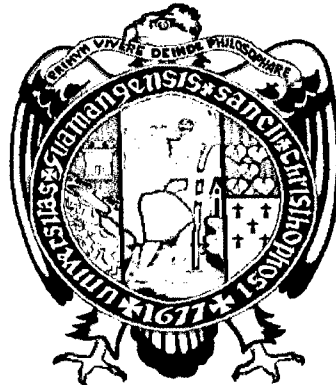


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LAS ROCAS
CALCAREAS DEL YACIMIENTO DE LLACCHUAS – HUANTA -
AYACUCHO**

PRESENTADO POR:

Bach. LIZ MAGALY TINCO CAMPOS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE MINAS**


AYACUCHO – AGOSTO

2016

“EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LAS ROCAS CALCAREAS DEL
YACIMIENTO DE LLACCHUAS – HUANTA – AYACUCHO”

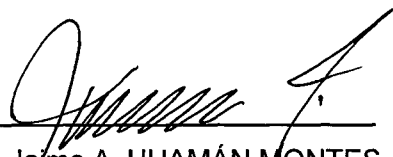
RECOMENDADO : 16 DE SEPTIEMBRE DEL 2016

APROBADO : 06 DE OCTUBRE DEL 2016



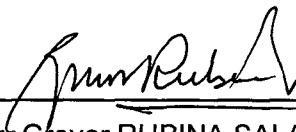
MsC. Carlos A. PRADO PRADO

(Presidente)



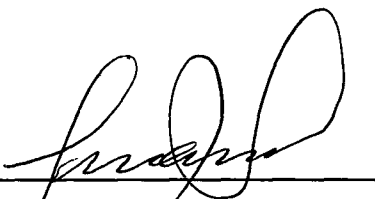
Dr. Ing. Jaime A. HUAMÁN MONTES

(Miembro)



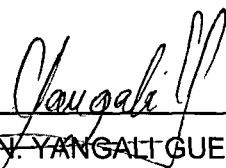
Ing. Grover RUBINA SALAZAR

(Miembro)



Ing. Juan J. Zaga Huamán

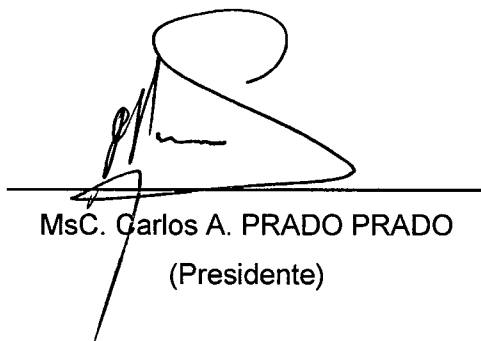
(Miembro)



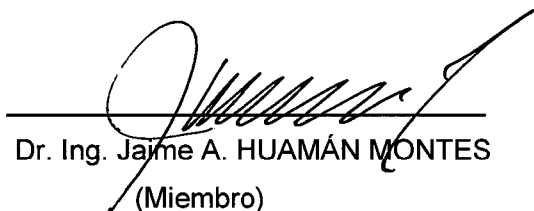
Ing. Floro N. YANGALLI GUERRA

(Secretario Docente)

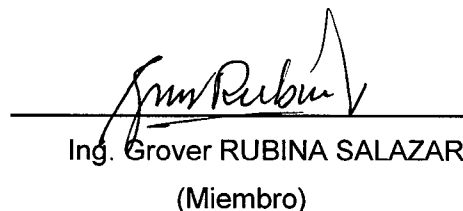
Según el acuerdo constatado en el Acta, levantado el 06 de octubre del 2016, en la Sustentación de Tesis presentado por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas Srta. Líz Magaly TINCO CAMPOS, con la Tesis Titulado “EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LAS ROCAS CALCAREAS DEL YACIMIENTO DE LLACCHUAS – HUANTA – AYACUCHO”, fue calificado con la nota de **DIECISIETE (17)** por lo que se le da la respectiva aprobación.



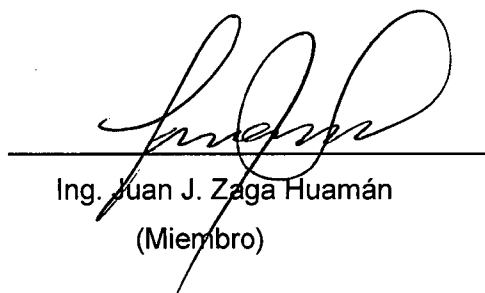
MsC. Carlos A. PRADO PRADO
(Presidente)



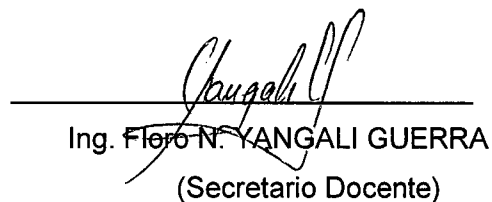
Dr. Ing. Jaime A. HUAMÁN MONTES
(Miembro)



Ing. Grover RUBINA SALAZAR
(Miembro)



Ing. Juan J. Zaga Huamán
(Miembro)



Ing. Floro N. YANGALI GUERRA
(Secretario Docente)

DEDICATORIA

De manera especial a mis padres Aniceto Tinco y Daria Campos, por su interminable apoyo en todo momento de mi vida, por sus enseñanzas, consejos y por su eterna paciencia y perdón ante mis constantes errores.

A mi hermano Cliver, por su apoyo incondicional y exigencia, por situar cimientos en mi desarrollo, destinando tiempo para compartir, enseñarme y aprender nuevas cosas; asimismo a mis hermanos Betty, Elmer, Marybel.

A mi hermano Rubén, que a pesar de nuestra distancia física, éstas conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, estás presente en el corazón de todos los que te queremos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis agradecer a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A la Dra. Alejandra Diaz Valdiviezo, quien con su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado incentivar me para realizar la presente Tesis.

A mis docentes universitarios durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación, por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad.

RESUMEN

La presente Tesis realiza la evaluación geomecánica y química de la Roca calcárea del Yacimiento de Llacchuas, asimismo hace énfasis en los resultados para la utilización industrial; es así que, en la presente se describe de forma ordenada en cuatro capítulos, identificando en primer lugar el problema, los objetivos y metodología de Investigación.

En el primer y segundo capítulo se describe la información general de la zona de ubicación, geología y ubicación.

En el tercer capítulo se realiza la aplicación del Software Dips, previo para la determinación de la calidad de roca en antelación de un mapeo geológico de campo, cuyos resultados mencionan en las conclusiones; extendiendo el estudio con ensayos mecánicos para determinar la resistencia de la Roca, que determina el uso ornamental y de construcción.

Finalmente a través del análisis químico y los resultados del mismo, las discusiones se determinan el uso industrial de la roca Caliza del yacimiento en Investigación, para señalar finalmente las conclusiones y recomendaciones.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la caracterización geomecánica y química, en la localidad cercana a Llacchuas, ubicada en el Distrito de Santillana que exteriorizan características de la existencia de un yacimiento de rocas calcáreas, que se encuentra en la formación Tarma, según el cuadrángulo 26 ñ de la hoja Huanta. .

La característica del este yacimiento es de importancia, debido a los diferentes usos que se le da en las diferentes industrias; para ello es preciso el conocimiento del comportamiento de los afloramientos a nivel geomecánico ya que cobra una relevante importancia a la hora de plantear explotaciones mineras tanto a cielo abierto como subterráneas, no restando su importancia en la utilización como roca de construcción y ornamental, de acuerdo a la calidad de roca; una roca importante derivada del análisis de sus propiedades mecánicas y físicas, determinará su adecuado uso como rocas de construcción mediante simple corte, en la edificación y roca ornamental si las rocas son trabajadas buscando para un fin estético.

Es muy importante mencionar que las rocas calizas tienen empleos variados en diferentes industrias como se puede verificar en la bibliografía Según w. Lorenz y W Gwosdz en su manual para la evaluación geológica técnica de recursos

minerales de construcción. 2004 como pueden ser; la industria metalúrgica, química, siderúrgica, agroindustria, medio ambiente, minero energético, químico, materiales e insumos básicos etc,

La determinación en la utilización será en función a las propiedades físicas y los porcentajes de elementos químicos que contiene la roca calcárea, como es el porcentaje de CaO, o porcentaje de impurezas, que derivan de un análisis químico; así una caliza pura será utilizada en una determinada industria x, mientras que una caliza medianamente pura no podrá usada para este fin.

En la presente investigación se detalla información sobre el análisis de propiedades mecánicas (basada en información de Luis I. Gonzales Vallejo (2002). Ingeniería Geológica. Universidad), físicas y químicas, no restando un estudio petrográfico macroscópico, con fines de uso industrial de la roca calcárea presente en la zona de estudio.

ÍNDICE

Agradecimientos	03
Resumen	04
Introducción	06

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Ubicación y acceso	19
1.2. Clima y Vegetación	22
1.3. Antecedentes	22
1.4. Formulación del Problema	23
1.4.1. Problema General	23
1.4.2. Problema Específico	23
1.5. Objetivos	24
1.5.1. Objetivo General	24
1.5.2. Objetivo Especifico	24
1.6. Justificación de la Investigación	25
1.7. Hipótesis	26
1.7.1. Hipótesis General	26
1.7.2. Hipótesis Específico	27
1.8. Metodología de la Investigación	27
1.9. Operacionalización de Variables	28

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA

2.1. Geología Regional	30
2.1.1. Estratigrafía	30
2.1.1.1 Grupo Tarma (Cs -t)	31
2.1.1.2. Grupo Copacabana (Pi-c)	31
2.1.1.3. Grupo Mitu (Ps-m)	32
2.1.1.4. Formación Tambo (Ks PP-ta)	33
2.1.1.5. Cuaternario	33
2.1.1.6. Depósitos Glaciofluviales (Qh -gf)	34
2.1.1.7. Depósitos Aluviales (Qh-al)	34
2.2. Geología Estructural	34
2.3. Geología Local	35
2.5. Reservas	36

CAPÍTULO III

EVALUACION GEOMECANICA DE LA ROCA CALCAREA DEL YACIMIENTO DE LLACCHUAS

3.1. Mapeo Geomecánico	38
3.1.1. Mediciones Estructurales	39

3.2. Registro de Programas DIPS	41
3.2.1. Estructuras en General Según Dips	44
3.2.2. Estadístico de orientación de Datos	47
3.2.3. Otras consideraciones	50
3.3. Propiedades de la Caliza	51
3.4. Propiedades Mecánicas de la Roca	53
3.4.1. Objetivos	54
3.4.2. Equipos	55
3.4.3. Procedimiento Experimental	58
3.4.3.1. Muestreo	58
3.4.3.2. Preparación de las muestras	59
3.4.4. Ensayo de Resistencia a la compresión uniaxial	59
3.4.4.1. Metodología y Cálculos	60
3.4.4.2. Aplicaciones	62
Resultados de ensayo de compresión simple M1	63
Resultados de ensayo de compresión simple M2	64
3.4.5. Ensayo de Carga Puntual	65
3.4.5.1. Metodología y Cálculos	66
3.4.5.2. Aplicaciones	66
Resultados de ensayo de carga puntual M1	67
Resultados de ensayo de carga puntual M2	68
3.4.6. Ensayo de Corte Directo	69
3.4.6.1. Metodología y Cálculos	70
3.4.6.2. Aplicaciones	71

Resultados de ensayo de corte directo M1	72
Resultados de ensayo de corte directo M2	74
3.4.7. Ensayo Tracción	76
3.4.7.1. Metodología y Cálculos	77
3.4.7.2. Aplicaciones	77
Resultados de ensayo de tracción M1	78
Resultados de ensayo de tracción M2	79
3.5. Clasificación de la Masa Rocosa	80
3.5.1. Resistencia al Macizo Rocoso según Roclab	81
Resultados Resistencia al Macizo Rocoso según Roclab M1	82
Resultados Resistencia al Macizo Rocoso según Roclab M2	83
3.5.2. RQD (Rock Quality Designation)	84
3.5.3. Sistema RMR	85
3.5.4. Sistema Q (NGI)	89

CAPITULO IV

CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA

4.1. Concepto Teórico de la Caliza	97
4.1.1. Origen de la Caliza	98
4.2. Análisis de Petrografía	99
Descripción Macroscópica M1	101
Descripción Macroscópica M1	102

4.3. Propiedades Físicas	103
4.3.1. Objetivo	103
4.3.2. Equipos	103
4.3.3. Densidad	106
4.3.4. Porosidad	106
4.3.5. Absorción	107
Resultados de ensayo de propiedad físicas M1	108
Resultados de ensayo de propiedad físicas M2	109
4.4. Análisis químico de la roca total	110
4.4.1. Composición Química de la Caliza de Llacchuas	111
4.4.2. Pureza de la Caliza	115
4.5. Usos y aplicaciones de la Caliza en General	116
4.6. Usos y aplicación según su génesis	118
4.7. Usos y aplicaciones de la Caliza según INGEMMET	119
4.8. Usos y aplicaciones de acuerdo al análisis químico de la caliza de Llacchuas	124
4.8.1. Industria del Acero	130
4.8.2. Fibra de Vidrio	131
4.8.3. Camas de filtro	132
4.8.4. Papel	133
4.8.5. Comida de animales	135
4.8.6. Fertilizantes – Agricultura	137
4.8.7. Desulfurados de Gas de Combustión neutralización	140
4.8.8. Nitrato de Amonio – Minas de Carbón	143

4.8.9. Producción de Soda	144
4.8.10. Polvo para blanquear	145
4.8.11. Cerámica	145
4.8.12. Cemento	149
4.8.13 Hormigón	151
4.8.14. Determinación de la Cal	151
4.8.14.1 Cal viva	152
4.8.14.2. Cal Hidratada	152
4.8.14.3. Cal Hidráulica	153
4.9. Usos y aplicaciones de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas de la caliza de Llacchuas	155
4.9.1. Balasto para ferrocarriles	155
4.9.2. Represas	156
4.9.3. Gaviones	158
4.9.4. Ripeado de carreteras	158
4.9.5. Pavimentos y revestimiento	159
4.9.6. Roca ornamental – Arquitectura	160

CAPITULO V

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

5.1. Resultados	162
5.2. Discusiones	167

Conclusiones	170
5.3. Recomendaciones	172
5.4. Bibliografía	173
5.5. Anexos	178

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01:	Ubicación de la Zona de estudio	20
Tabla N° 02:	Acceso a la zona de estudio	21
Tabla N° 03:	Reservas probados del yacimiento de roca	
	Calcárea de Llacchuas Abril – 2016	36
Tabla N° 04:	Resumen de Ubicación de estaciones geomecánicas	40
Tabla N° 05	Levantamiento Geomecánico	42
Tabla N° 06:	Propiedades de la Roca Calcárea	52
Tabla N° 07:	Resumen de Ubicación de obtención de muestras	59
Tabla N° 08:	Cálculos ensayo resistencia compresión	61
Tabla N° 09	Cálculos ensayo carga puntual	66
Tabla N° 10	Cálculos ensayo tracción	77
Tabla N° 11	RQD	84
Tabla N° 12	Designación de la calidad de roca	85
Tabla N° 13	Tabla geomecánica RMR	86
Tabla N° 14:	Calidad de Macizos Rocosos - RMR	88
Tabla N° 15:	Valoración RMR de la roca calcárea Llacchuas	89
Tabla N° 16:	Clasificación de la roca según NGI	91

Tabla N° 17	Tabla geomecánica Q de Barton	92
Tabla N° 18	Resumen de la evaluación geomecànico	96
Tabla N° 19:	Composición química de la Caliza de Llacchuas	111
Tabla N° 20:	Clasificación de Purezas de la caliza	115
Tabla N° 21:	Usos y aplicaciones de la caliza según su génesis	118
Tabla N° 22:	MUA – RMI Sub Sector agroindustria	120
Tabla N° 23:	MUA – RMI Sub Sector Construcción	121
Tabla N° 24:	MUA – RMI Sub Sector Medio ambiente	121
Tabla N° 25:	MUA – RMI Sub Sector Minero energético	122
Tabla N° 26:	MUA – RMI Sub Sector materiales e insumos básicos	122
Tabla N° 27:	MUA – RMI Sub Sector químico	124
Tabla N° 28	Tabla Según Lorenz y W Gwods	125
Tabla N° 29	Tabla Según Lorenz y W Gwods –Llacchuas	127
Tabla N° 30:	Alcalinidad del agua en ppm de CaCo3	139
Tabla N° 31:	Rocas utilizadas como materia prima de la cerámica	147
Tabla N° 32	Usos Industriales de la Cal	155
Tabla N° 33	Resumen de Propiedades Físicas	163
Tabla N° 34	Resumen de Propiedades Mecánicas	164

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01: Histograma de barras buzamiento/ direc. Buz.	48
---	----

Gráfico N° 02: Histograma de barras de espaciado	49
Gráfico N° 03: Histograma de barras persistencia	49
Gráfico N° 04: Histograma de barras de terminación	50
Gráfico N° 05: Diagrama de torta, composición química de la caliza	113
Gráfico N° 06: Diagrama de torta, PPM de elementos de la caliza	114
Gráfico N° 07: Usos Generales de la Caliza	117

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01 Ubicación política de zona de estudio	20
Figura N° 02: Equipos e instrumentos - Mapeo Geomecánico	40
Figura N° 03: Diagrama estereográfico dispersión de polos	45
Figura N° 04: Diagrama estereográfico - contornos de zona	46
Figura N° 05: Diagrama roseta – discontinuidades	47
Figura N° 06: Esquema de resistencia compresiva uniaxial	60
Figura N° 07: Esquema de resistencia carga puntual	65
Figura N° 08: Esquema de resistencia ensayo de corte directo	70
Figura N° 09: Esquema de ensayo de rotura y fisuración	76
Figura N° 10: Diagrama de flujo de proceso de elaboración del acero	131
Figura N° 12: Diagrama desulfurados de gas de combustión	142
Figura N° 13: Diagrama fabricación de cerámica estructural	148
Figura N° 14: Diagrama fabricación de cemento	150
Figura N° 15: Diagrama fabricación de cal	151

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 01: Afloramiento de Caliza N°1	37
Fotografía N° 02: Afloramiento de Caliza N°2	37
Fotografía N° 03: caliza insitu	51
Fotografía N° 04: Sondaje diamantino	56
Fotografía N° 05: Cortadora de disco diamantino	56
Fotografía N° 06: Equipo de Carga Puntual	57
Fotografía N° 07: Equipo de Corte Directo	57
Fotografía N° 08: Equipo de Compresión	58
Fotografía N° 09: probeta antes de ser sometida a ensayo uniaxial	61
Fotografía N° 10: probeta luego de ser sometida a ensayo uniaxial	62
Fotografía N° 11: probeta cilíndrica en ensayo de carga puntual	69
Fotografía N° 12: ensayo de corte directo	71
Fotografía N° 12: Sondaje diamantino	104
Fotografía N° 13: Cortadora de disco diamantino	104
Fotografía N° 14: Balanza de Precisión	105
Fotografía N° 15: Horno de Secado	105
Fotografía N° 16: Producto fibra de vidrio	132
Fotografía N° 17: Producto papel	135
Fotografía N° 18: Producto comida de animales	135
Fotografía N° 19: Producto fertilizantes	137
Fotografía N° 20: Productos explosivos	144
Fotografía N° 21: Producto soda caustica	145

Fotografía N° 22: Producto cal	153
Fotografía N° 23: Producto balasto base de caliza	156
Fotografía N° 24: Producto balasto base presa	157
Fotografía N° 25: Producto balasto gaviones	158
Fotografía N° 26: Producto revestimiento	159
Fotografía N° 27: Pavimento	160
Fotografía N° 28: Producto Iglesia San Francisco	161

ANEXOS

Términos y abreviaturas	179
Datos Ingresados Software Dips 6.0	183

LISTA DE PLANOS

Plano PU - 01: Ubicación	189
Plano PG – 02: Geológico	190
Plano PE – 03: Estratigráfico	191
Plano PC – 04: Cubicación	192
Plano PCN-05 Curvas de Nivel	193
Fotografías	194

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.- UBICACIÓN Y ACCESO

El yacimiento de Caliza¹ se localiza en la comunidad de Llacchuas perteneciente al del Distrito de San José de Secce Provincia de Huanta departamento de Ayacucho, Perú. (Ver Plano de Ubicación PU- 01)

Sus coordenadas UTM son las siguientes:

NORTE: 8592534

ESTE: 587633

A una altura de 3,919 m.s.n.m

¹ roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO₃)

FIGURA N° 01

UBICACIÓN POLÍTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

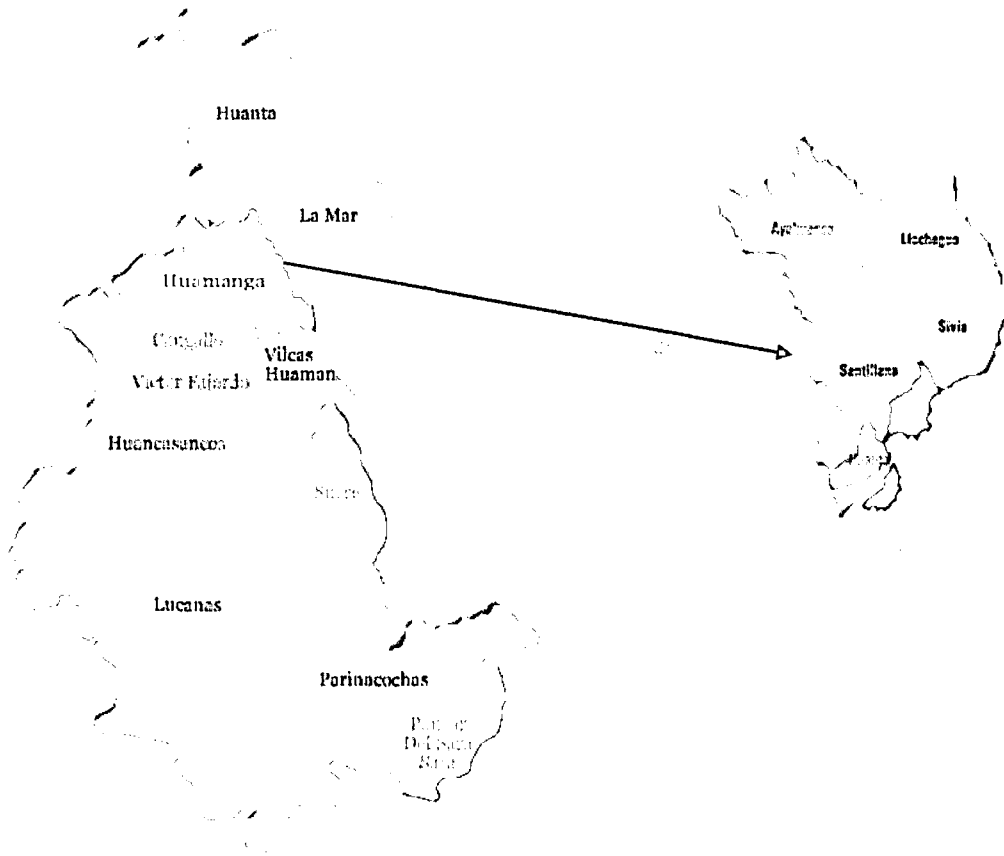


TABLA N° 01 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

UBICACIÓN		ALTITUD
POLÍTICA	GEOGRÁFICA	
REGIÓN	AYACUCHO	2, 720 m.s.n.m.
PROVINCIA	HUANTA	2, 627 m.s.n.m.
DISTRITO	SANTILLANA (San José de Secce)	3, 239 m.s.n.m.
CENTRO POBLADO	LLACCHUAS	3, 919 m.s.n.m.

El acceso al área de estudio desde la ciudad de Lima es mediante la carretera principal asfaltada Panamericana Sur hasta llegar al Distrito de San Clemente de Pisco, luego de un recorrido de 220 Km; luego se continúa la carretera asfaltada “Los Libertadores” de una longitud de 330 Km. Se llega a Ayacucho, empleándose un tiempo de 9 horas.

Desde Ayacucho se continúa hacia la ciudad de Huanta a través de la carretera asfaltada de 44 Km.

De la ciudad de Huanta se continua mediante la trocha carrozable de 27 Km. hasta la localidad de San José de Secce, siguiendo otros 11.5 Km. hasta llegar a Llacchuas.

