMEN TOTAL DE CAOLÍN (m3) =	187.583,61
DENSIDAD CAOLÍN (Ton/m3) =	1,70
TONELADAS TOTALES DE CAOLÍN =	318.892,14
PRECIO DEL CAOLÍN (US\$/Ton) =	20,00
VALOR PAGABLE DEL YACIMIENTO (US\$) =	6.377.842,73
COSTO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO (US\$/Ton) =	4,877
COSTO TOTAL DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO (US\$) =	1.555.113,88
COSTO DE INVERSIÓN (US\$) =	26.860,00
UTILIDAD TOTAL (US\$) =	4.795.868,86
UTILIDAD POR AÑO (US\$) =	53.886,17
RAZON BENEFICO /COSTO =	4,101

TABLA 7.- Datos económico – financieros del proyecto de explotación del yacimiento de caolín

De los datos de la tabla anterior, se puede establecer que el proyecto de explotación del yacimiento de Caolin es altamente factible; puesto que, la relación de Beneficio/Costo es de 4.1

En el futuro, se desea aumentar la producción hasta por lo menos 1000 toneladas/mes. Además, implementar un proceso que permitirá obtener un producto de mayor calidad y que puede ser vendido en el mercado a un mayor precio. Para ello, se requeriría de una inversión de

Es decir, el costo total será de 4.88 dólares/tonelada para un ritmo de explotación de 300 toneladas/día y 25 días de explotación por mes.

3.4 Factibilidad económica de proyecto de explotación del yacimiento de Caolín

La tabla siguiente resume los datos económico-financieros del proyecto de explotación del yacimiento de caolin:

cerca a 258.000 dólares americanos. En la tabla siguiente se detallan los requerimientos de inversión:

El escalonamiento en la planta de producción a 1000 toneladas, podría tener una duración de 5 años; tiempo en el que, se seguiría produciendo las 300 toneladas/mes.

A un ritmo de explotación de 1000 toneladas/mes, después de los 5 años de implementación, la vida útil del yacimiento sería de cerca a 26 años.

EQUIPOS	NÚMERO	COSTO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
Perforadora+Barreno	2	1.500,000	3.000,000
Pala cargadora	1	67.000,000	67.000,000
Chancadora	1	5.000,000	5.000,000
Molino de impacto	1	5.000,000	5.000,000
Magneto	1	12.000,000	12.000,000
Camión	1	100.000,000	100.000,000
Material de escritorio	1	200,000	200,000
Handy	2	500,000	1.000,000
Oficinas+Depositos (15*60 m2)	900	71,736	64.562,410
TOTAL			257.762,410

TABLA 8.- Inversión requerida para explotar 1000 toneladas/mes de Caolín

Asimismo, el costo de la voladura secundaria para dicha capacidad se resumiría en la tabla siguiente:

DESCRIPCION	\$us/unid	PRECIO	PESO NETO Kg/Cant	P. UNITARIO \$us	CANTIDAD	TOTAL \$us
Dinamita Semexsa 80, 1 1/8x8"	\$us/cja	122,000	144,000	0,847	5,000	4,236
Mecha Lenta de Seguridad	\$us/m	0,290	1,000	0,290	10,000	2,900
Fulminante Comun No. 8	\$us/pza	0,220	1,000	0,220	10,000	2,200

TABLA 9.- Costos de voladura secundaria para explotar 1000 toneladas/mes de Caolín

Finalmente, si consideramos los costos de laboreo que se detallan en la tabla siguiente:

MANO DE OBRA	US\$/día
Perforista	11,478
Operado de pala	26,514
Peones	5,739
Chancadorista	22,956
Molinero	22,956
Magnetista	22,956
Chofer	13,957
Ayudante	11,478
Sereno	14,347
Voladura Secundaria	4,000
Ingeniero de Minas	28,694
TOTAL (US\$/día)	185,07

TABLA 10.- Costos de laboreo minero para explotar 1000 toneladas/mes de Caolín

Es decir, el costo total será de 4.63 \$us/tonelada para un ritmo de explotación de 1000 toneladas/día y 25 días de explotación por mes.

Finalmente, el resumen de los datos económico-financieros del proyecto de explotación del yacimiento de caolín sería:

TONELADAS RESTANTES =	300.892,14
PRECIO DEL CAOLÍN (US\$/Ton) =	100,00
VALOR PAGABLE DEL YACIMIENTO (US\$) =	30.089.213,67
COSTO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO (US\$/Ton) =	4,627
COSTO TOTAL DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO (US\$) =	1.392.227,92
UTILIDAD TOTAL (US\$) =	28.696.985,76
UTILIDAD POR AÑO (US\$) =	1.103.732,20
RAZON BENEFICO /COSTO =	21,613

TABLA 11.- Datos económico – financieros del proyecto de explotación del yacimiento de caolín

De los datos anteriores, se puede demostrar que el proyecto es factible puesto de que nuestro indicador económico de la razón Beneficio/Costo es de 21,613.

Es decir que a la Carrera de Ingeniería de Minas le conviene mejorar la calidad del Caolín que vende para así generar mayores ganancias a favor de la Carrera.

4. Conclusiones

Del trabajo de investigación desarrollado se concluye que:

- ✓ La factibilidad del proyecto está demostrada con nuestro indicador económico que en la 1ra Fase es 4,101 y en la 2da Fase es 21,613.
- ✓ La dureza del Caolín fue determinada con el ensayo de carga puntual y es igual a 830 Kgf.
- ✓ Nuestro Caolín será vendido en la 1ra Fase a 20,00 US\$/Tonelada y en la 2da Fase a 100,00 US\$/Tonelada
- ✓ Las reservas del yacimiento fueron estimadas dando un total de 318.892,14 Toneladas.
- ✓ Se aplicará la explotación a cielo abierto con un ritmo de explotación en la 1ra Fase de 12,00 Ton/día y en una 2da Fase de 40,00 Ton/día.
 - ✓ La utilidad por año será en la 1ra Fase de 53.886,17 US\$ y en una 2da Fase de 1.03.732,20 US\$.
 - ✓ La explotación del yacimiento de caolín permitira también una mejor formación de nuestros profesionales y los excedentes podrán ser utilizados en nuevos emprendimientos mineros y el desarrollo y el fortalecimiento de las capacidades de investigación científica y tecnológica en el ámbito minero.