TABLA N° 02 ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO

ACCESO			
RUTA	VIA	DISTANCIA	HORA
Lima - Ayacucho	Asfaltada	573 Km	09 horas
Ayacucho – Huanta	Asfaltada	44 km	01 hora
Huanta – San Jose de Secce	Trocha	27 Km	50 min
San José de Secce - Llacchuas	Trocha	11.5 Km	35 Min.

1.2.- CLIMA Y VEGETACION.

En esta parte de la cordillera de los andes y a la altitud en que se halla el área en estudio, el clima en general es frígido con una estación seca de mayo a octubre donde la temperatura durante el día es de 15°C bajando en la noche a 0°C y una estación húmeda con precipitaciones de lluvia y granizo, donde la temperatura alcanza durante el día lo 20°C, descendiendo en la noche a 10°C.

La vegetación es escasa solamente se tiene gramíneas e lchu. En la parta baja existen cultivos de papa, mashua, oca, haba y cebada.

1.3.- ANTECEDENTES

La comunidad de Llacchuas localizada en el Distrito de Santillana siendo su capital San José de Secce, Provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho, en su entorno cuenta con 295 habitantes, con una tasa de crecimiento intercensal de 0.87², estimado en pobreza extrema, esta zona andina se caracteriza por presentar en sus alrededores afloramientos de roca caliza, considerado roca industrial de interés económico debido a su aplicabilidad en sus diferentes usos, de la cual según el Ministerio de Energía y Minas como el Instituto Minero Metalúrgico INGEMMET, no se tiene registro de concesión como también información de un estudio de pre-factibilidad y factibilidad y que

² Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda

pueda servir para la instalación de un nuevo proyecto de ingeniería que se pretenda realizar en el futuro por lo que es importante determinar estudios de caracterización de las rocas con respecto a sus propiedades físicas y químicas para su industrialización, que puede beneficiar económicamente a la población considerada en extrema pobreza.

1.4.-FORMULACION DEL PROBLEMA.

1.4.1.- PROBLEMA GENERAL.

¿Cómo una evaluación geomecánica y química de las rocas calcáreas permite determinar las características del comportamiento físico y mecánico con fines de uso industrial del yacimiento en la localidad de Llacchuas Huanta?

1.4.2.- PROBLEMA ESPECÍFICO.

¿De qué manera los ensayos de laboratorio químico, contribuyen en el conocimiento para determinar el uso industrial de las rocas calcáreas del yacimiento de rocas calizas de Llacchuas Huanta?

¿Cómo la información básica litológica, pondera la caracterización del macizo rocoso del yacimiento de rocas calcáreas de Llacchuas?

¿De qué manera los ensayos de laboratorio, contribuyen en el conocimiento del comportamiento físico mecánico del macizo rocoso, en función al uso industrial y de tipo diseño del yacimiento de rocas calizas de Llacchuas Huanta?

Definido el problema, la investigación sólo se limitará a resolver el problema de evaluación química, caracterización geomecánica de las rocas, determinación de los usos de la roca calcárea en función a los efectos conseguidos; quedando fuera de los límites de esta investigación la aplicabilidad de los resultados obtenidos en la planificación y diseño de cantera.

1.5.- OBJETIVOS.

1.5.1.- OBJETIVO GENERAL.

Realizar la evaluación geomecánica y química del yacimiento de rocas calcáreas en la localidad de Llacchuas Huanta relacionado al su uso industrial.

1.5.2.- OBJETIVO ESPECIFICO.

- a. Realizar la caracterización del yacimiento de rocas calcáreas en la localidad de Llacchuas Huanta, mediante el levantamiento geológico y geomecánico.

- b. Realizar la caracterización del comportamiento físico mecánico de la masa rocosa del yacimiento calcáreo de Llacchuas Huanta y sus componentes, mediante los ensayos de laboratorio a efectuarse en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la FIMGC-UNSCH.
- c. Efectuar la clasificación geomecánica del macizo rocoso a fin de determinar la calidad de la roca calcárea conformante del yacimiento de Llacchuas.
- d. Determinar la aplicabilidad de la roca calcárea como uso industrial de acuerdo a resultados de laboratorio.

1.6.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La caracterización del macizo rocoso es una información básica para el diseño de labores mineras esto implica que en todo proyecto de explotación habrá que invertir recurso económico como trabajo y tiempo suficiente para la recolección e investigación de campo.

Los aspectos más importantes de geomecánica relacionado a las características del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus componentes, la caracterización del macizo rocoso, a través de levantamiento litológico, los ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar las

propiedades físico mecánico de las rocas calcáreas, Clasificación geomecánica del macizo rocoso

El conocimiento de la composición química de una roca puesto que sirve para poner de manifiesto la presencia de compuesto que, aun en cantidades pequeñas por ser fácilmente alterables, pueda afectar la durabilidad de un material en su fase de utilización. El desarrollo es importante no sólo para su producción puesto que determinará si es aplicable al uso de la industria generando información básica para impulsar la inversión y el desarrollo

En este sentido conviene aprovechar la mayor información disponible a partir de las fases de una investigación minera entre mapeos geológicos estructurales, análisis de laboratorio mecánico, físico y químico; a fin de establecer información dinámica y parámetros que conlleven a la transformación y aplicación industrial.

1.7. HIPOTESIS.

1.7.1.- HIPOTESIS GENERAL.

Existen fundamentos consistentes a través de la evaluación geomecánica, física y química, para la utilización industrial adecuada de la caliza con la aplicación de la mecánica de rocas en la cuantificación de sus propiedades física y mecánicas de las rocas calcáreas del yacimiento de Llacchuas Huanta.

1.7.2.- HIPOTESIS ESPECÍFICO.

El levantamiento litológico no da información básica de la calidad de la roca.

El objeto de realizar los ensayos de las rocas en el laboratorio de mecánica de rocas es saber el comportamiento de las rocas calcáreas ante los posibles esfuerzos a aplicarse.

Los ensayos químicos darán como resultado el porcentaje de CaCO_3 y otros elementos para determinar el uso industrial de la roca calcárea. El cual servirá para determinar el uso industrial de la roca calcárea a través del porcentaje de constituyentes de la roca calcárea.

1.8.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

La metodología seguida en la presente investigación es del tipo exploratorio, analítico - descriptivo y seguiremos una secuencia de manipulación de datos secuenciales como sigue:

- Dividir el macizo rocoso en zonas estructurales (Zonas de características geológicas similares).
- Obtener los parámetros de clasificación de las estructuras encontradas en campo mediante la medición.

- Hacer registro de datos obtenidos en formatos especialmente preparados.
- Extraer muestras de la masa rocosa y llevar a Laboratorio de Mecánica de Rocas, para su correspondiente análisis.
- Obtener información básica del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet), Carta Nacional 26 ñ. Geocatmin, Matriz, usos y aplicaciones de rocas industriales.
- Obtener información básica del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI
- Aplicación de Software como son DIPS, ROCLAB, Google Maps, Global Mapper, Arcgis 10.3 y Autocad 2015.
- Determinar el uso industrial de la roca calcárea a través del porcentaje de constituyentes de la roca calcárea. Mediante el uso de la tabla N° 03 de Según w. Lorenz y W Gwosdz

1.9.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES
Evaluación Geomecánica	Levantamiento Litológico Propiedades Mecánicas Propiedades Físicas
Evaluación Química	Contenido Químico

VARIABLE DEPENDIENTE

Industrialización

INDICADORES

Clasificación

Usos en las industrias

UNIDADES DE MEDIDA

Calidad de Roca ; I, II, III, IV, V

Condiciones de Discontinuidades: m, mm

Propiedades mecánicas: Kg/cm², Mpa

Propiedades Físicas: %

Propiedades químicas: %

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA

2.1.- GEOLOGÍA REGIONAL ³

En la el área estudio afloran rocas desde el paleozoico hasta el cuaternario reciente, conforme se muestra en el cuadrángulo de Huanta (hoja N° 26-ñ) ver Plano Geológico PG -02.

2.1.1.- ESTRATIGRAFÍA.

Las unidades estratigráficas que afloran en el área son descritas de la más antigua a la reciente y son como:

³ Boletín N° 72. Geología del Cuadrangulo de Huanta. Hoja 26ñ. Lima. INGEMMET

2.1.1.1.- GRUPO TARMA (Cs-t):

Está constituido por una secuencia de lutitas gris oscuras intercaladas con calizas gris claras, así mismo existen areniscas cuarzosas calcáreas blanquecinas en estratos gruesos que debido a su dureza y grado de cohesión alto aparecen como farallones, muy característicos y que cubre desde la localidad de San José de Secce hasta Llacchuas.

2.1.1.2.- GRUPO COPACABANA (Pi – c):

Se trata de una secuencia calcárea pelítica, compuesta por una sucesión de calizas gris azuladas fosilíferas, con algunas intercalaciones de limo arcillitas gris oscuras y gris verdosas.

Las calizas se presentan en estratos gruesos bien definidos, como también macizos y en algunos casos nodulares, formando conjuntos de 10.0 a más de 170.0 m. de espesor. Las limo arcillitas aparecen en capas laminadas con grosores de 0.40 m. en promedio. La proporción de calizas es mucho mayor que las de limo arcillitas.

El grupo Copacabana, está expuesto sobre el sector occidental de la cordillera oriental siguiendo una dirección andina y se estima una potencia de 330.0 m. en el cerro Razuhuillca. Yace concordantemente sobre el grupo Tarma e infrayace en discordancia angular al grupo Mitu.

Por su posición estratigráfica, a las rocas del grupo Copacabana se les asigna una edad del Permiano inferior.

2.1.1.3.- GRUPO MITU (Ps-m):

Aflora principalmente a lo largo de la cordillera oriental, teniendo su mayor exposición en el cerro Razuhuilca.

Se caracteriza por presentar una secuencia inferior sedimentaria, clástica y de color rojizo, y otra secuencia superior compuesta por rocas volcánicas.

La secuencia inferior sedimentaria, está conformada por brechas, areniscas y conglomerados con rodados de cuarcitas, andesitas y calizas, que en conjunto presentan una coloración rojiza, gris verdosa y rosada. La matriz de los conglomerados es areniscosa y a veces tufácea que, por lo general, adhiere fuertemente a los elementos que engloba.

La secuencia superior volcánica, está compuesta por una sucesión de lavas, piroclásticos e ignimbritas. Las lavas por lo general son de composición andesítica a riolítica y de textura porfirítica.

Los piroclásticos están constituidos por tobas y brechas volcánicas de naturaleza riolítica a dacítica.

Se estima que el grupo Mitu debe tener una potencia mayor de 700 m. en el sector del cerro Razuhuillca.

Yace en forma discordante sobre el grupo Copacabana, e infrayace también en forma discordante al miembro Mayocc de la formación Huanta, por lo que se asigna una edad comprendida entre el Permiano superior y el Triásico inferior.

2.1.1.4.- FORMACION TAMBO (Ks PP-ta):

Es una secuencia clástica rojiza de una intercalación de lodolitas, limoarcilitas y areniscas, poco compactas con subordinadas capas de areniscas tobáceas, además se tiene conglomerados en rodados de limolita, caliza, arenisca arcósica.

Esta formación presenta terrenos de suave pendiente y rellena las cuencas sedimentarias intramontañosas y en la zona aparece hacia el norte, cerca de Llacchuas.

La edad que se le asigna a esta formación es cretáceo superior paleoceno.

2.1.1.5.- CUATERNARIO:

El cuaternario está representado por materiales coluviales y aluviales.

2.1.1.6.- DEPÓSITOS GLACIOFLUVIALES (Qh-gf):

Son sedimentos que están conformados por arenas, gravas, limos y arcillas, producto de la glaciación y traslado por corrientes de agua épocas pasadas y que actualmente ocupan la parte alta encima de 3,600 m.s.n.m.

2.1.1.7.- DEPOSITOS ALUVIALES (Qh-al):

Agrupan diferentes depósitos tanto fluviales como aluviales, los cuales se caracterizan por componerse de gravas, arenas, limos y arcillas dispuestos en proporciones diversas según el lugar donde se encuentran, generalmente cubren los lechos de los ríos o quebradas.

2.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

El desarrollo estructural del área está relacionado a las diferentes fases tectónicas producidas sucesivamente desde el paleozoico hasta nuestros días comprendiendo a los ciclos orogénicos hercínico y andino que han controlado los procesos sedimentados y han ocasionado un intenso magmatismo intrusivo como extrusivo, a la vez han deformado las rocas existentes con diversas formas y estilos hasta tomar la configuración actual y dirección característica NO – SE de las estructuras (pliegues y fallas).

Ver Plano Estratigráfico PE – 03

2.3.- GEOLOGÍA LOCAL.

Este trabajo se ha desarrollado utilizando como información base el Plano topográfico a escala indicada del área de estudio; el cual ha permitido ir delineando en base a las observaciones de campo en sitios tales como cortes de quebradas, afloramientos rocosos, y Como resultado del levantamiento geológico a escala 1: 1000 delimitando áreas de interés económico, ubicando estructuras importantes de caliza.

Las rocas dominantes que aflora en la zona de estudio, es la caliza de color rosado con presencia de bastante calcita y presencia olor.

Perteneciente al Grupo Copacabana (Pi - C). y con rocas con rocas calcáreas de caliza con horizontes estratificadas con potencias de 20 m, de rumbo preferencia N 61° W y buzamiento 29° NE .La estructura estudiada tiene una longitud de 50 m aproximadamente.

La caliza de Llacchuas es de origen detrítico, resultado de la acumulación y compactación de barros calizos y también de origen químico, formada por la precipitación de carbonato cálcico (CaCO_3).

2.5.- RESERVAS.

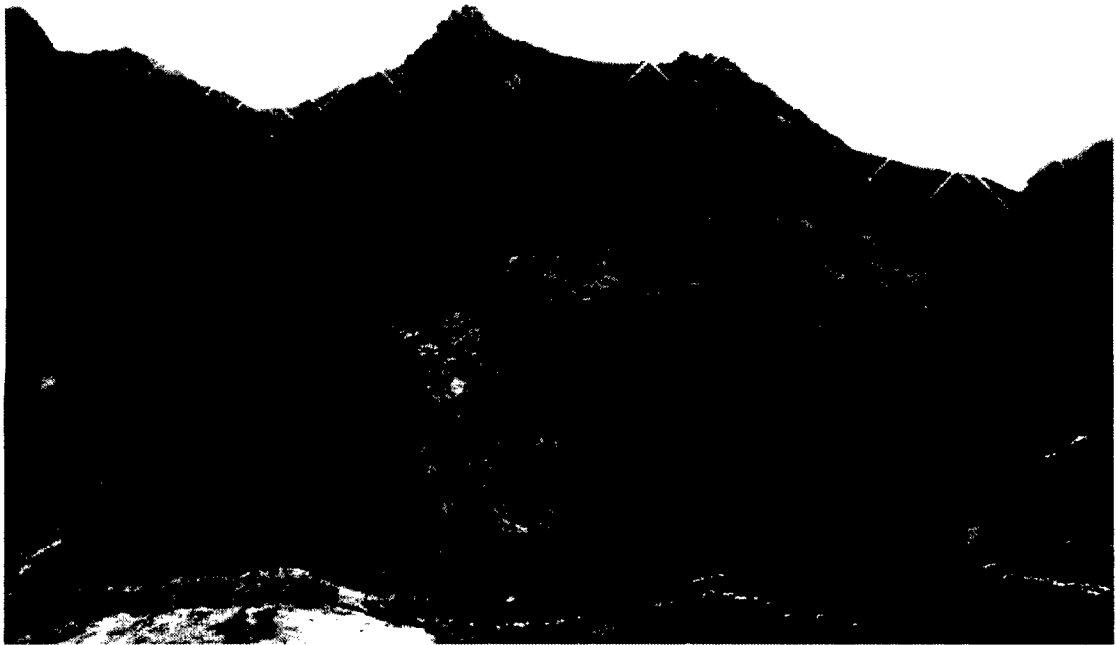
Para cumplir el objetivo de la presente tesis, la estimación de las reservas se ha llevado a cabo por métodos manuales, sólo hasta los límites que comprenden los afloramientos de caliza denotados en las curvas de nivel superior del 4280 al nivel inferior 3920 msnm, (Ver Plano Curvas de Nivel PC – 05); se tomaron curvas de nivel cada 10 m.

La estimación es hasta cierto punto conservadora, ya que tanto el método de cálculo como las condiciones geológicas del depósito denotan una gran cantidad de material explotable. Las calizas existentes en el yacimiento de Llacchuas son de gran extensión y se ha cubicado el afloramiento N° 1 y N°2, Ver Plano Longitudinal PL – 04 cuyos resultados son los siguientes:

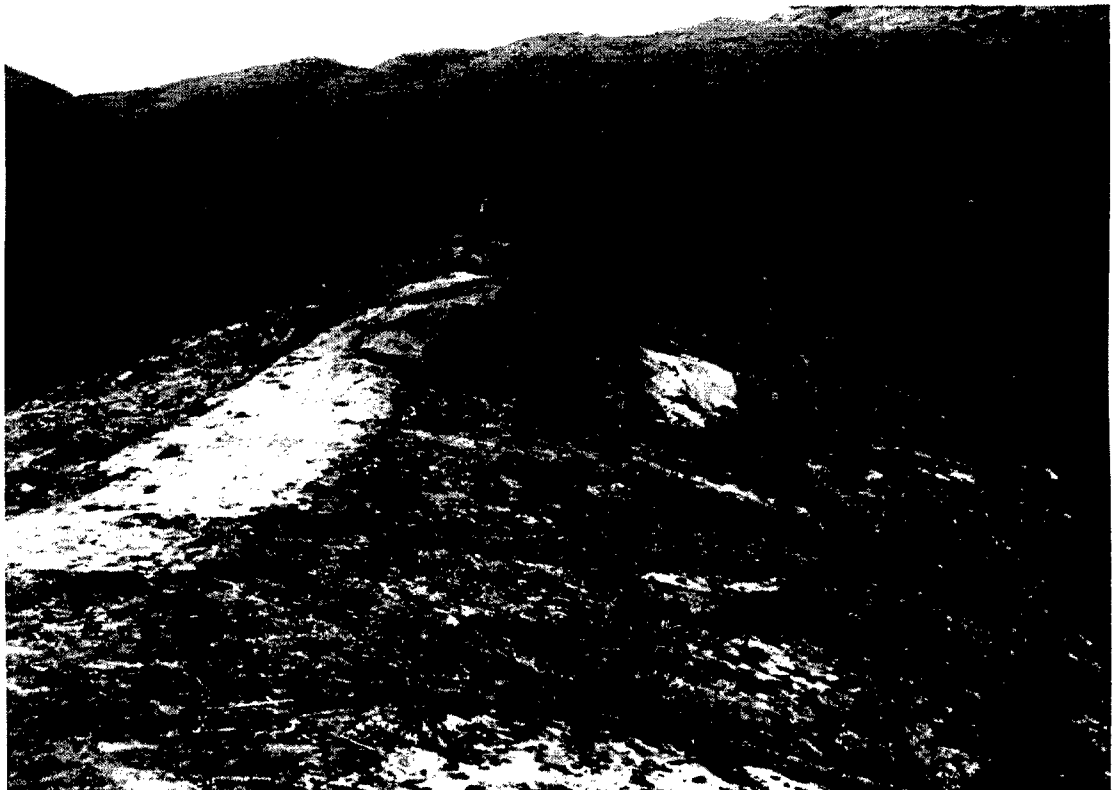
TABLA N° 03

**RESERVAS PROBADOS DEL YACIMIENTO DE ROCA CALCAREA DE
LLACCHUAS
ABRIL 2016**

AFLORAMIE NTO CALIZA	LARGO Mts.	ANCHO Mts.	PROFUNDID AD Mts.	VOLUMEN M3	LEY % CaO
1	520	35	12.5	227,500	53.43
2	431	30	11.4	147,402	52.91
TOTAL				374,902	
PROMEDIO					53.17



FOTOGRAFÍA N° 01: AFLORAMIENTO N° 1 DE ROCA CALCÁREA DE LLACCHUAS



FOTOGRAFÍA N° 02: AFLORAMIENTO N° 2 DE ROCA CALCÁREA DE LLACCHUAS

CAPITULO III

EVALUACION GEOMECANICA DE LA ROCA CALCAREA DEL YACIMIENTO DE LLACCHUAS

3.1.- MAPEO GEOMECÁNICO.

El mapeo geomecánico nos permite caracterizar la calidad de la masa rocosa del área en estudio, la finalidad de acuerdo al uso industrial será el de determinar la calidad de acuerdo a las variaciones que presenta y además de ser necesario conocer los diferentes tamaños de roca para su trabajabilidad, inalterabilidad y calidad estética. Este procedimiento se efectuó teniendo como base las tablas geomecánicas propuestas por Bieniawski y Barton, para cuyo trabajo de campo se ha dividido el macizo a lo largo del afloramiento de la

caliza en “Dominios estructurales”, los cuales presentan discontinuidades con condiciones similares y orientaciones distintas.

Luego Obtener los parámetros de clasificación mediante la medición de las características geológicas – estructurales y colocarlos en la tabla de registro. Y finalmente analizar los valores que están asignados para cada parámetro y sumar los valores para obtener el RMR⁴ básico

El mapeo se realizó por línea de detalles, técnica bastante aplicada que consiste en colocar una wincha en la cara del afloramiento y a cada metro ir registrando las discontinuidades existentes, anotando sus características como: rumbo, buzamiento, azimut, relleno, espaciamiento, rugosidad, persistencia y presencia de agua, pues el comportamiento mecánico del macizo rocoso se determina por el número de familias que se intercepta en un punto.

3.1.1. MEDICIONES ESTRUCTURALES.

En el presente trabajo de Tesis, para la evaluación geomecánica, se utilizaron instrumentos de medición sencillas, además se ha establecido una estación geomecánica, como punto de partida para la obtención de datos de medición, cuya información es la siguiente:

⁴ Clasificación geomecánica de Bieniawski

TABLA N° 04
Resumen de Ubicación de Estaciones Geomecánicas

Estación	Ubicación	Coordenadas UTM ⁽²⁾		Litología
		Este	Norte	
EG-01	Yacimiento Llacchuas	587633	8592534	Roca Caliza

Simbología:

EG: Estación Geomecánica.

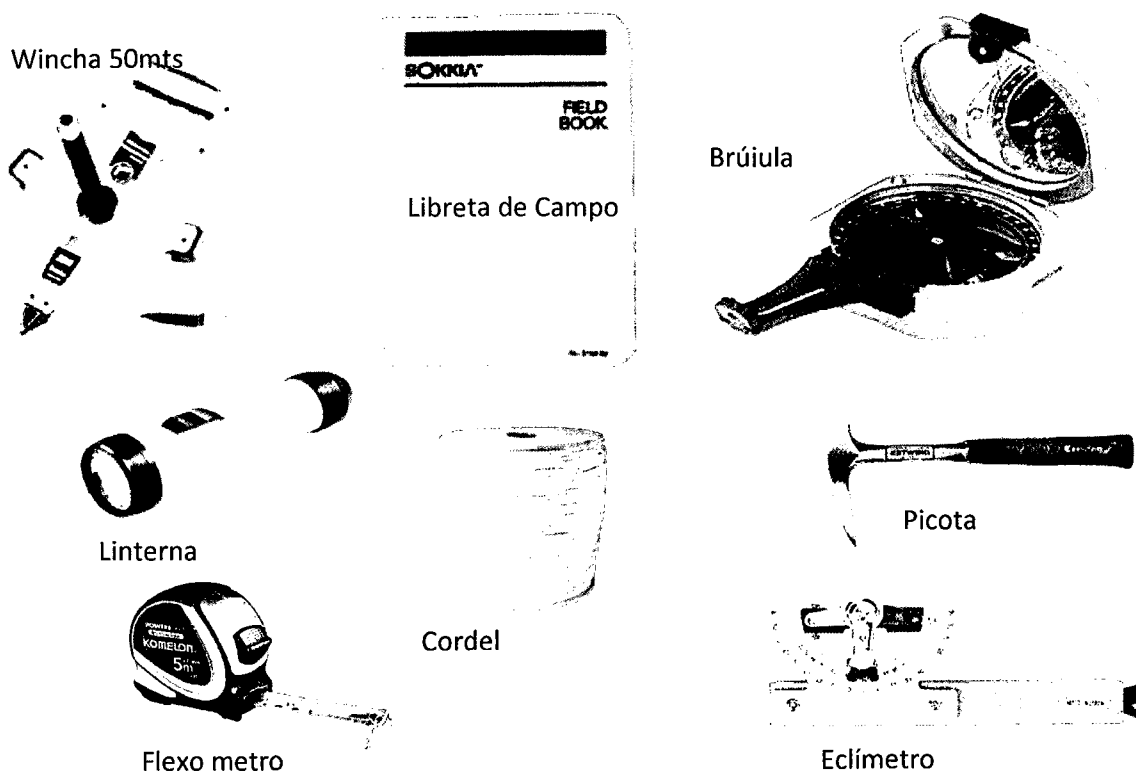
Nota:

(1) Las coordenadas mostradas fueron tomadas con GPS manual y son aproximadas.

FIGURA N° 02

EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE USO EN EL MAPEO GEOMECANICO

Para el proceso de campo se ha utilizado los siguientes instrumentos:



Una vez efectuado el levantamiento sistemático de varias familias de fracturas presentes en el yacimiento (Ver Anexo 1). Levantamiento de Discontinuidades), es posible dividir en dominios estructurales específico generalmente separados por superficies de fallas, pudiendo ser cada dominio objeto de un tratamiento específico en términos de orientación y de corte, los bloques grandes servirán como piedras ornamentales de arquitectura.

3.2.- REGISTRO DE DATOS PROGRAMA DIPS.

El levantamiento sistemático ha sido ingresado a la versión avanzada del programa de computo DIPS Versión 6 (ver anexo 02).

Para el análisis detallado de las estructuras geológicas, debe comprender el uso de proyecciones estereográficas, diagramas de puntos y frecuencias, que permita representar la posición y la dirección preferencial del fractura miento que presenta el macizo rocoso.

El mapeo geomecánico realizado en los afloramientos del yacimiento, han sido registrados en los formatos que se indican a continuación los cuales a su vez constituyen datos para el programa DIPS que da como resultado la proyección estereográfica de las diversas discontinuidades existentes en el afloramiento evaluado.

REGISTRO LINEAL			
N° de Tramos	N° de Registros	N° de Fracturas	Levantamiento Geomecánico
1	1	20	TABLA Nº 05

TESIS
UBICACIÓN
TIPO DE ROCA
F. ab. Por.
FECHA

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA Y QUÍMICA DE LA ROCA
CALCAREA, YACIMIENTO LLACCCHUAS.
SANTILLANA / SAN JOSE DE SECCE / LLACCCHUAS
CALIZA
TINCO CAMPOS, LIZ MAGALY
1 de abril de 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Fractura N°	Tipo de Estructura	Orientación		
		Rumbo	Buzamiento	Dirección de Buzamiento
		1	J	73°NW
2	J	50° NW	88° NE	40
3	J	66° NW	32° NE	24
4	J	39° NE	88° NW	309
5	J	11° NE	86° NW	281
6	J	36° NE	62° SE	126
7	J	42° NW	82° NE	48
8	J	58° NW	37° NE	32
9	J	56° NW	72° NE	34
10	J	25° NE	74° SE	115
11	J	40° NW	87° SW	230
12	J	45° NW	54° NE	45
13	J	56° NW	82° NE	34
14	J	55° NW	59° SW	215
15	J	60° NW	73° NE	30
16	J	55° NW	66° NE	215

ESPACIADO (mm)	PERSISTENCIA (m)	TERMINACIÓN	APERTURA (mm)	RELLENO		RUGOSIDAD	ONDULACION	METEORIZACION	AGUA SUBTERRANEA	OBSERVACIONES
				TIPO	ESPOSOR					
				2	3					
2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
2	3	2	5	1	1	4	2	1	1	
2	2	2	2	1	1	4	2	1	1	
2	1	2	2	1	1	4	2	1	1	
3	2	3	4	1	1	4	2	1	1	
2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
2	3	2	5	1	1	4	2	1	1	
2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
2	3	2	4	1	1	4	2	1	1	
3	3	1	5	1	1	4	2	1	1	
3	3	1	5	1	1	4	2	1	1	
3	3	1	4	1	1	4	2	1	1	
3	2	1	4	1	1	4	2	1	1	

Fractura N°	Tipo de Estructura	Orientación		
		Rumbo	Buzamiento	Dirección de Buzamiento
		1	J	18° NW
2	J	43° NW	89° SW	227
3	J	38° NW	64° NE	52
4	J	47° NW	65° NE	43
5	J	30° NW	60° NE	60
6	J	59° NW	64° SW	211
7	J	50° NW	50° NE	40

ESPACIADO (mm)	PERSISTENCIA (m)	TERMINACIÓN	APERTURA (mm)	RELLENO		RUGOSIDAD	ONDULACION	METEORIZACION	AGUA SUBTERRANEA	OBSERVACIONES
				TIPO	ESPOSOR					
				2	2					
1	3	2	3	1	1	4	2	1	1	
2	3	2	3	1	1	4	2	1	1	
2	3	2	3	1	1	4	2	1	1	
2	3	2	3	1	1	4	2	1	1	
2	2	2	2	1	1	4	2	1	1	
1	3	2	4	1	1	4	2	1	1	

Fractura N°	Tipo de Estructura	Orientación		Espaciado (mm)	Persistencia (m)	Terminación	Apertura (mm)	RELLENO		Rugosidad	Ondulación	Meteorización	Agua Subterránea	Observaciones
		Rumbo	Buzamiento					Tipo	Espesor					
1	J	45°NW	49°NE	1	3	2	5	1	1	4	2	1	1	
2	J	40°NW	58°NE	1	3	2	5	1	1	4	2	1	1	
3	J	15°NW	42°NE	3	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
4	J	35°NW	75°NE	1	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
5	J	43°NW	33°NE	2	3	2	4	1	1	4	2	1	1	
6	J	5°NE	76°SE	3	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
7	J	20°NW	64°NE	2	3	2	5	1	1	4	2	1	1	
8	J	15°NW	54°NE	2	3	2	4	1	1	4	2	1	1	
9	J	5°NW	61°NE	2	3	2	5	1	1	4	2	1	1	
10	J	42°NW	85°NE	3	3	2	5	1	1	4	2	1	1	

10 METROS

Fractura N°	Tipo de Estructura	Orientación		Espaciado (mm)	Persistencia (m)	Terminación	Apertura (mm)	RELLENO		Rugosidad	Ondulación	Meteorización	Agua Subterránea	Observaciones
		Rumbo	Buzamiento					Tipo	Espesor					
1	J	43°NE	74°NW	2	3	2	4	1	1	4	2	1	1	
2	J	25°NW	71°NE	2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
3	J	30°NW	70°NE	2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
4	J	20°NW	71°NE	2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
5	J	7°NW	66°NE	2	2	2	4	1	1	4	2	1	1	
6	J	10°NW	71°NE	2	2	2	3	1	1	4	2	1	1	

10 METROS

Tipo de Estructura		Espesado	
Cod.	Descripción	Cod.	Descripción
F	Falla	1	> 2000 mm
E	Estrato	2	600-2000 mm
J	Junta	3	200-600 mm
MF	Micro Falla	4	60 - 200 mm
		5	< 60

Tipo de Estructura		Rugosidad	
Cod.	Descripción	Cod.	Descripción
A		1	< 1 m
		2	1 - 3 m
		3	3 - 10 m
		4	10 - 20 m
		5	> 20

Tipo de Estructura		Terminación	
Cod.	Descripción	Cod.	Descripción
1	Limpio	1	Otra Discontinuidad
2	Cuadro	2	Roca Intacta
3	Arquilla	3	Continua
4	Oxidos		
5	Parizo		

Tipo de Estructura		Ondulación	
Cod.	Descripción	Cod.	Descripción
1	Limpio	1	Plana
2	Cuadro	2	Poco Ond.
3	Arquilla	3	Ondulada
4	Oxidos		
5	Parizo		

Tipo de Estructura		Apertura	
Cod.	Descripción	Cod.	Descripción
1	Limpio	1	Cerrada
2	Cuadro	2	< 0.1 mm
3	Arquilla	3	0.1 - 1 mm
4	Oxidos	4	1 - 5 mm
5	Parizo	5	> 5 mm

Tipo de Estructura		Meteorización	
Cod.	Descripción	Cod.	Descripción
1	Limpio	1	Seco
2	Cuadro	2	Húmedo
3	Arquilla	3	Mojado
4	Oxidos	4	Goteo
5	Parizo	5	Flujo

3.2.1. ESTRUCTURAS EN GENERAL SEGÙN DIPS

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades tanto mayores como menores, el procesamiento de los datos orientacionales se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica, utilizando la versión avanzada del programa de computo DIPS Versión 6. (Ver Anexo 03)

El software DIPS analiza las características geo-estructurales del macizo rocoso a estudiar con la cual nos será un apoyo en la toma de decisiones, nos permite identificar las familias principales de discontinuidades con la ayuda de sus elementos de Trazado de Polo el cual grafica los polos de los planos de discontinuidades, el Trazado Esparcido el cual agrupa los polos más cercanos para una evaluación más organizada, el Trazado de Contorno el cual nos permite apreciar las concentraciones de los polos estadísticamente, el Trazado de planos principales en el cual graficamos las familias principales de discontinuidades.

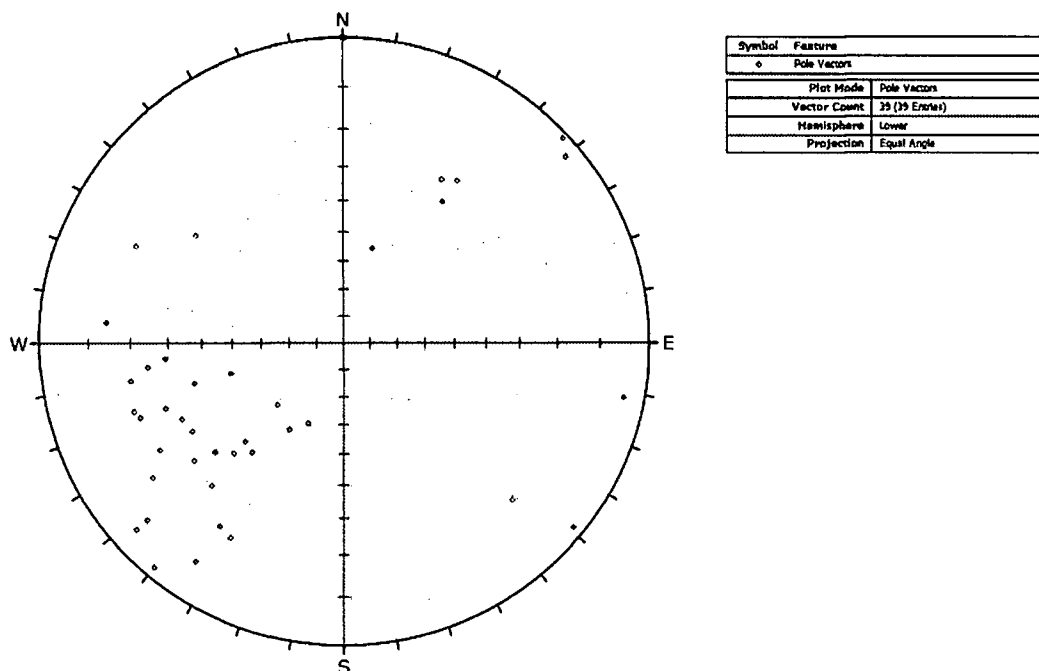
El trazado de rosetas nos indica el rumbo el que van los planos principales de las discontinuidades ayudándonos a tomar igualmente decisiones para trabajar adecuadamente y seguro.

Aquí se incluyen a los diferentes tipos de discontinuidades registradas en toda el área de estudio, las cuales la clasificaremos en términos de familia cuyo

origen y desarrollo refleje determinada evolución estructural constituyendo un primer indicador de la intensidad de fracturas,

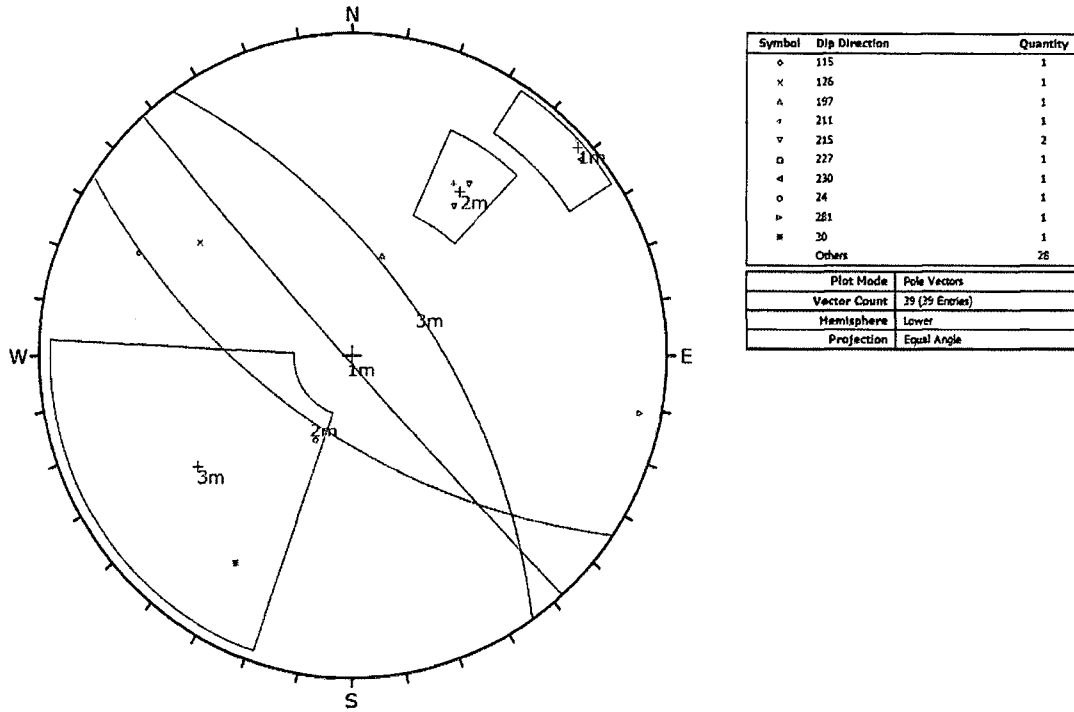
Los resultados del procesamiento de datos con el programa, se presentan en las Figuras 3, 4 y 5 respectivamente, los diagramas estereográficos de dispersión de polos, contornos y círculos máximos, y el diagrama de roseta

Fig. 3. Diagrama estereográfico compuesto de dispersión de polos de la Zona Estación



En el trazado de polo, los puntos son marcados en la estereografía en sistema ecuatorial, vemos que existen 39 entradas – registros y que corresponde a la orientación de cada característica lineal, mayormente se encuentra con rumbo SW.

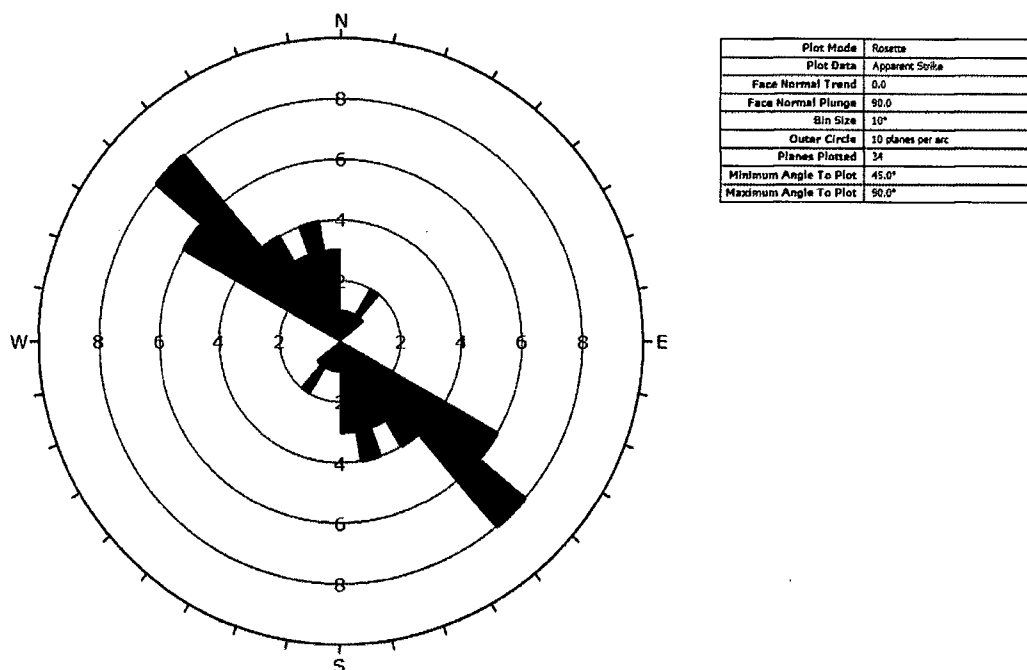
Fig. 4. Diagrama estereográfico compuesto de contornos de la Zona



Cada polo representa una de las discontinuidades medidas en el campo, se establece la situación de la discontinuidad en proyección estereográfica (en rojo, verde y celeste) el cual se encuentra a 90° yendo siempre perpendicular al plano de la discontinuidad trazada y en sentido opuesto a la dirección de buzamiento.

El programa muestra una representación de las familias de discontinuidades, con sus respectivas direcciones

Fig. 5. Diagrama de roseta del compósito de discontinuidades estructurales



Los límites de la orientación radial (azimut) de los segmentos de arcos corresponden a los rangos de rumbo del plano o grupo de planos siendo representados por el segmento. En otras palabras, el diagrama de roseta es un histograma radial de rumbo.

3.2.2. ESTADISTICO DE ORIENTACION DE DATOS

El programa DIPS fue diseñado por el Grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto. DIPS está diseñado para el análisis interactivo de la orientación de base de datos geológicos. El programa es capaz de muchas aplicaciones y está diseñado

para el usuario principiante y ocasional, y para el usuario experimentado en proyecciones estereográficas quien desea utilizar herramientas más avanzadas en el análisis de datos geológicos.

DIPS permite al usuario analizar y visualizar el dato estructural siguiendo las mismas técnicas usadas en el manual estereográfico. En adición, este tiene muchos rasgos computacionales, tanto como contornos estadísticos de orientación grupal, excelente orientación y cálculo confidencial, variabilidad grupal, y análisis atribuidos con características cualitativas y cuantitativas.

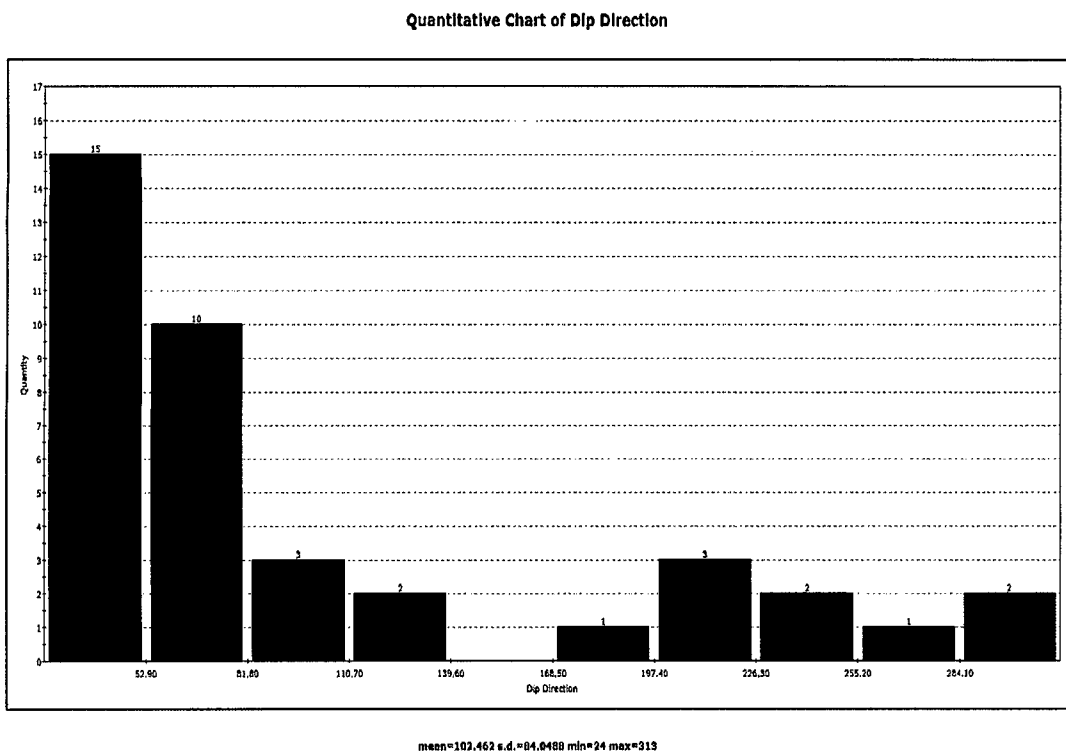


Grafico. 1. Histograma de barras Buzamiento y Dirección de Buzamiento

El programa DIPS, muestra el Histograma el cual representa que de 39 entradas, la dirección de buzamiento menor es de 24 con poco menos de 10 entradas y la mayor de 313 con más de 25 entradas, teniendo y promedio de 102.462.

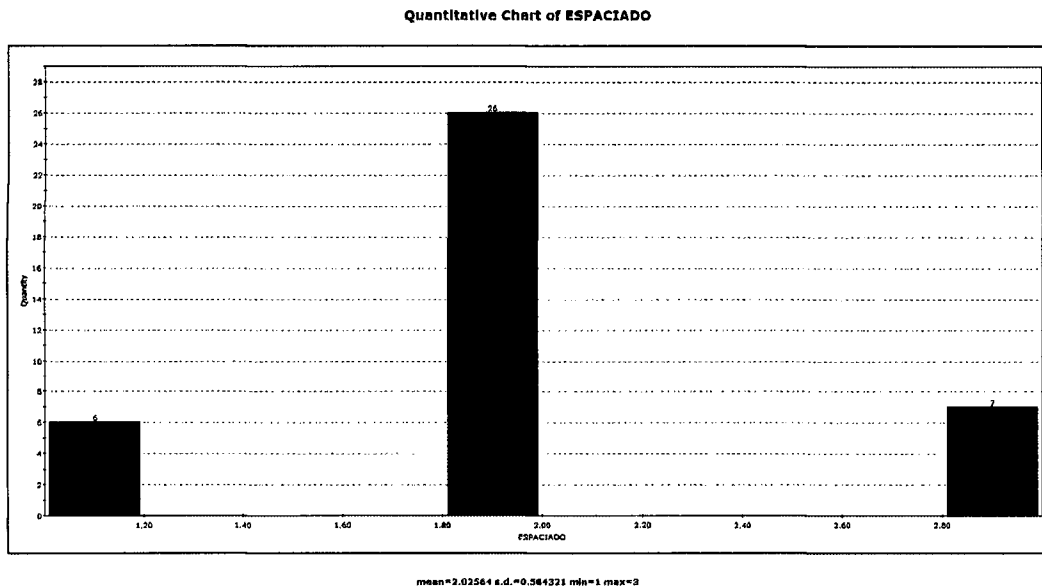


Grafico. 2. Histograma de Espaciado

El programa DIPS, muestra el Histograma el cual representa que de 39 entradas, 26 tienen un promedio de espaciado es de 1

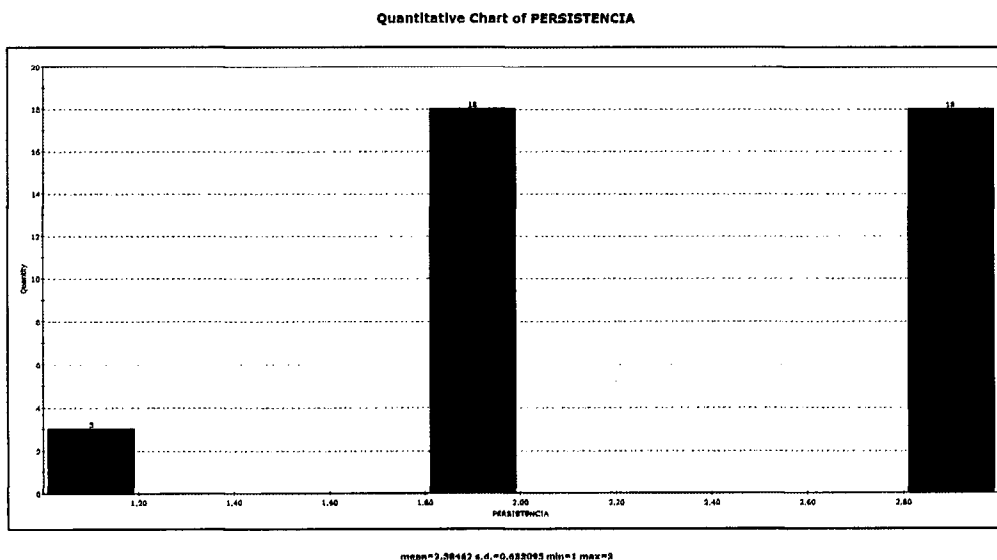


Grafico. 3. Histograma de Persistencia

El programa DIPS, muestra el Histograma el cual representa que de 39 entradas, el promedio de persistencia es de 2

192668

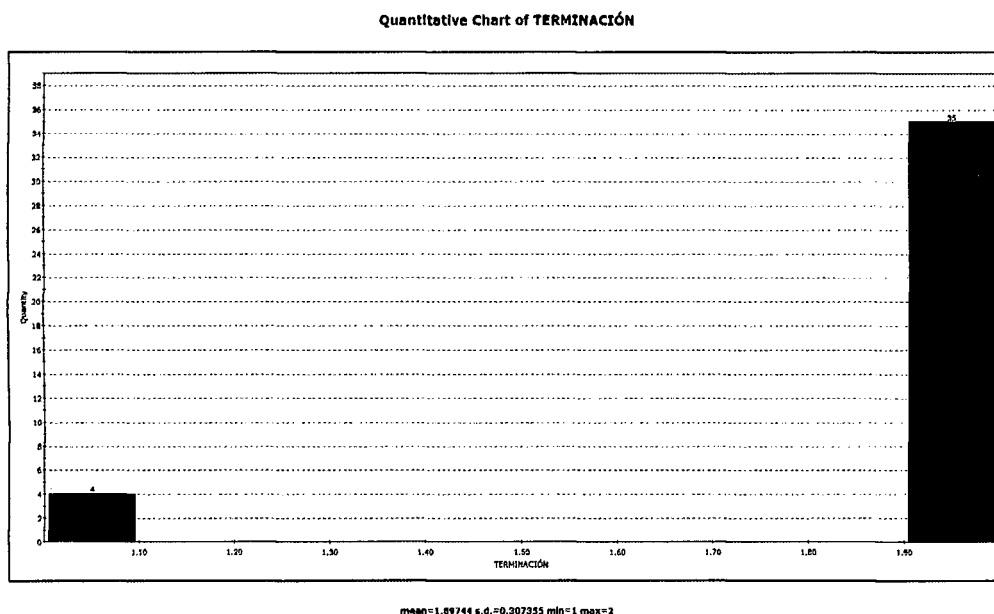
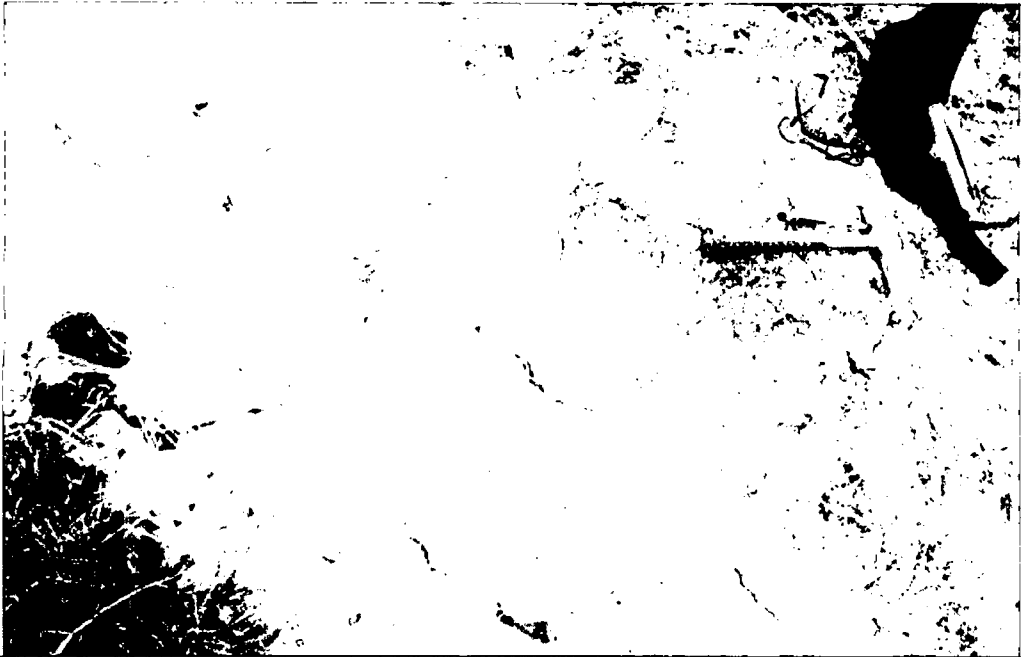


Grafico. 4. Histograma de Terminación

El programa DIPS, muestra el Histograma el cual representa que de 39 entradas, el promedio de terminación es de 2

3.2.3. OTRAS CONSIDERACIONES

El agua presente en los macizos rocosos reduce su resistencia, genera presiones en el interior de los mismos y altera sus propiedades, Para evaluar la influencia del agua deben estudiarse las características de la permeabilidad y el flujo en los macizos rocosos, en el Yacimiento de LLacchuas no presenta flujo de agua., por lo que en la presente no se tomará en consideración las condiciones del agua subterránea.



Fotografía N° 03 Vista de cerca macizo rocoso de caliza in-situ

3.3. PROPIEDADES DE LA CALIZA

Las propiedades de las rocas calizas sirven para poder diferenciarlas unas de otras y para poder dar a cada una la utilización más adecuada a sus características, para esto es importante evaluar la idoneidad de la caliza en función a su resistencia mecánica y dependiendo del uso que se le va a destinar; Solo así se podrá predecir el comportamiento que vaya a tener cuando esté puesta como uso ornamental, sometida a esfuerzos, con el transcurso del tiempo.

En el caso del yacimiento de la Caliza de Llacchuas, se ha evaluado sometiéndola a ensayos en laboratorios, tomando en consideración la siguiente prelación:

TABLA N° 06

PROPIEDADES DE LA ROCA CALCAREA – YACIMIENTO DE LLACCHUAS

	Propiedades	Métodos de determinación
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la Compresión Simple	Ensayo de compresión uniaxial. Ensayo de carga puntual. Ensayo de Corte Directo
	Resistencia a tracción	Ensayo de Tracción
Propiedades de identificación	Composición mineralógica.	Descripción visual.
	Textura.	Macroscopía
	Tamaño de grano.	
	Color.	
	Porosidad (p)	
	Densidad	Técnicas de Laboratorio
	Contenido de Humedad	
	Permeabilidad	
Propiedades de clasificación	Clasificación de la Masa Rocosa	
	Calidad de Roca	RMR Q de Barton
Propiedades químicas	Composición Química	Análisis Químico

FUENTE: Vallejo Geología

3.4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA.

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

El desarrollo de la mecánica de rocas se inició como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras superficiales y subterráneas y explotación de recursos mineros.

Los distintos ámbitos de aplicación de la mecánica de rocas se pueden agrupar en aquellos en que el material rocoso constituye la estructura (excavación de túneles, galerías, taludes, etc.), aquellos en que la roca es el soporte de otras estructuras (cimentaciones de edificios, presas, etc.) y aquellos en los que las rocas se emplean como material de construcción (escolleras, terraplenes, rellenos, etc.).

Las propiedades mecánicas se relacionan con el comportamiento de las rocas frente a esfuerzo transmitidos, los que pueden generar una serie de transformaciones o deformaciones.

En ellas influye la naturaleza de la roca, la magnitud y naturaleza del esfuerzo, y el tiempo empleado en la deformación, que puede ser elástica (plástica) o inelástica (deformación permanente).

La finalidad de la mecánica de rocas es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos.

La caracterización de las propiedades mecánicas se puede abordar desde el punto de vista estático cuantificando la resistencia a la rotura de la roca por medio de ensayos de compresión o de tracción (flexión y brasileño).

Para realizar estos ensayos se necesitan prensas que sean capaces de someter a las rocas a esfuerzos elevados, el que permite estimar a resistencia de la roca frente a una carga puntual.

En rocas muy fisuradas las propiedades mecánicas se ven condicionadas por las discontinuidades, evidenciándose en general una resistencia a la rotura mayor cuando el ángulo existente entre las fracturas y la dirección en que se aplica la carga es bajo ($- 0^\circ$) o alto ($- 90^\circ$), y es menor para ángulos intermedios.

3.4.1. OBJETIVOS.

Determinar la resistencia de la roca ante los diversos tipos de esfuerzos aplicados sobre él y ver su grado de estabilidad para uso industrial.

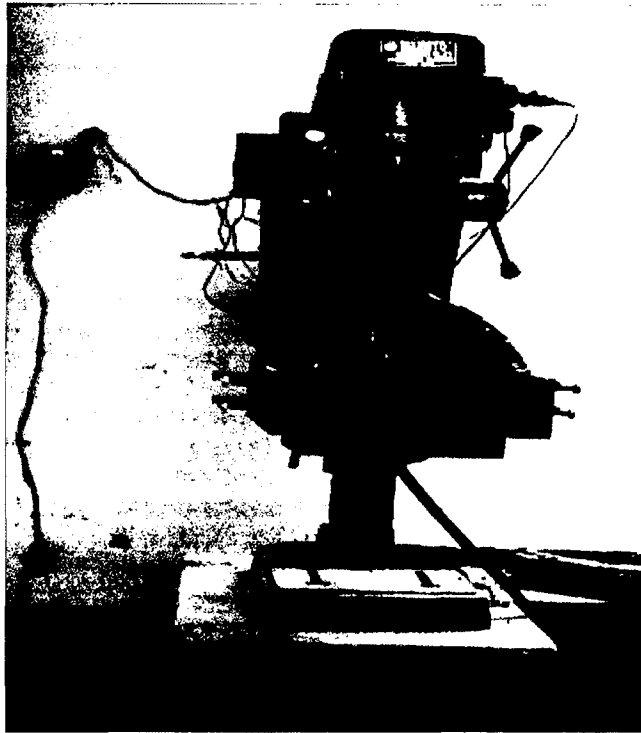
A continuación se presentan las características de cada ensayo de mecánica de rocas a saber. Estos procedimientos están normalizados por la I.S.R.M. 68 (INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS, por sus siglas en inglés).

3.4.2. EQUIPOS:

Los equipos de laboratorio de mecánica de rocas de la FIMGC usados en la determinación de las propiedades mecánicas de las roca calcáreas de Llacchuas fueron:

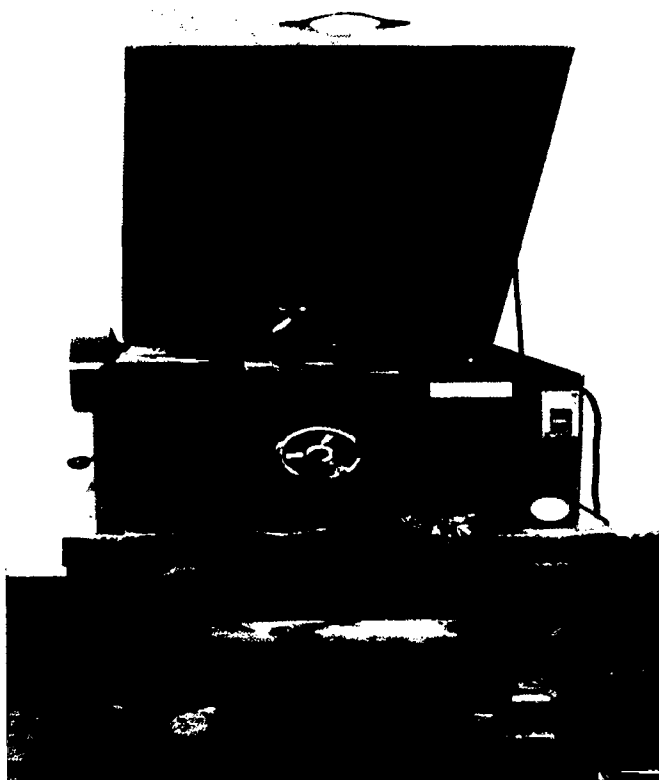
- Sondaje diamantino o sacatestigos.
- Cortadora diamantina.
- Carga puntual.
- Corte directo.
- Compresión.

Estos equipos que existen en el laboratorio de mecánica de rocas de la FIMGC se muestran a continuación:



FOTOGRAFÍA
Nº 4

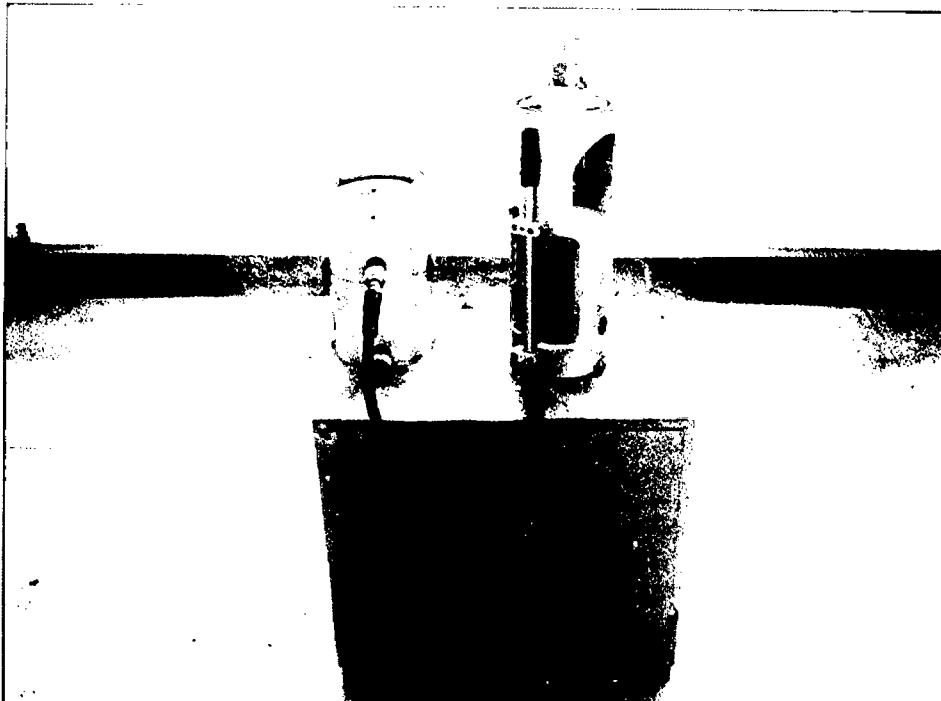
SONDAJE
DIAMANTINO
PARA
OBTENCIÓN
DE TESTIGOS
CILÍNDRICOS



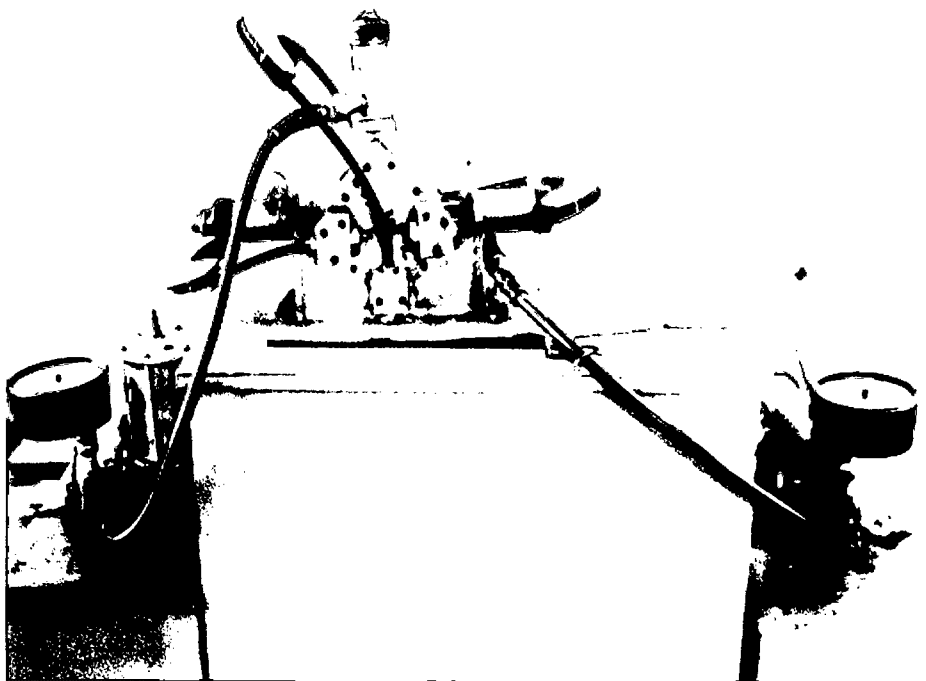
FOTOGRAFÍA
Nº 5

CORTADORA
DE DISCO
DIAMANTINO

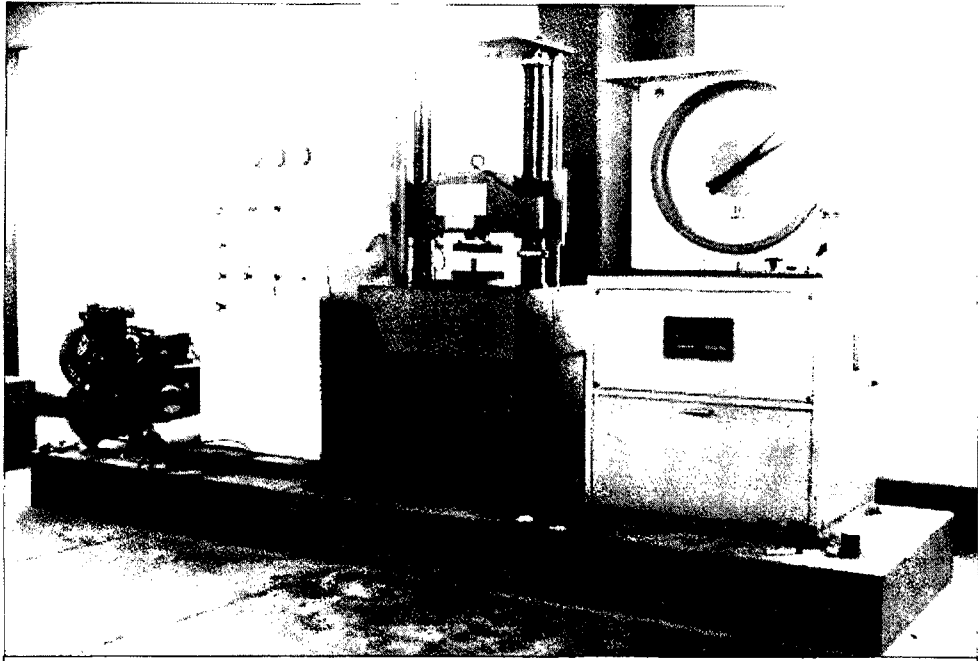
(OBTENCIÓN
DE DISCOS
PARA
ENSAYOS)



FOTOGRAFÍA N° 6 EQUIPO DE CARGA PUNTUAL



FOTOGRAFÍA N° 7 EQUIPO DE CORTE DIRECTO



FOTOGRAFÍA N° 8. EQUIPO DE COMPRESIÓN: CONSOLA DE MANDO, PRENSA HIDRÁULICA, PANEL DE CELDAS Y COMPRESORA.

3.4.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.4.3.1 MUESTREO

Las muestras que se obtuvieron en campo, fueron dos las cuales fueron guardadas en bolsas plásticas e identificadas con una nomenclatura, de acuerdo a la localización de toma de muestra en campo, que permitiera ubicarla rápidamente, en planos y columnas, y que además permitiera conocer al momento del ensayo, la procedencia de la misma, este identificador se especifica a continuación, según la procedencia de la muestra.

TABLA N° 07

RESUMEN DE UBICACIÓN DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS

Muestra	Ubicación	Coordenadas UTM ⁽¹⁾		Litología
		Este	Norte	
WGS4 -1	Yacimiento Llacchuas	587633	8592534	Roca Caliza
WGS4 -2	Yacimiento Llacchuas	587511	8592674	Roca Caliza

Simbología:

EG: Estación Geomecánica.

Nota.

(1) Las coordenadas mostradas fueron tomadas con GPS manual y son aproximadas. Ver Anexo 04

3.4.3.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Luego de la identificación, y descripción litológica de la muestra, se procedió a la preparación de estas según el tipo de ensayo a realizar. Para esto fue necesario preparar la muestra y llevarla al equipo de sondaje diamantino para obtención de testigos cilíndricos, el uso de un Vernier, para medir las diferentes dimensiones de la muestra, y realizar el corte con el equipo de disco diamantino.

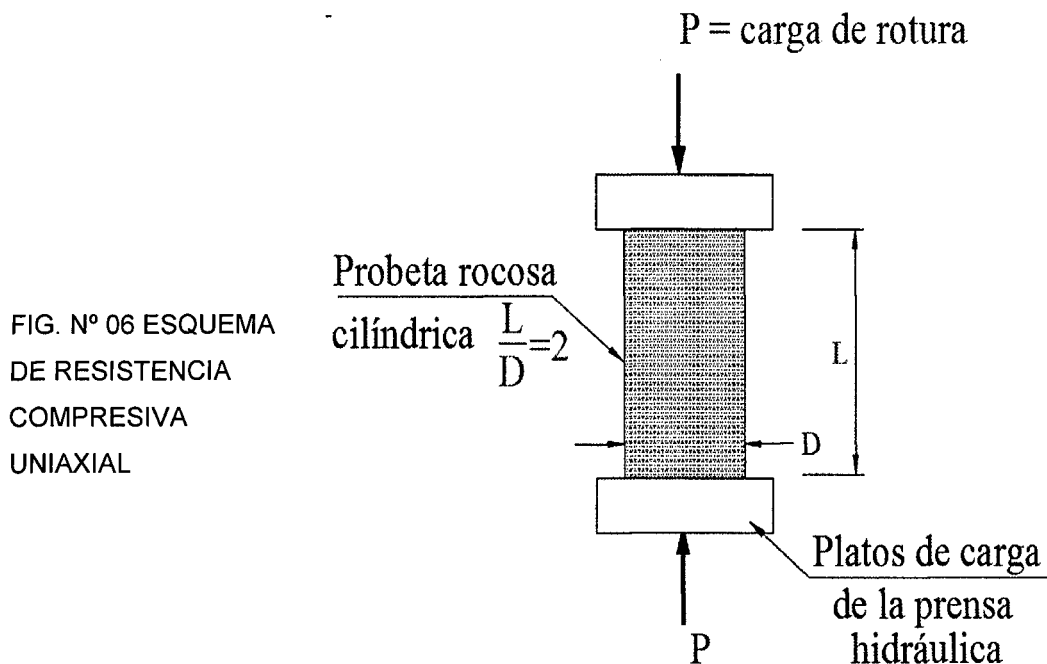
3.4.4.- ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL.

El esfuerzo máximo de compresión es definido como el esfuerzo necesario para producir la fractura del testigo cilíndrico.

Se considera que la fractura ocurre cuando se produce una caída repentina en la aplicación de la carga, no siendo capaz el testigo de soportar incrementos de carga posteriores.

Define la fuerza o carga por unidad de superficie bajo la cual una roca fallará por corte o cizalla.

Objetivo: determinar la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.



3.4.4.1. METODOLOGÍA Y CÁLCULOS

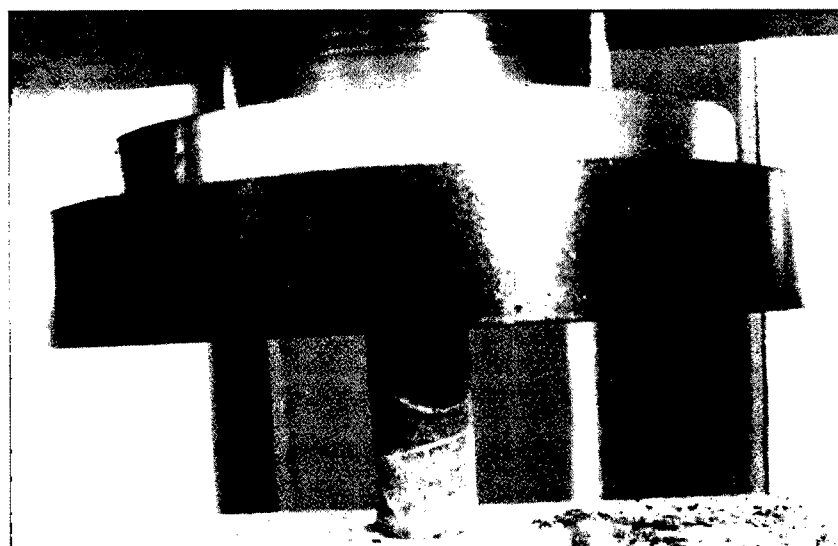
El esfuerzo de compresión se obtiene dividiendo la máxima carga aplicada sobre el testigo durante el ensayo entre el área de la sección circular del testigo expresado en kgf/cm^2 o KPa .

TABLA N° 08

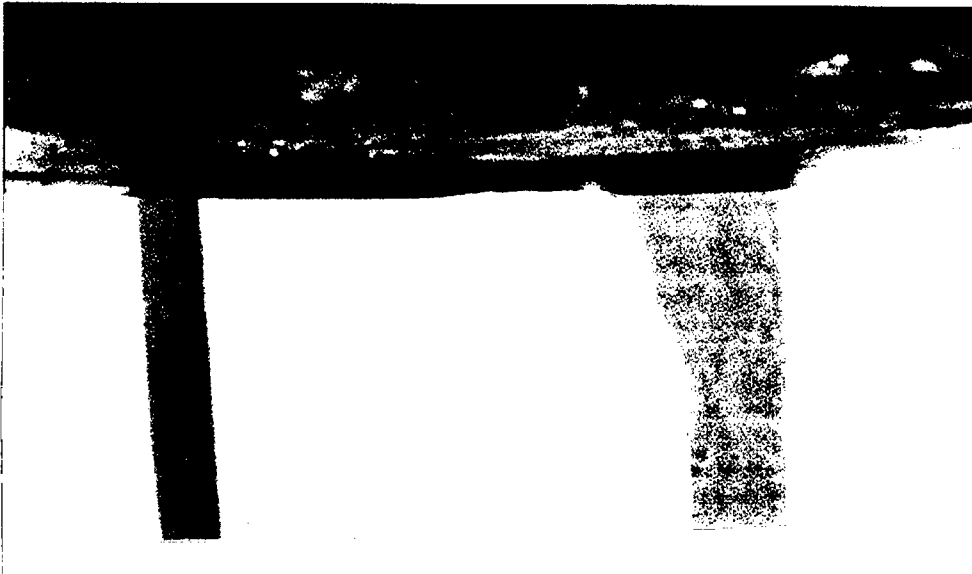
**CÁLCULOS REALIZADOS ENSAYO DE RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN UNIAXIAL.**

FÓRMULA	APLICACIÓN
$\sigma_c = \frac{P}{A}$	σ_c : Resistencia en Kg/cm^2 A : Área de Probeta $\pi \times D^2 / 4$ P : carga de rotura, Kg D: diámetro de la probeta, cm.

La siguiente son fotografías muestran el ensayo realizado para la determinación de la resistencia a la compresión simple de la caliza de Llacchuas.



FOTOGRAFÍA N° 9. PROBETA CILÍNDRICA DE ROCA CALIZA ANTES DE SER SOMETIDA A ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL.



FOTOGRAFÍA N° 10. PROBETA CILÍNDRICA DE CALIZA LUEGO DE SER SOMETIDA A ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL.

3.4.4.2. APLICACIONES:

Esta característica mecánica es importante conocerla cuando la roca se va a emplear en obras destinadas a soportar cargas altas, bien sea en el transporte, utilización o en su almacenamiento, Los resultados de la resistencia a la compresión uniaxial son usados en:

- Clasificación geomecánica de Bieniawski.
- Resistencia al desgaste (cuando se usa como baldosas para piso).

Los resultados de los ensayos de compresión uniaxial se indican en los cuadros siguientes.



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) -312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

REALIZADO POR:
TESIS:

Liz Magaly Tinco Campós
Evaluación Geomecánica y Química de las Rocas Calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta - Ayacucho.

MUESTRA: N° 1 (W654)
Roca de afloramiento

PROCEDENCIA:

Lugar: Llacchuas
Distrito: Distrito de Santillana

Provincia: Huanta
Depto: Ayacucho

MUESTRA N°	PROBETA			CARGA DE ROTURA Kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAXIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Diámetro cm.	Longitud cm.	Area cm ²				
					Kg/cm ²	MPa	
1	2.98	5.95	6.97	10,429	1,495.27	146.59	Caliza

FECHA: Abril del 2016

OBSERVACION: Corregida según Prodyakonov (L/D=2)



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef.(066) -312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

REALIZADO POR:

Liz Magaly Tinco Campos

TESIS:

Evaluación Geomecánica y Química de las Rocas Calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta - Ayacucho.

MUESTRA: N° 2

Roca de afloramiento

PROCEDENCIA:

Lugar: Llacchuas

Provincia: Huanta

Distrito: Distrito de Santillana

Depto: Ayacucho

MUESTRA N°	PROBETA			CARGA DE ROTURA Kg	RESISTENCIA COMPRESION UNIAXIAL		NOMBRE DE LA ROCA
	Diámetro cm.	Longitud cm.	Area cm ²				
					Kg/cm ²	MPa	
2	2.98	5.96	6.97	7,059	1,012.09	99.22	Caliza

FECHA: Abril del 2016

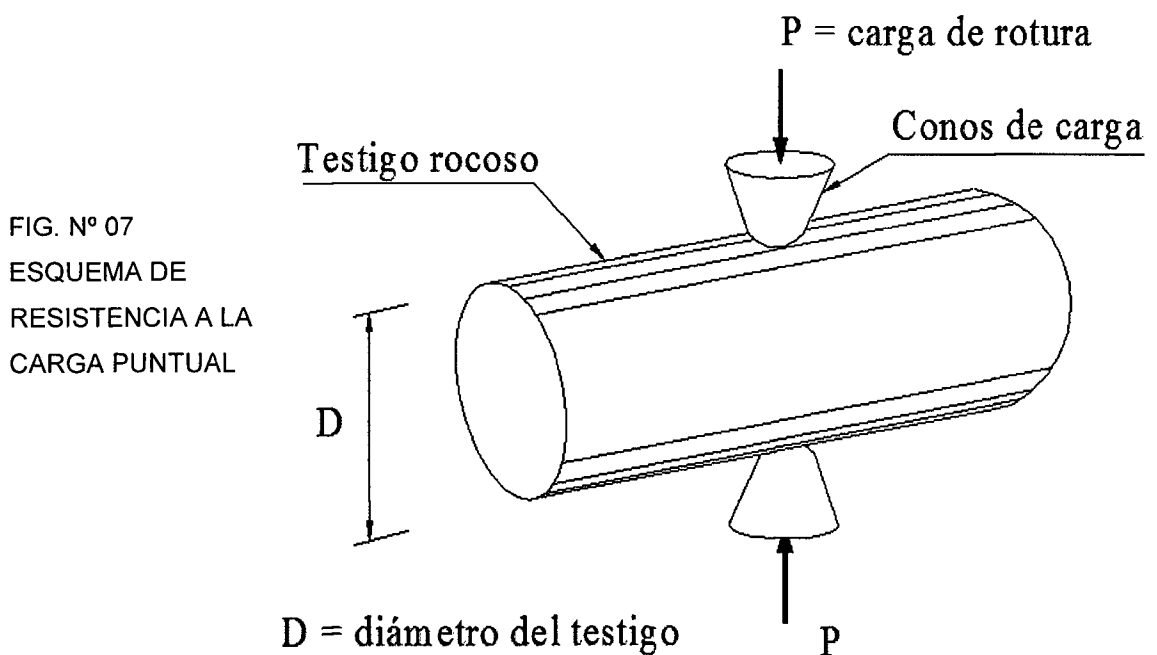
OBSERVACION: Corregida según Prodyakonov (L/D=2)

3.4.5.- ENSAYO DE CARGA PUNTUAL.

También denominado PLT (point load test) o ensayo Franklin. Se utiliza para determinar la resistencia a compresión simple de fragmentos irregulares de roca o de testigos cilindricos de sondeos, a partir del índice I_s obtenido en el ensayo. Los resultados son más fiables si se ensayan testigos.

El ensayo no está indicado para rocas blandas o con anisotropía muy marcada (esquistos, pizarras, etc.).

Objetivo: Determinar el índice de resistencia a la carga puntual:



3.4.5.1. METODOLOGÍA Y CÁLCULOS

El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa portátil (Figuras 6). A partir de la caída de rotura se obtiene un índice, I_s , que puede ser correlacionado con la resistencia a compresión simple del material ensayado:

TABLA N° 09

CÁLCULOS REALIZADOS ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

FÓRMULA	APLICACIÓN
$I_s = \frac{P}{D^2}$	P= carga de rotura, Kg D = diámetro del testigo, cm

3.4.5.2. APLICACIONES:

Esta característica mecánica es importante conocerla cuando la roca se va a emplear en obras destinadas a soportar cargas altas puesto que es correlacionable con la resistencia a compresión simple y además de Determinar el Índice de carga puntual en la tabla de Bieniawski, que nos servirá más adelante para determinar la calidad de la roca.

Los resultados de los ensayos de carga puntual se detallan en formatos que se adjuntan a continuación:



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia S/n
Telef. (064) - 812510 - Anexo 151
Ayacucho - Peru

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

REALIZADO POR: Magaly Tinco Campos

TESIS: Evaluación Geomecánica y Química de las rocas calcáreas del yacimiento de Llacchuas - Huanta - Ayacucho.

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas
Distrito: Santillana
Provincia: Huanta
Depto. : Ayacucho

Franklin
(Cargado diametral)
MUESTRA: N° 1
Roca de afloramiento

MUESTRA N°	PROBETA		CARGA DE FALLA KG	INDICE DE CARGA PUNTUAL		OBSERVACIONES
	DIAMETRO cm.	LARGO cm.		Kg/cm ²	MPa	
	1	2.98				

FECHA: Abril del 2016



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia S/n
Telef. (064) - 812510 - Anexo 151
Ayacucho - Peru

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

REALIZADO POR: Magaly Tinco Campos

TESIS: Implementación de un sistema de información geomecánica de las rocas calcáreas del yacimiento de Llacchuas - Huanta - Ayacucho.

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas
Distrito: Santillana
Provincia: Huanta
Depto. : Ayacucho

Franklin
(Cargado diametral)
MUESTRA: N° 2
Roca de afloramiento

MUESTRA (Codigo)	PROBETA		CARGA DE FALLA KG	INDICE DE CARGA PUNTUAL		OBSERVACIONES
	DIAMETRO cm.	LARGO cm.		Kg/cm2	MPa	
2	2.97	5.94	944	42.03	4.12	Caliza

FECHA: Abril del 2016



FOTOGRAFÍA N° 11. PROBETA CILÍNDRICA DE ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

3.4.6.- ENSAYO AL CORTE DIRECTO.

Aunque se sabe que la predicción exacta del comportamiento del macizo rocoso es imposible. Es necesario distinguir dos conceptos: ángulo de fricción interna y ángulo de fricción residual. El ángulo de fricción interna actúa mientras la roca no ha fallado mientras que el ángulo de fricción residual actúa cuando se ha producido la falla.

Objeto: Determinar la resistencia al corte de las discontinuidades. Cuantificar los parámetros de: Cohesión (C), expresados en Kg/cm² o MPa y ángulo de fricción (ϕ) en grados.

El criterio de rotura aplicado es de Coulomb – Navier.

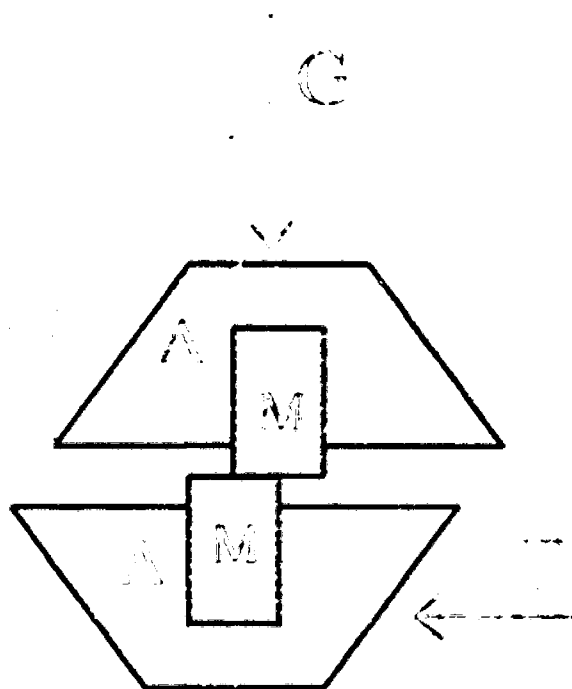


FIG. N° 08

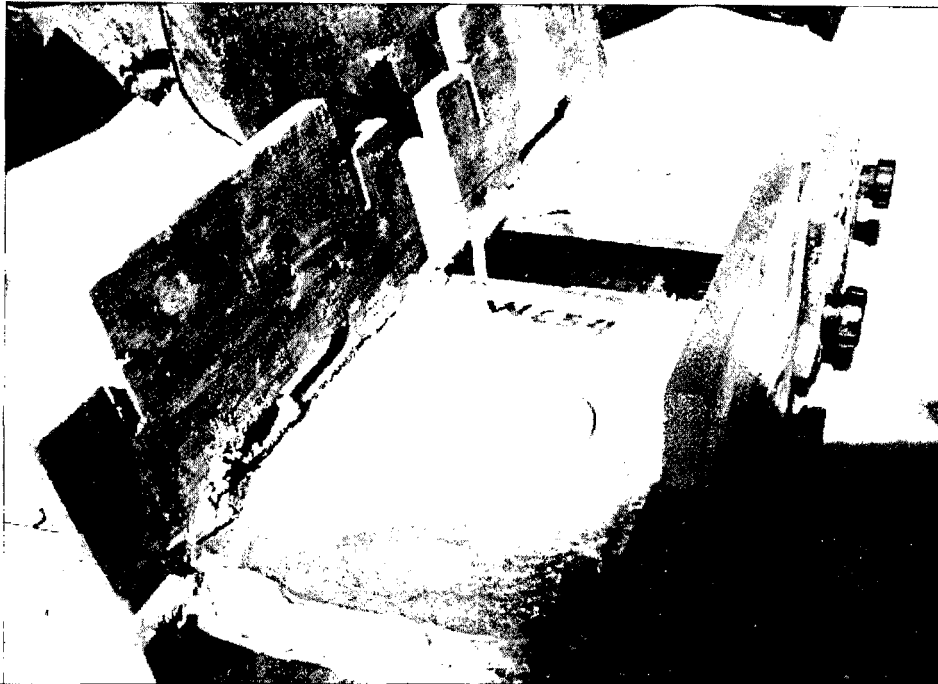
ESQUEMA DE ENSAYO
DE CORTE DIRECTO

3.4.6.1. METODOLOGÍA Y CÁLCULOS

Se realizó el ensayo de Corte directo a través de discontinuidades en Roca, a fin de determinar los parámetros de fricción y cohesión, en el macizo rocoso.

Estos ensayos fueron hechos en muestras de Roca, en su mayoría Diaclasadas, pertenecientes a la zona de estudio.

Para la realización del ensayo de corte directo se preparó las muestras de roca según la norma ASTM D5607-95, donde las cajas de corte inferior y superior se muestran en las fotos siguientes:



FOTOGRAFÍA N° 12. MUESTRAS DE ROCA CALIZA CON DIÁMETRO IGUAL A 50 MM. EN DOS MOLDES PREPARADOS PARA ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CAJA DE HOEK

3.4.6.2. APLICACIONES:

La determinación del esfuerzo cortante de un testigo de roca es importante en el diseño de estructuras como: taludes de roca, cimentaciones de presas, túneles y otros. Como uso Industrial para hallar la carga portante del piso de fundación en edificaciones, puentes y reservorios.

Los resultados de los ensayos de corte directo de las muestras de la caliza de Llacchuas se detallan en los cuadros adjuntos



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

REALIZADO POR: Liz Magaly Tinco Campos
ESIS: Evaluación Geomecánica y Química de las Rocas Calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta Ayacucho.

ROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas MUESTRA: N° 1 (654)
Distrito: Santillana Roca de afloramiento
Provincia: Huanta
Depto: Ayacucho AREA: 19.48 m²

CARGA NORMAL (KN): 3.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.82	20
1.96	21
2.09	22

CARGA NORMAL (KN): 4.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.39	25
2.53	26
2.67	27

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.98	30
3.12	31
3.25	32

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
3.55	35
3.68	36
3.82	37

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
Kg/cm ²	Kg/cm ²
15.71	10.95
20.94	13.97
26.18	16.99
31.41	20.01

RESULTADOS	
COHESION	ANGULO FRICCION
Kg/cm ²	Grados
1.88	30°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color rosado claro.
La roca es compacto y dura.

ECHA: Abril del 2016.

RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

TESIS: Evaluación Geomecánica y Química de las Rocas Calcáreas del yacimiento de Llacchuas Huanta - Ayacucho.

UBICACION: Lugar: Llacchuas
 Distrito: Santillana
 MUESTRA: N° 1
 FECHA: Abril del 2016

Provincia: Huanta
 Departamento: Ayacucho

ROCA: Caliza

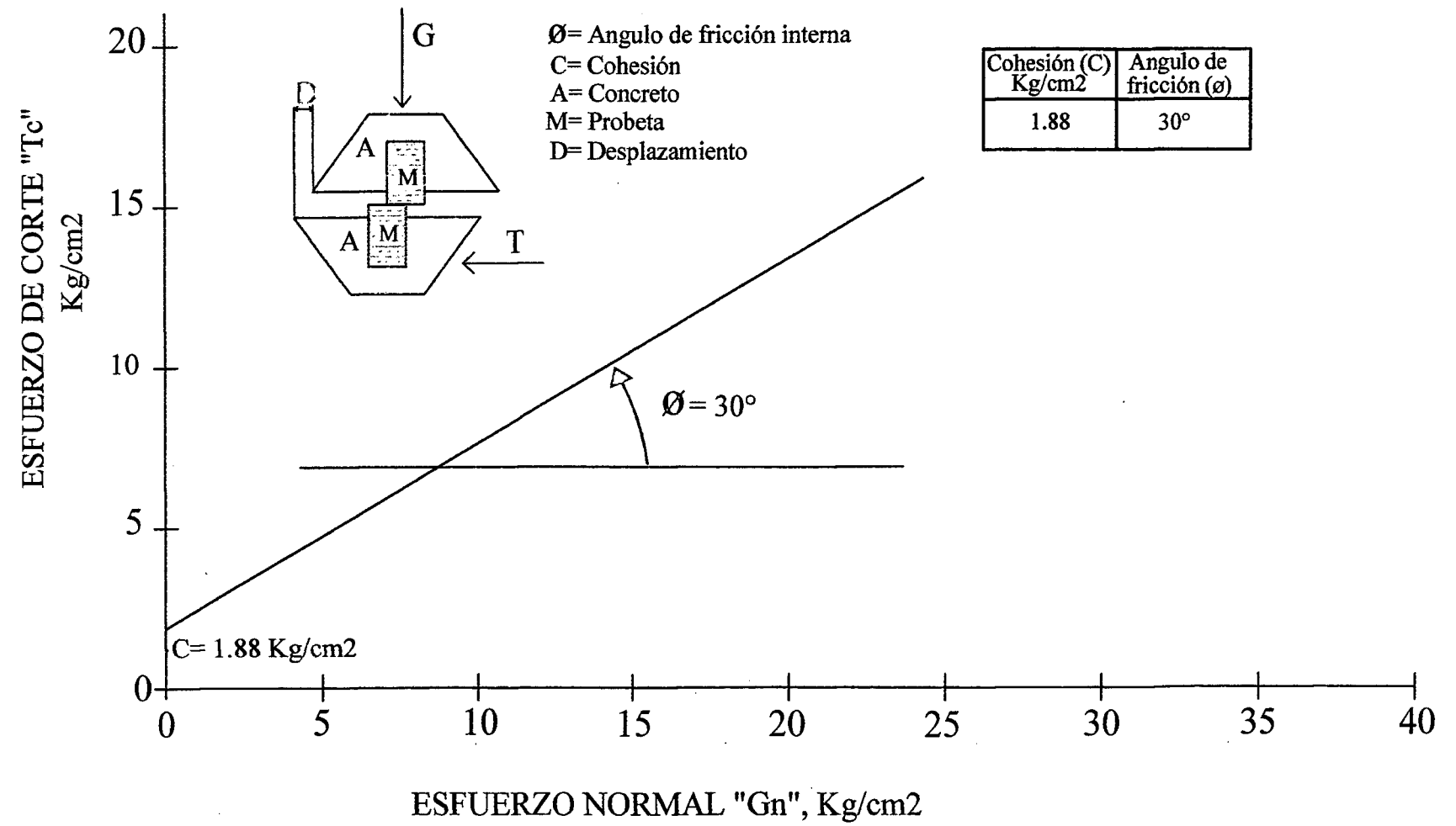


GRAFICO N° 1



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
UNSCH - FIMGC

Av. Independencia s/n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho Perú

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

REALIZADO POR: Liz Magaly Tinco Campos
TESIS: Evaluación Geomecánica y Química de las Rocas Calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta Ayacucho.

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas
Distrito: Santillana
Provincia: Huanta
Depto: Ayacucho

MUESTRA: N° 2
Roca de afloramiento

AREA: 19.48 m²

CARGA NORMAL (KN): 3.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
1.66	18
1.80	19
1.93	20

CARGA NORMAL (KN): 4.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.18	23
2.32	24
2.46	25

CARGA NORMAL (KN): 5.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
2.72	28
2.86	29
2.99	30

CARGA NORMAL (KN): 6.0	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 ⁻² mm.
3.25	33
3.38	34
3.52	35

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
Kg/cm ²	Kg/cm ²
15.71	10.08
20.94	12.86
26.18	15.65
31.41	18.43

RESULTADOS	
COHESION	ANGULO FRICCION
Kg/cm ²	Grados
1.73	28°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:
La muestra de roca corresponde a una CALIZA, de color rosado claro.
La roca es compacto y dura.

FECHA: Abril del 2016.

RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

TESIS: Evaluación Geomecánica y Química de las Rocas Calcáreas del yacimiento de Llacchuas
Huanta - Ayacucho.

UBICACION: Lugar: Llacchuas
Distrito: Santillana

Provincia: Huanta
Departamento: Ayacucho

MUESTRA: N° 2

FECHA: Abril del 2016

ROCA: Caliza

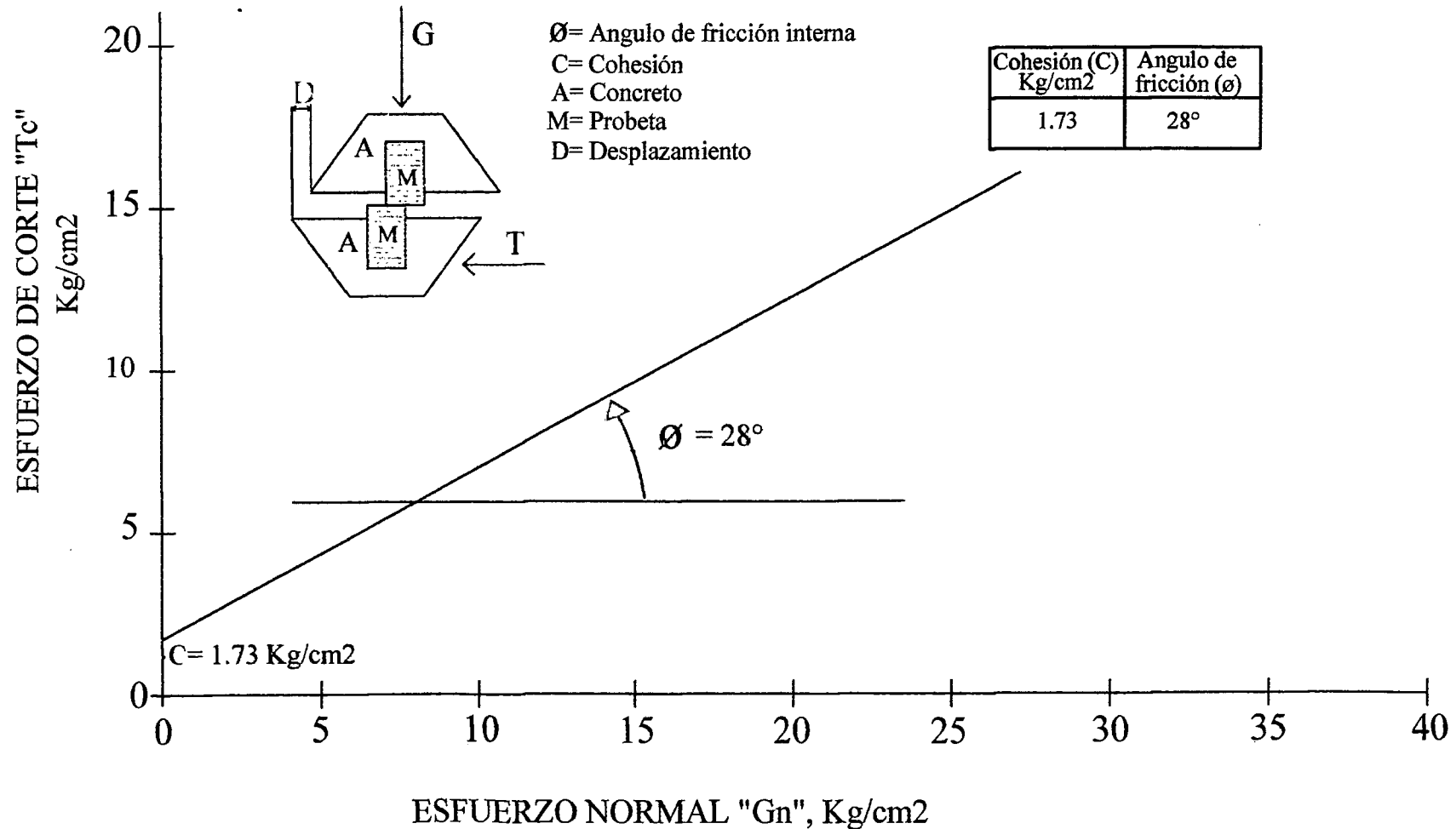


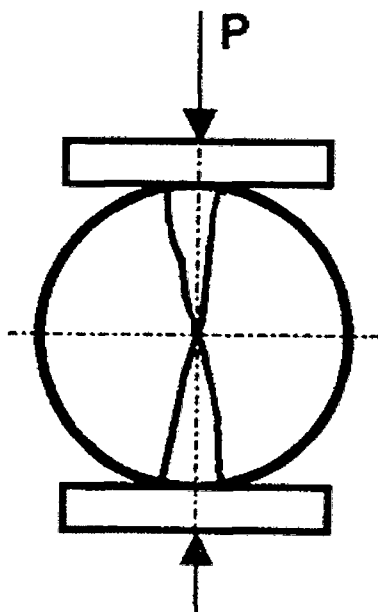
GRAFICO N° 1

3.4.7.- ENSAYO DE TRACCION.

Este ensayo mide el esfuerzo a la tracción de la roca. El método de ensayo es la tracción indirecta o ensayo Brasiler, para lo cual se corta testigos en una longitud de 0.5 veces el diámetros y cargados diametralmente en la máquina de compresión.

Objeto:

Determinar el esfuerzo de tracción de una roca a través de la aplicación de una carga lineal de compresión sobre un diámetro del disco de roca a ensayar, el valor del esfuerzo a la tracción se utiliza para graficar el círculo de Mohr σ_c y σ_t en la envolvente de esfuerzos



La resistencia que ofrecen los materiales pétreos a los esfuerzos de tracción es importante, dado que muchos de los elementos constructivos hechos con piedra en edificaciones tienen que soportar más a menudo esfuerzos de extensión que de compresión.

FIG. N° 09

ESQUEMA DE ENSAYO DE ROTURA Y FISURACIÓN

3.4.7.1. METODOLOGÍA Y CÁLCULOS

En este ensayo el disco de roca es sometido a una carga lineal de compresión actuando sobre el diámetro, el resultado de este esfuerzo de compresión es una tensión horizontal y un esfuerzo de compresión vertical variable, cerca de los bordes de contacto, los esfuerzos compresivos toman valores máximos lo que puede causar un fracturamiento local, esta anomalía se reduce empleando testigos con esbeltez (L/D) de 0.5

TABLA N° 10

CÁLCULOS REALIZADOS ENSAYO TRACCIÓN

FÓRMULA	APLICACIÓN
$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL}$	σ_t : esfuerzo a la tracción en Kg/cm ² P: carga de rotura, Kg. D: diámetro de la probeta, cm. L: longitud de la probeta, cm.

3.4.7.2. APLICACIONES:

- En voladura para determinar el burden y la carga explosiva.
- Círculo de Mohr.

Los ensayos de tracción realizados a las rocas calcáreas del yacimiento de Llacchuas se indican en los cuadros siguientes:



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Teléf.(066) - 312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS ENSAYO TRACCION
(ENSAYO BRASILERO)

SOLICITADO POR: Liz Magaly Tinco Campos
TESIS: Evaluación geomecánica y Química de las rocas calcáreas del yacimiento de Llacchuas Huanta Ayacucho.

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas
Distrito: Santillana
Provincia: Huanta
Depto.: Huancavelica

MUESTRA. N° 1

MUESTRA N°	D cm.	L cm.	Carga Rotura Kg	Resist. Tracción Kg/cm ²	OBSERVACIONES
1	4.98	2.49	3,067	157.30	Caliza

FECHA: Abril del 2016



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Teléf.(066) - 312510 Anexo 151
Ayacucho - Perú

RESULTADOS ENSAYO TRACCION
(ENSAYO BRASILERO)

SOLICITADO POR: Liz Magaly Tinco Campos
TESIS: Evaluación geomecánica y Química de las rocas calcáreas del yacimiento de Llacchuas Huanta Ayacucho.

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas
Distrito: Santillana
Provincia: Huanta
Depto.: Huancavelica

MUESTRA. N° 2

MUESTRA N°	D cm.	L cm.	Carga Rotura Kg	Resist. Tracción Kg/cm ²	OBSERVACIONES
2	4.98	2.49	2,072	106.27	Caliza

FECHA: Abril del 2016

3.5. CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA

Es un acercamiento sistemático para evaluar y comunicar la naturaleza de la masa típica de la roca. Diseñando sistemas de clasificación del macizo rocoso para la comunicación de ideas.

Los macizos rocosos, como medios discontinuos, presentan un comportamiento geomecánico complejo que, de una forma simplificada, puede ser estudiado y categorizado en función de su aptitud para distintas aplicaciones.

Con este objetivo surgieron las clasificaciones geomecánicas, que aportan, mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente a los sostenimientos de túneles y taludes y la excavabilidad de las rocas, entre otros.

Las características de los macizos rocosos que se consideran en las distintas clasificaciones son las siguientes:

- Resistencia del material rocoso.
- índice RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.

- Orientación de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Estructura geológica y fallas.
- Filtraciones y presencia de agua.
- Estado tensional.

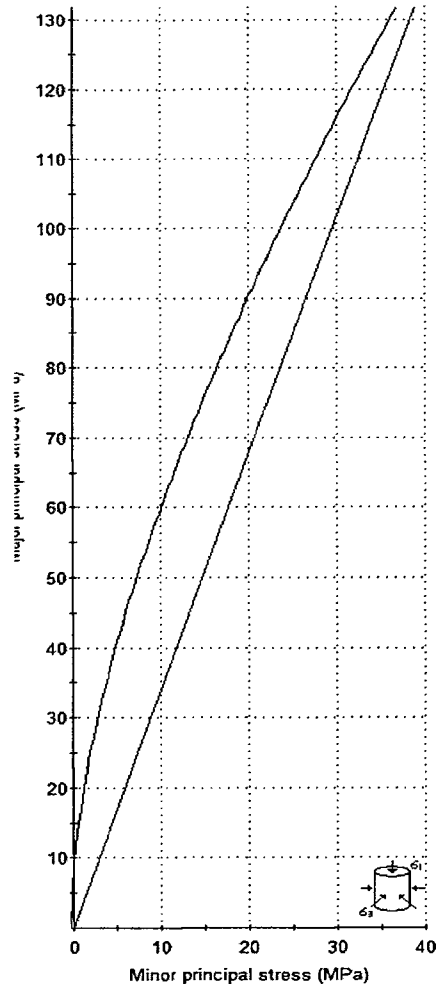
Las clasificaciones más útiles en mecánica de rocas son las denominadas clasificaciones geomecánicas, de las cuales la RMR de Bieniawski y la Q de Barton son las más utilizadas

3.5.1. RESISTENCIA AL MACIZO ROCOSO SEGÚN ROCLAB.

El criterio de rotura de Hoek-Brown, permite la obtención de estimaciones fiables de propiedades del macizo rocoso, así como también la visualización de los efectos que el cambio de parámetros del macizo rocoso produce sobre la envolvente de rotura.

A fin de conocer la resistencia del macizo rocoso del Yacimiento de Llacchuas y considerando los datos de campo obtenidos se han evaluado mediante el programa Roclab, en las estaciones 1 y 2, Previamente se determinó los parámetros de resistencia generalizados de Hoek-Brown. Obteniéndose los gráficos que a continuación se indican.

Analysis of Rock Strength using RocLab

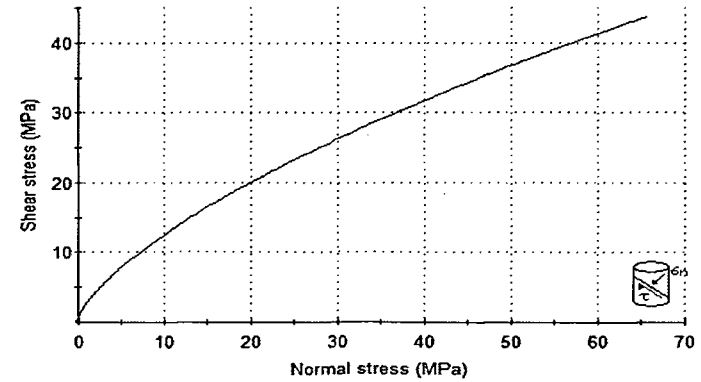


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 147 MPa
 GSI = 50 mi = 10 Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion
 mb = 1.677 s = 0.0039 a = 0.506

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 7.321 MPa friction angle = 30.52 deg

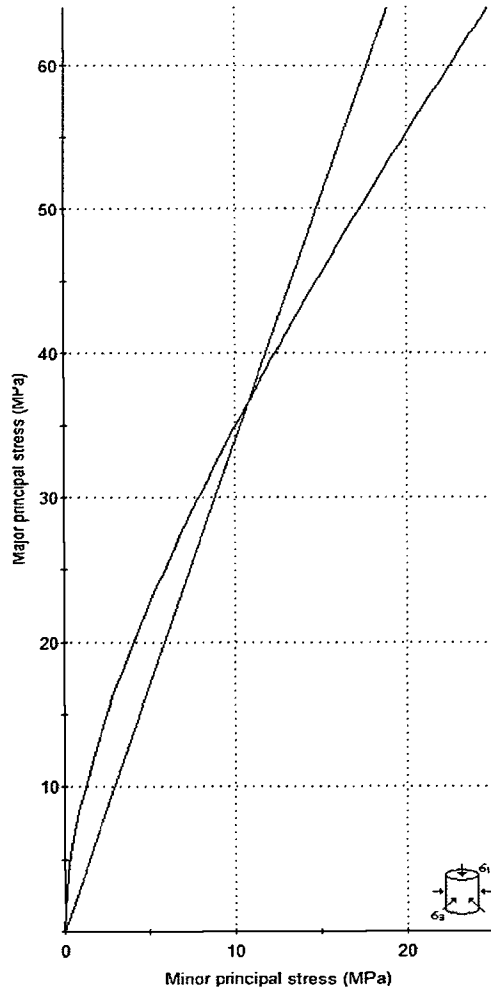
Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.339 MPa
 uniaxial compressive strength = 8.853 MPa
 global strength = 25.627 MPa
 modulus of deformation = 10000.00 MPa



DIPS 6.008

Project	EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA, YACIMIENTO DE LLACHUAS		
Analysis Description	RESISTENCIA AL MACIZO ROCOSO - ROCLAB	Muestra 01	
Drawn By	Bach. Liz Magaly Tinco Campos	Company	UNSCH
Julio 2016		File Name	Dips Lacchuas.dip

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 99 MPa
 GSI = 50 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

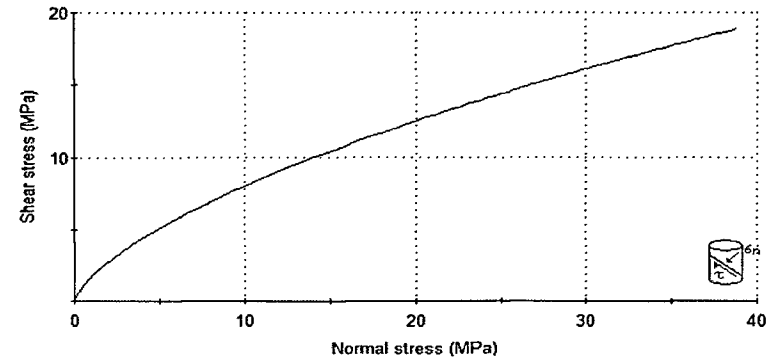
$m_b = 0.641$ $s = 0.0007$ $a = 0.506$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 3.463 MPa friction angle = 22.87 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.110 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.535 MPa
 global strength = 10.438 MPa
 modulus of deformation = 6467.42 MPa



DIPS 6.008

Project	EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA, YACIMIENTO DE LLACHUAS		
Analysis Description	RESISTENCIA AL MACIZO ROCOSO - ROCLAB	Muestra 02	
Drawn By	Bach. Liz Magaly Tinco Campos	Company	UNSCH
Julio 2016		File Name	Dips Llacchuas.dip

3.5.2. RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION).

Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD la calidad de la roca desde el punto de vista en la ingeniería:

TABLA N° 11
DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE ROCA (RQD)

RQD	CALIDAD DE ROCA
< 25%	Muy mala
25 - 50%	Mala
50 - 75%	Regular
75 - 90%	Buena
90 - 100%	Muy buena

FUENTE: INGENIERÍA GEOLÓGICA L. GONZÁLES VALLEJO

EJEMPLO:

En el presente estudio al no disponerse de testigos diamantino, el RQD se ha hallado a partir del número de juntas por unidad de volumen, al cual se le adiciona el número de juntas por metro para cada familia de juntas. La fórmula utilizada es:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v,$$

donde:

J_v = número de juntas por m^3

TABLA N° 12
DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE ROCA (RQD)

Tramo 1	Tramo 2
10 juntas/m ³ .	12 juntas/m ³ .
RQD = 115 – 3.3 (10)	RQD = 115 – 3.3 (12)
RQD = 82%, que de acuerdo a la tabla es una roca buena	RQD = 75.40%, que de acuerdo a la tabla es una roca buena

3.5.3. SISTEMA RMR.

Esta clasificación se basa en el índice RMR (Rock Mass Rating) desarrollado en Sudáfrica por Bieniawski (1989) que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Resistencia compresiva de la roca.
- Índice de calidad de la roca.
- Espaciamiento de juntas.
- Condición de juntas.
- Presencia de agua.
- Corrección por orientación.

Al resultado de cada uno de los parámetros se le asigna, según las tablas un valor y se suman todos ellos para obtener el índice de calidad RMR, sin correcciones. (VER TABLA RMR)

TABLA N° 13
TABLA GEOMECÁNICA
SISTEMA DE VALORACIÓN DE LA MASA ROCOSA RMR
(SEGÚN BIENIASKI. 1989)

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VALORACIONES									
1	Resistencia del material de la roca intacta	Índice de resistencia bajo carga puntual	> 10M Mpa	4 - 10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	Para este bajo rango es preferible un ensayo de compresión simple		
		Resistencia a la compresión simple	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 -25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD Calidad del Testigo de Perforación		90 % - 100%	75 % - 90%	50 % - 75%	25 % - 50%	< 25 %		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
3	Espaciado entre discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Condiciones de las Discontinuidades (ver E)		Superficies muy rugosas Discontinuas. No hay separación Paredes intactas	Superficies ligeramente rugosas Separación < 1 mm Paredes ligeramente meteorizadas	Superficies ligeramente rugosas Separación < 1mm Paredes altamente meteorizadas	Superficies pulidas o relleno de falla < 5 mm de espesor o Separación 1 - 5 mm Continuas	Relleno de Falla suave > 5 mm de espesor o Separación > 5 mm Cptinuas		
	Puntuación		30	25	20	10	0		
5	Agua Subterránea	Afluencia por 10 m de longitud del tunel (1/m)	Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(presión de agua en las juntas)/ ϕ principal mayor)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Condiciones Generales		Completamente Seco	Húmedo	Mojado	Goteando	Fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

B. AJUSTE DE LA PUNTUACIÓN PARA LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES (Ver F)						
Orientaciones de rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Puntuaciones	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	

C. CLASES DE MACIZOS ROCOSOS					
Valoración	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Categoría	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE ROCA					
Categoría	I	II	III	IV	V
Tiempo promedio de auto soporte	20 años para tramo de 15 m	1 año para un tramo de 10 m	1 semana para tramo de 5 m	10 horas para tramo de 2.5 m	30 min para tramo de 1 m
Cohesión del macizo rocoso (kpa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Ángulo de fricción del macizo rocoso (grados)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

E. LINEAMIENTOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DISCONTINUIDAD					
Longitud de discontinuidad (persistencia)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20m
puntuación	6	4	2	2	0
Separación (apertura)	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
puntuación	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa	Pulida
Puntuación	6	5	3	1	0
Relleno (relleno de falla)	Ninguna	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm
Puntuación	6	4	2	2	0
Meteorización	No meteorizada	Ligeramente meteorizada	Moderadamente meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0

F. EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACIÓN DE TUNELES			
Rumbo perpendicular al eje del tunel		Rumbo paralelo al eje del tunel	
Excavación hacia el buzamiento 45-90°	Excavación hacia el buzamiento buz 20 - 45°	Buzamiento 45 - 90°	Buzamiento 20 - 45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Excavación contra el buzamiento 45 - 90°	Excavación contra el buzamiento buz 2 45 - 90°	Buzamiento 0 - 20° independiente del rumbo	

TABLA N° 14

CALIDAD DE MACIZOS ROCOSO EN RELACIÓN AL ÍNDICE DE RMR

CLASE	CALIDAD	VAL. RMR
I	Muy Buena	100 – 81
II	Buena	80 - 61
III	Media	60 – 41
IV	Mala	40 – 21
V	Muy mala	< 20

FUENTE: INGENIERÍA GEOLÓGICA L. GONZÁLES VALLEJO PAG. 139

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma en cada caso nos da el índice de calidad RMR que varía de 0 a 100.

El valor de RMR = 63 hallado corresponde a la clase II roca buena

Los objetivos de esta clasificación son:

- ✓ Determinar y/o estimar la calidad del macizo rocoso.
- ✓ Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- ✓ Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- ✓ Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

TABLA N° 15

VALORACIÓN RMR DE LA ROCA CALCAREA LLACCHUAS

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)											
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES									VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UN. AXIAL (MPa)	>250 (15)	X	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)		<25 (2, <1, <10)	1 12	
ROO %	90-100 (20)		75-90 (17)	X	50-75 (13)		25-50 (8)		<25 (3)	2 13	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)		0.6-2 (15)		0.2-0.6 (10)	X	0.06-0.2 (5)		<0.06 (5)	3 6	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m org. (5)		1-3 m Long. (4)		3-10mm (2)	X	10-20m (1)		>20 m (0)	4A 1
	APERTURA	Cerrada (5)	X	<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)		1-5 mm (1)		> 5 mm (0)	4B 5
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (5)		Rugosa (5)	X	Lg. Rugosa (3)		Lisa (1)		Espejo de faja (0)	4C 3
	RELLENO	Limpio (5)		Dura <5mm (4)		Dura >5mm (2)	X	Slack < 5mm (1)		Slack > 5mm (0)	4D 1
	ALTERACIÓN	Sana (5)	X	Lg. Alterada (5)		Med. Alterada (3)		Muy Alterada (2)		Descompuesta (0)	4E 5
AGUA SUBTERRÁNEA	X	Seco (15)		Humedo (10)		Mojado (7)		Gotoso (4)		Flojo (0)	5 15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =										63	
CLASE DE MACIZO ROCOSO											
RMR	100-80		80-60		60-40		40-20		20-0		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA		

3.5.4. SISTEMA Q (NGI):

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice de calidad "Q", Este sistema ha sido desarrollado por Barton y propuesto por el Instituto Geotécnico de Noruega indica la calidad de la masa rocosa, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

Para obtener el valor numérico de este índice "Q" se plantea la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$$

Dónde:

RQD : Medida del fracturamiento de la roca propuesta por Deere.

Jn : índice numérico del sistema de fisuras.

Jr : índice numérico del grado de rugosidad de las fisuras.

Ja : índice numérico de alteración de las fisuras.

Jw : reducción del agua en las fisuras.

SRF : índice del factor de reducción por esfuerzos.

De la combinación de estos parámetros se considera que índice Q que representa la calidad del macizo rocoso, es función de tres condiciones.

- Tamaño de los bloques (RQD/Jn)
- Resistencia al esfuerzo cortante entre bloques (Jr/Ja)
- Esfuerzos actuantes (Jw/SRF)

La clasificación de las rocas de acuerdo al sistema de clasificación NGI, índice de calidad de la roca (Q) es:

TABLA N° 16

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA SEGÚN NGI

Q	CLASIFICACION
0.001 - 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 – 0.1	Extremadamente mala
0.1 – 1.0	Muy mala
1.0 – 4.0	Mala
4.0 – 10	Regular
10 – 40	Buena
40 – 100	Muy buena
100 – 400	Extremadamente buena
400 – 1,000	Excepcionalmente buena

FUENTE: INGENIERÍA GEOLÓGICA L. GONZÁLES VALLEJO

Para la cuantificación del “Q”, existe una tabla del índice NGI.

La siguiente muestra la tabla de q de Barton la cual es aplicada para determinar la calidad de la roca,

TABLA N° 17
TABLA GEOMECANICA SEGÚN EL Q DE BARTON

TABLAS DE BARTON		
CUADRO N° 19		
Número de Familias	Jn	Observaciones
A. Masivo, sin o con pocas juntas	0,5- 1	1. Para cruces en túneles utilizar (3XJn)
B. Una familia de juntas	2	
C. Una familia y algunas juntas ocasionales	3	
D. Dos familias de juntas	4	2. para portales utilizar (2 X Jn)
E. Dos familias y algunas juntas	6	
F. Tres familias de juntas	9	
G. Tres familias y algunas juntas	12	
H. Cuatro familias o más, roca muy fracturada, terrones de azúcar	15	
I. Roca triturada terrosa	20	

CUADRO N° 20		
Número de Rugosidad de las juntas	Jr	Observaciones
contacto entre las dos caras de la junta. Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento lateral de 10 cm		1. se añade 1.0 si el espaciamiento medio juntas es mayor de 3m.
A. Juntas Discontinuas.	4	
B. Juntas Rugosa o Irregular Ondulada	3	2. Jr = 0.5 se puede usar para juntas de fricción planas y que tengan alineaciones orientadas para resistencia mínima.
C. Suave Ondulada	2	
D. Espejo de falla, ondulada	1,5	
E. Rugosa o irregulares plana	1,5	
F. Suave plana	1	
G. Espejo de falla o superficie de fricción plana	0,5	
Sin contacto entre las dos caras de la junta desplazados lateralmente		
H. Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras.	1	
I. Zona arenosa de grava o roca triturada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.	1	

CUADRO N° 21

Número de alteración de juntas	Ja	Ør (Aprox.)	Observación
Contacto entre las dos caras de la junta.			1. Los valores de Ør el ángulo de fricción residual, se indican como Guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración si es que están presentes los valores de Ør el ángulo de fricción residual, se indican como Guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración si es que están presentes los valores de Ør el ángulo de fricción residual, se indican como Guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración si es que están presentes
A. Junta sellada, dura, sin reblandamiento relleno impermeable, ejm. Cuarzo.	0,75		
B. Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25°-35°	
C. Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25°-30°	
D. Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.	3	20°-25°	
E. Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, ejm. Caolinita, mica, clorita, talco y pequeñas cantidades de arcilla expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores de 1 – 2mm.	4	8° - 16°	
Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral			
F. Partículas de arena, roca desintegrada, libre de arcilla.	4	25°-30°	
G. Fuertemente sobre consolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. De espesor	6	16° -24°	
H. Sobre consolidados media a baja, reblandamiento, relleno de mineral arcilloso. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	8	8° - 16°	
I. Relleno de arcilla expansivas, ejm. Montmorillonita, espesor continuo de 5 mm. El valor Ja depende del porcentaje de partículas el tamaño de la arcilla expansiva.	8 -12	6° - 12°	
No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es cizallada			
J. Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla.	6 -8 8-12	6° - 24°	
K. Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandamiento.	5	6° - 24°	
L. Zonas o capas gruesas de arcilla.	10-13 13 -20	6° - 24°	

CUADRO N° 22

Factor de reducción por presencia de agua en las juntas	Jw	Presión de agua kg/[cm]^2	Observaciones
A. Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de v5 l/min. Localmente.	1	< 1	1. los factores de C a E, Son estimados aprox. Aumenta Jw si se instalan drenes.
B. Fluencia presión media, ocasional elevado de os rellenos de las juntas.	0,65	1-2.5	
C. Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas.	0,33	2.5 - 10	2. los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración
D. Fluencia o presión de agua o excepcionalmente altas con las voladuras disminuyendo en el tiempo.	0,1-0,2	> 10	
E. Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas sin disminución.	0,05-0,1	> 11	

CUADRO Nº 23			
Factor de Reducción de esfuerzos	SRF		Observaciones
Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma			1. Redúzcanse estos valores SRF de 25% - 50% si las zonas de fractura solo se intersectan pero no cruzan la excavación 2. Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico, medidas: Cuando $5 < \delta_1 / \delta_3 < 10$, redúscase: A 0.8 δ_c y δ_t Cuando δ_1 y $\delta_3 > 10$ redúscase: A 0.6 δ_c y δ_t Donde: δ_c : resistencia copresiva δ_t : esfuerzo a la tracción δ_1 : esfuerzo principal mayor δ_3 : esfuerzo principal menor
A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad)	10		
B. Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m)	5		
C. Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m)	2,5		
D. Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad)	7,5		
E. Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m)	5		
F. Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m)	2,5		
G. Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc (a cualquier profundidad)	5		

CUADRO Nº 24				
Factor de reducción de esfuerzos	$\frac{\sigma_1}{\sigma_3}$	$\frac{\sigma_2}{\sigma_3}$	SRF	Observaciones
Roca competente, problemas de esfuerzos				3. Hay pocos casos reportados donde el techo debajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere que el SRF sea aumentado de 2,5 a 5 para estos casos, ver H
H. Esfuerzo bajo, cerca de la superficie	> 200	> 13	2,5	
I. Esfuerzo medio	200-10	13-0,66	1,0	
J. Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad de los hastiales)	10,5	0,66 - 0,33	0,5 - 2	
K. Desprendimiento moderado de la roca masiva	5 - 2,5	0,33 - 0,16	0,5-10	
L. Desprendimiento intenso de la roca masiva	< 2,5	< 0,16	10 - 20	
Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas				
M. presión de flujo moderado			5 - 10	
N. Presión de flujo intenso			10 - 20	
Roca expansiva, actividad actividad química, expansiva dependiendo de la presencia de agua				
O. presión de expansión moderado			5 - 10	
P. Presión de expansión intensa			10 - 15	

EJEMPLO:

De acuerdo al mapeo realizado en un tramo de 20 m. del afloramiento de caliza se encontró las siguientes características:

- ✓ 10 discontinuidades/m³ => RQD = 82%
- ✓ 02 familias de fisuras => Jn = 4
- ✓ Las paredes son rugosas y algo irregulares => Jr = 3
- ✓ Las fracturas son algo alteradas y rellenadas con arcillas => Ja = 4.0
- ✓ El tramo es seco => Jw = 1.0
- ✓ Se nota puntos esfuerzos medianos en la roca por lo que se le asigna a SRF = 1.0

$$\text{El RQD} = 115 - 3.3 \times 10 = 82\%$$

Reemplazando en la fórmula:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$$

$$\frac{82}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1.0}{1.0} = 15.37$$

De acuerdo a la tabla anterior el valor de Q = 15.37 corresponde a una roca buena.

TABLA N° 18

**RESUMEN DE LA EVALUACION GEOMECANICO DEL YACIMIENTO
DE ROCAS CALCAREAS DE LLACCHUAS – HUANTA – AYACUCHO.**

TRAMO	ROCA	RQD %	RMR %	Q	TIPO	CLASE
1	Caliza	82.00	63	15.37	II	Buena
2	Caliza	75.40	62	11.60	II	Buena

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CAPITULO IV

CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA

4.1. CONCEPTO TEÒRICO DE LA CALIZA⁵

Etimología: Del latín **calcarius**.

La caliza, o roca calcárea, es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita (MgCO_3) y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales

⁵ 7. Br. Fuenmayor G. Oswaldo E. (2001) Caracterización geomecánica de las rocas de la cantera perteneciente a la corporación de cemento andino

como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca.

El carácter prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.

4.1.1. ORIGEN DE LA CALIZA DE LLACCHUAS.

Tanto por su origen como por su estructura pueden diferenciarse varios tipos: la de origen orgánico formada por acumulaciones de restos calizos de seres vivos (conchas de moluscos, caparazones de foraminíferos, esqueletos de corales, etc.); de origen detrítico, resultado de la acumulación y compactación de barros calizos, y de origen químico, formada por la precipitación de carbonato cálcico (CaCO_3).

Orgánico: Acumulaciones de restos calizos de seres vivos.

Detrítico: Acumulación y compactación de barros calizos.

Químico: Precipitación de carbonato cálcico (CO_3Ca).

Las calizas del yacimiento de Llacchuas es de origen detrítico, resultado de la acumulación y compactación de barros calizos y también de origen químico, formada por la precipitación de carbonato cálcico (CaCO_3).

4.2. ANÁLISIS DE PETROGRAFÍA.

La descripción petrográfica de la roca calcárea es importante conocerla a fin de poder establecer su clasificación petrográfica, y poner en evidencia una serie de características, como puedan ser la existencia de poros, discontinuidades, fisuras, alteraciones, etc., que pueden tener influencia en el comportamiento del material en su fase de utilización y condicionar su evolución en el transcurso del tiempo.

Se recolectaron dos muestras en campo para la descripción petrográfica estas, fueron cortadas y pulidas para la preparación y caracterización petrográfica basada en microscopia de luz transmitida obtenida en un microscopio para el análisis de sección delgada

La mayor parte de las rocas presentan un número reducido de especies minerales. De esos minerales, es aún menor el número de los que aparecen en porcentajes apreciables (superiores al 5%). Dichos minerales se denominan 'minerales petrográficos', es decir, formadores de rocas. Los más abundantes son la Calcita.

La textura uniforme es usada para roca ornamental como edificación y monumentos, para los usos industriales la textura de la caliza no tiene importancia. La textura y la dureza de los minerales que acompañan a la caliza afectan a la dureza de la roca. La dureza de la caliza es de 2 a 3 en la escala

relativa de dureza de Friedrich Mohos (1773- 1839), esta es una propiedad importante en la roca, por lo general, las calizas se trabajan con bastante facilidad si no contienen minerales silíceos.

Las texturas cementadas están formadas por granos minerales unidos por una fase aglomerante; dichas texturas se conocen en el ámbito petrográfico con el nombre de texturas detríticas.

La fase aglomerante puede ser cemento (material cristalino precipitado) o matriz (material fino depositado).

El color de las piedras, en especial el de las puestas en obra, puede variar con el tiempo; esto es consecuencia de su exposición a la intemperie, en particular de la acción del agua y de los contaminantes atmosféricos y de la insolación. En este sentido el color puede ser utilizado como indicador del nivel de alteración alcanzado por la piedra y, a veces, de la contaminación del ambiente.

El aspecto macroscópico adquiere especial importancia cuando las rocas se utilizan como materiales de edificación. Criterios como el color suelen ser a veces decisivos para su utilización.

A continuación se describe a descripción macroscópica de dos muestras, realizado en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la FIMGC-UNSCH



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef. (064)- 812510 - Anexo 151
Ayacucho -Perú

PETROLOGIA DESCRIPCION MACROSCOPICA

REALIZAO POR: Magaly Tinco Campos
TESIS : Evaluación Geomecánica y Química de las Rocas Calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta - Ayacucho^o.

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas
Distrito: Santillana

Provincia: Huanta
Depto: Ayacucho

MUESTRA:	N° 1
NOMBRE ROCA:	Caliza
CLASE SEGÚN ORIGEN:	Roca sedimentaria
COLOR:	Rosado claro
MINERALES VISIBLES Y/O COMPONENTES	Calcita, dolomita, limonita, cuarzo
TAMAÑO DE GRANO:	Fino 0.02 m.m
TEXTURA:	Afanítica
GRADO DE COHESION:	Alto
GRADO DE DUREZA:	Alto
GRADO DE ALTERACION:	Roca fresca
FRACTURAS:	Sin fracturas
MATERIAL RELLENO FRACTURAS	
GRADO DE RESISTENCIA:	Muy resistente ($G_c = 1,495.27 \text{ Kg/cm}^2$)
REACCION AL HCL:	Fuerte



Ayacucho, marzo del 2016



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE ROCAS
FIMGC – UNSCH

Av. Independencia s/n
Telef. (064)- 812510 – Anexo 151
Ayacucho -Perú

PETROLOGIA DESCRIPCION MACROSCOPICA

REALIZAO POR: Magaly Tingo Campos

TESIS : Evaluación Geomecánica y Química de las Rocas Calcáreas del Yacimiento de Llacchuas – Huanta – Ayacucho”.

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas
Distrito: Santillana

Provincia: Huanta
Depto: Ayacucho

MUESTRA:	N° 2
NOMBRE ROCA:	Caliza
CLASE SEGÚN ORIGEN:	Roca sedimentaria
COLOR:	Rosado claro
MINERALES VISIBLES Y/O COMPONENTES	Calcita, dolomita, hematita, cuarzo
TAMAÑO DE GRANO:	Fino 0.02 m.m
TEXTURA:	Afanítica
GRADO DE COHESION:	Alto
GRADO DE DUREZA:	Alto
GRADO DE ALTERACION:	Roca fresca
FRACTURAS:	Sano
MATERIAL RELLENO FRACTURAS	
GRADO DE RESISTENCIA:	Muy resistente (Gc= 1,012.09 Kg/cm ²)
REACCION AL HCL:	Fuerte



Ayacucho, marzo del 2016

4.3. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas reflejan la estructura interna de la roca, relaciones volumétricas y gravimétricas.

También se conoce como propiedades índice por su relacionamiento con las propiedades mecánicas.

Las propiedades físicas controlan las características resistentes y deformacional es de la matriz rocosa (composición mineralógica, densidad, estructura y fábrica, porosidad, permeabilidad, alterabilidad, dureza, etc.), y son el resultado de la génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por las rocas a lo largo de su historia

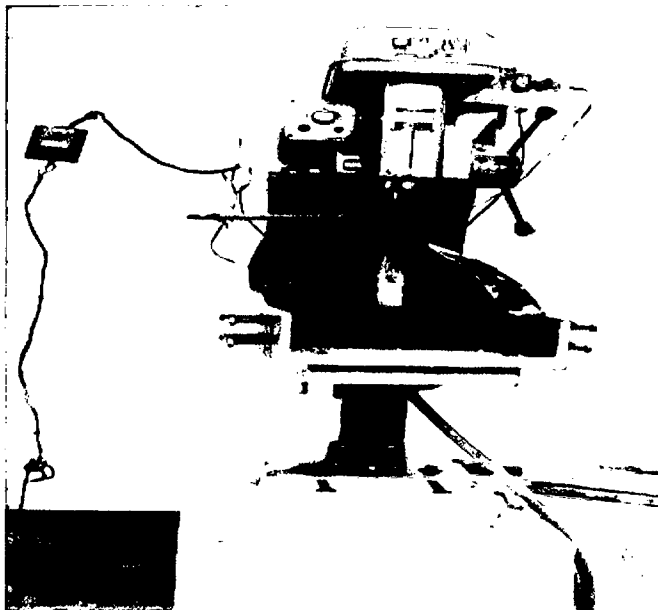
4.3.1. OBJETIVO:

Preparar las probetas para los ensayos. Las propiedades físicas reflejan la estructura interna de la roca, relaciones volumétricas y gravimétricas.

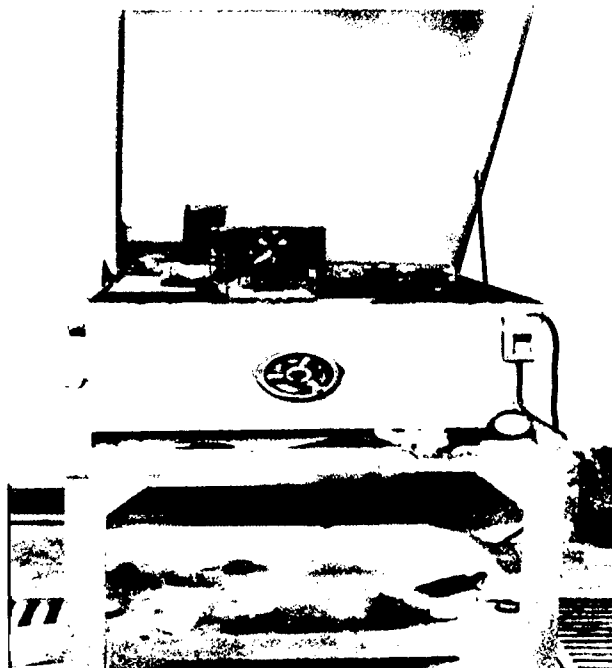
Las propiedades físicas a determinarse en el presente estudio son: densidad aparente, porosidad y absorción.

4.3.2. EQUIPOS:

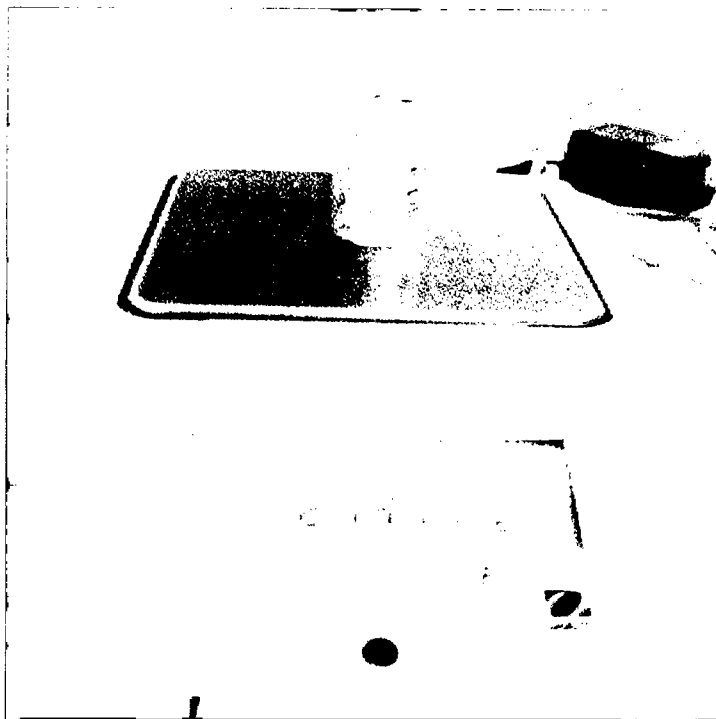
Los equipos usados en el ensayo de las propiedades físicas son:



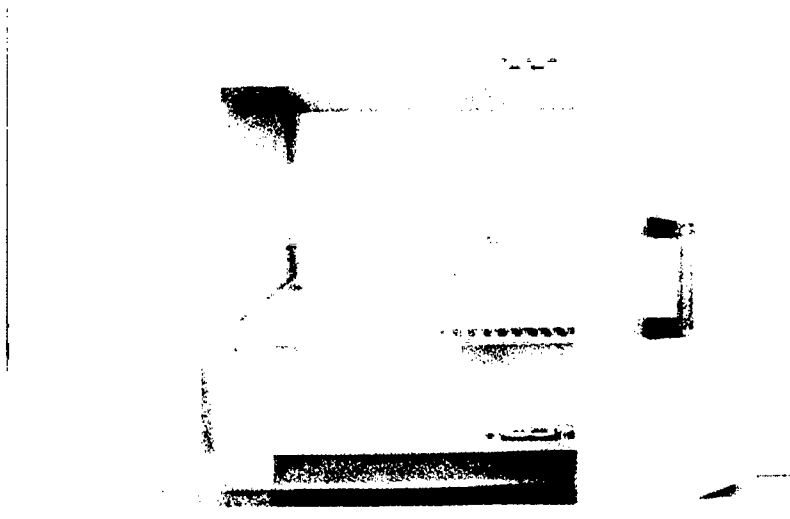
FOTOGRAFÍA N° 13. SONDAJE DIAMANTINO
PARA OBTENCIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS



FOTOGRAFÍA N° 14. CORTADORA DE DISCO
DIAMANTINO



FOTOGRAFÍA N° 15. BALANZA DE PRECISIÓN
DE 0.01 GR.



FOTOGRAFÍA N° 16. HORNO DE SECADO (105°C)
PARA MUESTRAS

4.3.3. DENSIDAD

Se define como la relación entre la masa del material y su volumen, siendo un factor ampliamente usado como indicador general de la mayor o menor dificultad que pueda encontrarse para romper a una roca.

4.3.4. POROSIDAD:

La presencia de poros en la estructura de un material de roca hace que decrezca su resistencia y se incremente su deformabilidad. Una pequeña fracción de volumen de poros puede producir un efecto apreciable en las propiedades mecánicas de las rocas.

Se trata sin duda del parámetro más significativo de las piedras de edificación, por su influencia en las restantes propiedades físicas, en la reactividad química y, en última instancia, en la durabilidad y calidad del material.

La porosidad abierta tiene gran interés en las piedras de edificación, ya que condiciona su capacidad para el almacenamiento y la circulación de fluidos.

Sus valores en las rocas son muy variables. Así, las cristalinas se caracterizan por sus bajos valores, alrededor del 1%, mientras que las detríticas o cementadas presentan valores mucho más altos, alrededor del 20%.

4.3.5. ABSORCION:

El valor de absorción nos da una idea de cuánta agua puede introducirse en una roca y por lo tanto cuanto puede aumentar la presión de poros, lo cual hace que decrezcan los valores de resistencia y esfuerzo en las rocas.

Cuando las condiciones ambientales cambian, en el sentido de facilitar la evaporación, el agua que se encuentra en el interior de la roca tiende a salir al exterior (desorción o evaporación).

En general puede decirse que, cuanto más bajos sean los coeficientes que caracterizan la absorción, menor será la influencia negativa del agua en la roca y, en consecuencia, cabrá esperar mejores resultados referidos a su durabilidad.

De otro lado, la desorción de agua que tiene lugar por evaporación durante la fase de secado de la piedra es, asimismo, significativa desde el punto de vista de la durabilidad del material.

En el siguiente cuadro se indica los valores de absorción y porosidad de las rocas existentes en el Yacimiento de Llacchuas.



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/ n
Telef.(066)-312510 Anexo 151
Ayacucho-Perú

PROPIEDADES FISICAS DE LA ROCA

REALIZADO POR: Liz Magaly Tinco Campos
TESIS: Evaluación Geomecánica y Química de la Rocas Calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta - Ayacucho.

MUESTRA: N° 1

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas Provincia: Huanta
Distrito: Santillana Depto: Ayacucho

MUESTRA	D cm.	L cm.	VOLUMEN cm ³	PESO NATUR. gr.	PESO SECO gr.	PESO SATUR. gr.	DENSIDAD gr/cm ³	ABSORCION %	POROSIDAD %	NOMBRE DE ROCA
1			24.20	62.30	62.10	62.60	2.57	0.81	1.24	Caliza

FECHA: Abril del 2016



LABORATORIO DE
MECANICA DE ROCAS
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/ n
Telef. (066)-312510 Anexo 151
Ayacucho-Perú

PROPIEDADES FISICAS DE LA ROCA

REALIZADO POR: Liz Magaly Tínco Campos
TESIS: Evaluación Geomecánica y Química de la Rocas Calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta - Ayacucho.

MUESTRA: N° 2

PROCEDENCIA: Lugar: Llacchuas Provincia: Huanta
Distrito: Santillana Depto: Ayacucho

MUESTRA	D cm.	L cm.	VOLUMEN cm ³	PESO NATUR. gr.	PESO SECO gr.	PESO SATUR. gr.	DENSIDAD gr/cm ³	ABSORCION %	POROSIDAD %	NOMBRE DE ROCA
2			22.50	57.10	56.90	57.40	2.53	0.88	1.33	Caliza

FECHA: Abril del 2016

4.4.- ANÁLISIS QUÍMICO DE LA ROCA TOTAL

La determinación de Roca Total se utiliza como una herramienta para la clasificación de rocas y materias primas de la industria de los materiales cerámicos, se refiere al análisis químico de óxidos mayores (Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , MnO , Na_2O , P_2O_5 , SiO_2 , y TiO_2) en una matriz geológica.

Para ello se emplean técnicas como químicas, además, las tradicionales como gravimetría y volumetría. Como complemento se determina la Perdida por Calcinación (PXC). En este análisis se espera que la suma de las concentraciones de los analitos sea cercana al 100% si la roca no observa presencia de minerales metálicos significativos.

Actualmente, se lleva a cabo la determinación de Roca total disolviendo las muestras en horno de microondas con mezclas de ácidos (HNO_3 , HCl y HF) para su posterior análisis y fundiendo con Na_2CO_3 para la determinación de SiO_2 por el método gravimétrico tradicional, estos métodos requieren de tiempo e insumos, además, no es aplicable a matrices geológicas diversas, debido a que no pueden ser disueltas completamente.

El análisis espectral con rayos "X" ha revelado que todas las rocas calizas tienen textura cristalina. La textura uniforme suele especificarse para la roca de edificación y la monumental.

4.4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CALIZA DE LA LOCALIDAD DE LLACCCHUAS.

El conocimiento de la composición química de una roca sirve para poner de manifiesto la presencia de compuestos que, aun en cantidades pequeñas, por ser fácilmente alterables pueda afectar a la durabilidad de un material en su fase de utilización.

La composición química de la Caliza de Llacchuas, se ha obtenido del análisis químico porcentual de muestras representativas del depósito de Caliza, siendo como se indica a continuación:

TABLA N° 19

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CALIZA DE LLACCCHUAS

N°	ELEMENTO	SIMBOLO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
01	Oxido de Aluminio	Al_2O_3	%	0.32
02	Oxido de Calcio	CaO	%	53.43
03	Óxido de Hierro	Fe_2O_3	%	0.28
04	Óxido de Potasio	K_2O	%	0.07
05	Óxido de Magnesio	MgO	%	0.51

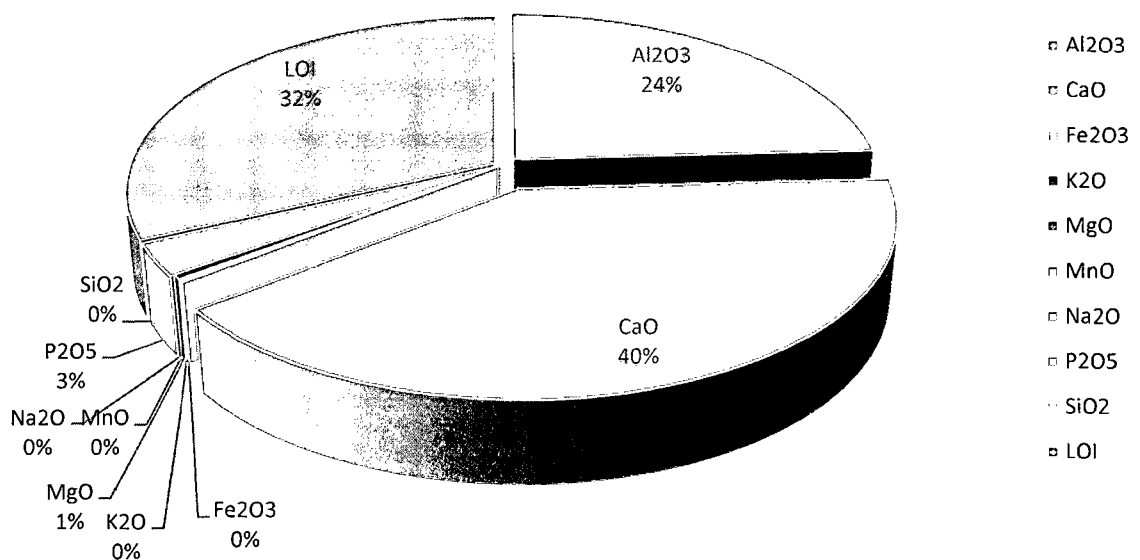
06	Óxido de Manganeso	MnO	%	< 0.02
07	Óxido de Sodio	Na ₂ O	%	< 0.01
08	Óxido de Fosforo	P ₂ O ₅	%	3.99
09	Óxido de Silicio	SiO ₂	%	< 0.01
10	Determinación de pérdida de calcinación	LOI	%	42.32
11	Bario	Ba	Ppm	11
12	Cobalto	Co	Ppm	< 1
13	Cromo	Cr	Ppm	6
14	Niquel	Ni	Ppm	< 5
15	Stroncio	Sr	Ppm	597
16	Ytrio	Y	Ppm	< 5
17	Zinc	Zn	Ppm	11
18	Circonio	Zr	Ppm	7

FUENTE: LABORATORIO ANÁLISIS DEL INGEMMET.

La clasificación de calizas de grado químico por el contenido de CaCO₃ no toma en cuenta todas las variaciones en la composición química. Un análisis químico típico de calizas incluirá CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, P₂O₅, MnO y S, F, Cu, Pb y Zn. Para ciertos usos finales puede ser también necesario analizar As, Cr y Co.

La caliza del yacimiento de Llacchhuas está compuesta de 50% de (OCa3), con porcentajes variables de impurezas, en su interpretación más amplia, el término incluye cualquier material calcáreo.

**GRÁFICO Nº 05
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CALIZA**

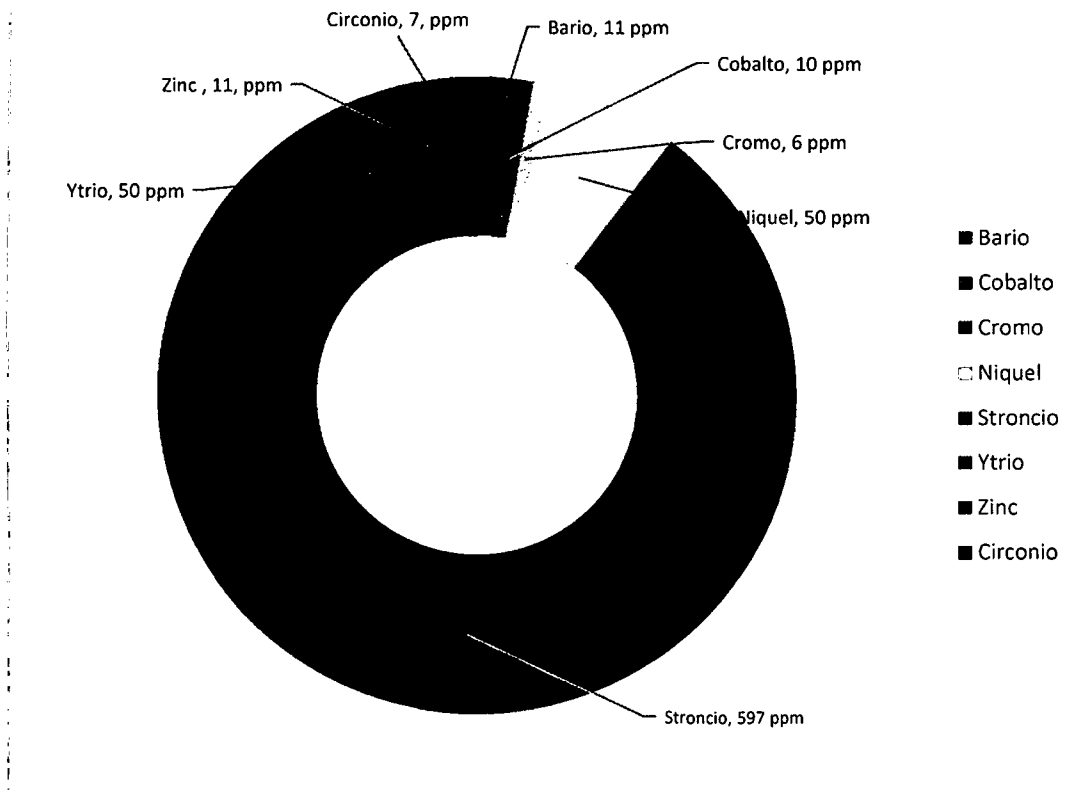


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Las materias contaminadas se depositan simultáneamente con la caliza o entraron durante alguna fase posterior; a continuación se verifica en la figura siguiente que el 40 % es de CaO, el 24 % de Al₂ O₃ y una pérdida por calcinación de 32 %

GRÁFICO N° 06

PPM de ELEMENTOS DE LA CALIZA



FUENTE : ELABORACIÓN PROPIA

La caliza de Llacchuas, es una roca compuesta por 50 % de carbonato de Calcio (50%), con porcentajes de impurezas, es una roca calcárea compuesta por mineral calcita, La meteorización de la roca caliza relativamente pura contiene algo de carbonato de hierro, da como resultado la solución de la caliza y un residuo de óxido de hierro.

Las rocas clasificadas como calizas comerciales contienen cantidades variables de carbonatos de magnesio, en el ítem de los usos de caliza veremos a fondo estas especificaciones.

4.4.2- PUREZA DE LA CALIZA

Normalmente podemos clasificar la pureza de la caliza, de acuerdo al porcentaje de CaCO_3 y CaO , de acuerdo a sus aplicaciones de sus derivados y en las diferentes marcas comerciales que reflejan el grado de pureza en lo cual estriba la diferencia de precios entre una marca y otra.

TABLA N° 20						
CLASIFICACIÓN DE PUREZAS DE LA CALIZA						
Clasificación de pureza	CaCO_3	CaO	MgO	SiO_2	Fe_2O_3	
Muy alta pureza	> 98.5	> 55.2	< 0.8	< 0.2	< 0.05	
Alta Pureza	97.0 – 98.5	54.3 - 55.2	0.8 – 1.0	0.2 – 0.6	0.05 – 0.1	
Pureza media	93.5 – 97	52.4 – 54.3	1.0 – 3.0	0.6 – 1.0	0.1 – 1.0	
Baja pureza	85 – 93.5	47.6 - 52.4	> 3.0	< 2.0	>1.0	
Impuro	< 85.0	< 47.6		> 2.0		

FUENTE: INDUSTRIAL MINERAL, DECEMBER 2011

La caliza muy pura se utiliza como carga en la fabricación de papel, caucho, plásticos pinturas etc., alcanzando elevados precios además del Carbonato de calcio molido, caliza granular de alta pureza, óxido de calcio e Hidróxidos, usado en la industria farmacéutica

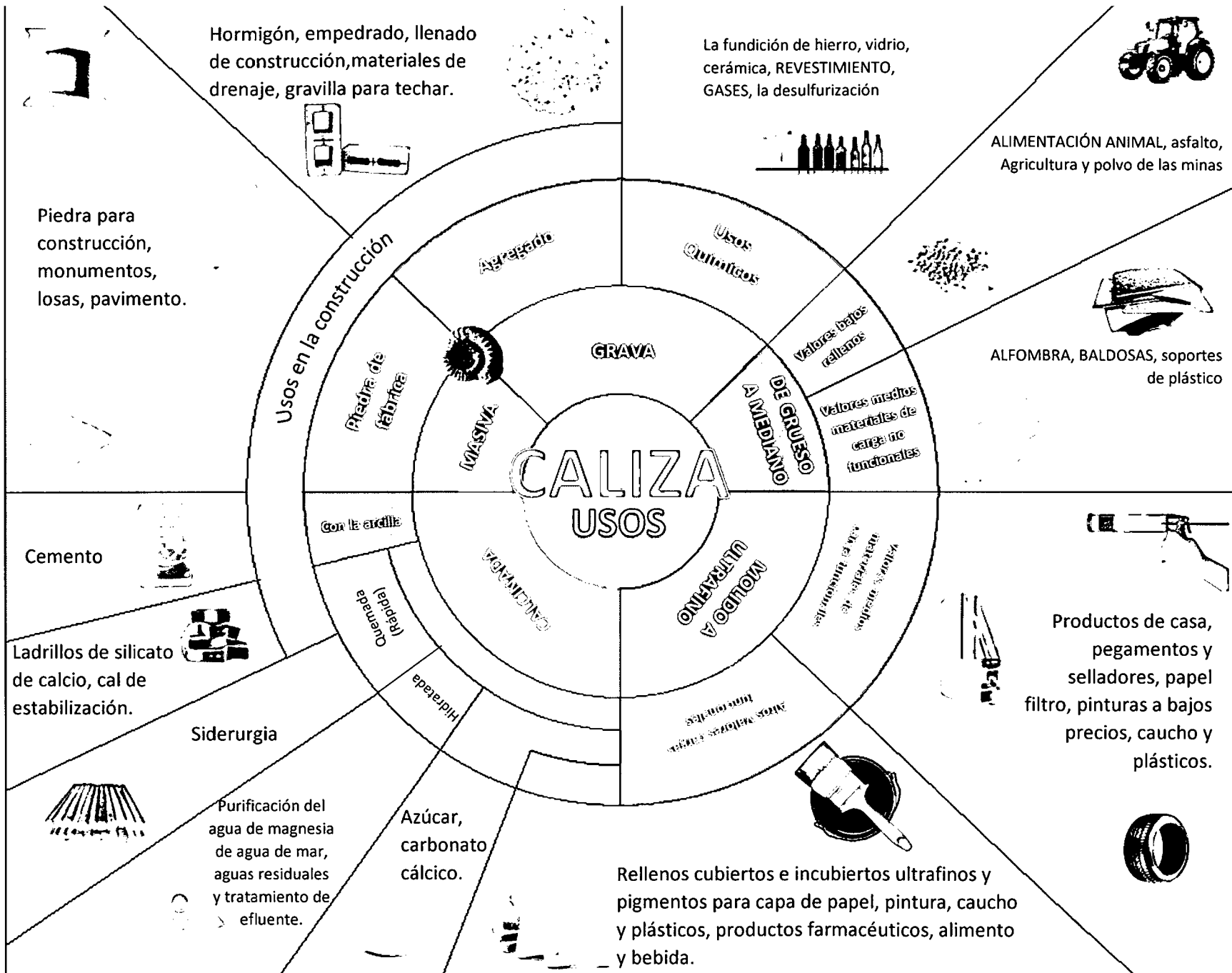
4.5.- USOS Y APLICACIONES DE LA CALIZA EN GENERAL.

Sus aplicaciones son muy amplias, tanto de la roca en bruto y sus derivados principales que incluyen la utilización como roca ornamental y de construcción, árido de chancado, materia prima para cementos, cales, corrector de ácidos en agricultura, fundente metalúrgico, desulfuración de gases y muchos otros.

Existen explotaciones que destinan su producción mayormente en la fabricación del cemento como materia prima y, en segundo plano a la industria azucarera, comida de animales, abonos y fabricación de cal etc.

Directa o indirectamente, es probable que la roca caliza y la cal se empleen en más industrias que ninguna otra sustancia natural; ambos materiales se usan mucho en la agricultura, en la edificación y en las industrias químicas.

En la figura siguiente, se mencionan los usos de la caliza en general según, Longcliffe Uk. .



Alta Pureza
Productos de Caliza

- Carbonato de calcio molido
- Caliza granulada de alta pureza
- Agregados de caliza y dolomita
- Óxido de calcio e Hidróxidos
- Carbonato de calcio precipitado

4.6. USOS Y APLICACIONES SEGÙN SU GÈNESIS.

Es muy amplia la aplicación de calizas en la industria. El uso más importante está dirigido a la construcción tanto como agregado o en la producción de cal y cemento; también en la industria del hierro y el acero, en química, en fabricación de vidrios, como carga mineral u otros usos específicos.

TABLA N° 21

USOS Y APLICACIONES DE LA CALIZA SEGÙN SU GÈNESIS

TIPO	GÈNESIS	CARACTERÍSTICAS	USOS
Calizas organógenas	Sedimentación de restos orgánicos en lechos marinos asociados con arenas y arcillas	Bancos de espesores variables con textura de grano fino o compuestos por acumulación de restos de coquinas, con parcial cementación de carbonato de calcio y algo de sílice.	Esencialmente como filler en pinturas, gomas, plásticos, papel, cosmética cemento, cal para siderurgia mejorador de suelos
Calizas Químicas	Precipitación como barros en	Forman la tosca o calcretes	Cemento, cal, baldosas y

	cuerpo de agua compactados		losetas, cerámica y base de caminos.
Calizas Clásticas	Clastos carbonaticos con cemento calcáreo	Restos fósiles acumulados por transporte	Cemento cal agricultura
Calizas Metamórficas	Depósitos de bajo grado de metamorfismo	De colores blanco a gris claro no son mármoles	Ornamental, baldosas, cales, vidrios, filler

FUENTES: LAS ROCAS CARBONATICAS MARÍA BEATRIZ PONCE Y SEBASTIÁN P. GAMBAUDO INSTITUTO DE TECNOLOGÍA MINERA – SEGEMAR

4.7.- USOS Y APLICACIONES DE LA CALIZA SEGÚN INGEMMET.

Para el Instituto Geológico, Minero Metalúrgico (INGEMMET), las rocas y minerales industriales tienen un significativo valor en la economía del país y constituyen un verdadero soporte para su desarrollo, siendo notable, no sólo la producción de minerales destinados para la industria de la construcción, sino también por los minerales industriales que constituyen un potencial vasto y diverso, los que cada vez tienen mayor importancia, debido a sus aplicaciones y usos en la industria moderna.

Es así que ha desarrollado un programa llamado “Matriz de usos y aplicaciones de rocas y minerales industriales” en base a sus experiencias y estudios.

Para el caso del presente estudio la base de esta matriz está fundada en la roca “CALIZA”, la cual tiene una multitud de aplicaciones.

En nuestro País los usos y aplicaciones de las rocas y minerales industriales, directa e indirectamente se ha localizado en los siguientes subsectores económicos.

TABLA N° 22		
MATRIZ DE USOS Y APLICACIONES DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES- (Subsector Agroindustria)		
ÁREA	UTILIZACIÓN	
Alimentos y bebidas	Aceites vegetal y animal	Conservantes
	Alimentos balanceado	Conservantes, Purificantes
	Bebidas	Tratamiento del agua potable
	Envasado de frutas y legumbres	Purificantes, Conservantes
	Refinería de azúcar	Aditivos, Refinería
Mejoramiento del suelo	Fertilizantes naturales	Tratamiento de tierras ácidas, Mejoramiento de tierras estériles
	Nutrientes	Abonos naturales en el agro
FUENTE : INGEMMET/ HTTP://TRAMITE.INGEMMET.GOB.PE/GESROCMIN/RM_REPORTES/RM_REPMATRIZ.ASPX		

TABLA N° 23		
MATRIZ DE USOS Y APLICACIONES DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES- (Subsector Construcción)		
ÁREA	UTILIZACIÓN	
Aglomerantes	Cales	Cal, Cal Hidratada , Cal Apagada
	Cementos y derivados	Clinker, Portland, Blanco, Aluminoso, Hidráulico
Rocas de construcción	Material de construcción	Concreto, Escarchado, Piedra para zanja , Muros
	Rocas ornamentales	Pisos, peldaños , Enchapes, Interiores , Exteriores, Figuras diversas , Utensilios para laboratorios y domésticos
Áridos	Áridos	Naturales, Triturados
FUENTE : INGEMMET/ HTTP://TRAMITE.INGEMMET.GOB.PE/GESROCMIN/RM_REPORTES/RM_REPMATRIZ.ASPX		

TABLA N° 24		
MATRIZ DE USOS Y APLICACIONES DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES -(Subsector Medio Ambiente)		
ÁREA	UTILIZACIÓN	
Diversos	Tratamiento de aguas	Tratamiento del agua potable, Tratamiento de aguas residuales
	Tratamiento de rellenos sanitarios	Cargas para tratamiento de basuras y residuos, Tratamiento de gases, Desinfectantes , Supresor de humo, polvos en caminos
FUENTE : INGEMMET/ HTTP://TRAMITE.INGEMMET.GOB.PE/GESROCMIN/RM_REPORTES/RM_REPMATRIZ.ASPX		

TABLA N° 25		
MATRIZ DE USOS Y APLICACIONES DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES -(Subsector Minero – Energético)		
ÁREA	UTILIZACIÓN	
Energía	Petróleo y Gas	Tratamiento del carbón, Cerillas, lámparas de gas y fluorescentes
Metalurgia	Fundición y Refinación	Fundición metálica y no metálica, Refinación y manufactura, Electrodo para soldadura y aleaciones, Anticongelantes e Inhibidor de corrosión, Retardante
Minería	Concentración	Tratamiento de metales, Concentrados, Pelitización, Tostación, Carga
Siderurgia	Industria del acero	Fabricación del hierro y acero, Carga en coquificación en la fabricación de hierro y acero
FUENTE : INGEMMET/ HTTP://TRAMITE.INGEMMET.GOB.PE/GESROCMIN/RM_REPORTES/RM_REPMATRIZ.ASPX		

TABLA N° 26		
MATRIZ DE USOS Y APLICACIONES DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES- (Subsector Materiales e Insumos Básicos)		
ÁREA	UTILIZACIÓN	
Cerámicas	Electricidad, electrónica y óptica	Componentes eléctricos y electrónicos, semiconductores
	Ladrillería, tejas	Ladrillos de diversos tipos (pared, techo, ornamentales), Tejas
	Lozas y porcelanas	Carga, Fundente
	Refractarios	Ladrillos
Vidrio	Vidrios y fibra de vidrio	Artículos de vidrio, Aditivos
FUENTE : INGEMMET/ HTTP://TRAMITE.INGEMMET.GOB.PE/GESROCMIN/RM_REPORTES/RM_REPMATRIZ.ASPX		

TABLA N° 27
MATRIZ DE USOS Y APLICACIONES DE ROCAS Y MINERALES
INDUSTRIALES -(Subsector Químico)

ÁREA	UTILIZACIÓN	
Diversas	Abonos y plaguicidas	Fertilizantes, Nutrientes, Fungicidas y pesticidas, Carga
	Abrasivos	Jabones y detergentes, Pastas dentales
	Caucho	Llantas y cámaras, Objetos de caucho para la industria, Carga
	Curtiembre	Curtido de cueros y suelas, Acabados de cueros y suelas.
	Limpieza y tocador	Jabones, Limpiadores, Lejía
	Medicina, farmacia y veterinaria	Medicamentos para humanos y animales, Cosméticos, Polvos y pastas, Reactivo químico, Laser
	Papel	Cargas, Disolvente
	Pinturas, lacas y barnices	Carga en pinturas todo tipo, Barnices, Lacas, esmaltes, Masillas, Gomas, Selladores
	Plásticos	Carga, Tubos de construcción, Cables de todo tipo, Telas, Objetos de plástico para la Industria y el Comercio
	Sustancias químicas y derivados	Sellantes, Fungicidas y pesticidas, Gomas, Baterías (Submarinos, instalaciones telefónicas y fuentes energéticas para ferrocarriles y teléfonos), fabricación electrodos de soldadura, carbonatos, Carga

FUENTE : INGEMMET/

[HTTP://TRAMITE.INGEMMET.GOB.PE/GESROCCMIN/RM_REPORTES/RM_REPMATRIZ.ASPX](http://tramite.ingemmet.gob.pe/gesroccmin/rm_reportes/rm_repmatriz.aspx)

4.8. USOS Y APLICACIONES DE ACUERDO AL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA DE LLACCCHUAS

Es imprescindible contar un análisis químico para la aplicación industrial de la roca caliza y sus derivados, puesto que estos proporcionan valores en porcentajes de sustancias químicas las cuales son exigibles en cantidades determinadas por cada industria, para su fabricación.

Resulta muy llamativo comprobar la variedad de productos de uso cotidiano que están fabricados con minerales industriales, esta investigación tiene como principal fin aportar el uso industrial de acuerdo al análisis químico procedente del Yacimiento de Llacchuas. Teniendo en cuenta Teniendo en cuenta que esta investigación es un estudio preliminar de la posibilidad del uso Industrial de la Roca Calcarea⁶ de Llacchuas.

De la tabla N° 28, se depende las especificaciones de acuerdo a análisis químicos sobre los porcentajes de elementos químicos permisibles de las calizas (elementos mayores y algunas industriales.). De acuerdo las especificaciones del INGEMMET y SEGÚN W. LORENZ Y W GWOSDZ.,

De la tabla N° 29, determinaremos en los espacios sombreados en azul su aplicación permisible y encuadrables en grupo de usos en diferentes industrias que consumen la caliza y sus derivados.

⁶ Llamada también caliza

TABLA N° 28
CLASIFICACIÓN DE PUREZA DE LAS CALIZAS DE ACUERDO A ANÁLISIS QUÍMICO
 Según w. Lorenz y W Gwosdz

OBSERVACIONES	USO O APLICACIÓN	CAO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Pb	Cu	Zn	As
	Fundente	Acero	> 50.4	< 1.5	< 1	< 2	< 5	< 0.5	< 0.5	< 0.01				
		Vidrio	> 55.2	< 2	0.3 - 1	0.01 - 3	< 0.8	< 0.05	< 0.05	< 0.1	< 0.05	< 0.5		Bajo
		Fibra de Vidrio	> 47.6	< 2	No muy Alto		< 0.8	50						
Fe ₂ O ₃ < 0.5 % tamaño de granos variables según tipo de horno		Producción del azúcar	> 55.2	< 1	< 1.5		< 4	< 0.05						
No meteorizado, no polvo, ni arcs, etc		Camas de Filtro	> 53.2	< 1										
	Relleno / Carga	Blanqueado	> 55.2	Bajo			Bajo		< 0.03			< 0.0003		
		Caucho, Goma	> 55.2	Bajo			Bajo		< 0.03			< 0.0003		
		Plástico	> 55.2	< 1	Bajo		< 0.05	< 0.05	< 0.02	0.15				
		Pintura	> 55.2	< 2	bajo	< 0.25	< 3	Bajo		< 0.15				
Otros metales < 0.003 % F < 0.005 %			Comida, cosméticos, antibióticos									< 0.001		
As < 3 ppm			Farmacéuticos, pasta dental	> 54.9			bajo			< 0.003				< 0.0003
			Papel	> 52.1	< 2	< 2	< 0.01	< 2			Bajo			
			Comida de animales (Fuentes de Calcio)	< 53.2 - 54.9	< 3							< 0.004	Bajo	Bajo
			Fertilizantes	> 39.3 - 50.4										
cl < 1000 ppm			Desulfurados de gas de combustión neutralización de aguas servidas	> 47.6 - 53.2	< 2	< 1	1 - < 3	< 5						

TABLA N° 28
CLASIFICACIÓN DE PUREZA DE LAS CALIZAS DE ACUERDO A ANÁLISIS QUÍMICO
 Según w. Lorenz y W Gwosdz

OBSERVACIONES	USO O APLICACIÓN	CAO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Pb	Cu	Zn	As
Se aplica también cal viva; contenidos de metales pesados; As < 30 ppm, Pb < 120 ppm, Cd < 2 ppm, Cr < 150 ppm, Cu < 35 ppm, Ni < 50 < 100 ppm, Hg < 3 ppm	Regulador de Acidez	Agricultura	> 47.6 - 50.4		< 1	< 1		< 0.05						
		Nitrato de amonio de calcio Minas de Carbón (barreras de polvo)	> 47.6	< 10		tolerado								
			> 50.4	< 3-5			tolerado							
		Producción de carburo	> 54.4 - 55.2	< 1.2	< 0.75	< 0.5 -2				< 0.015				
		Cal	> 53.2		< 0.9	< 2								
		Producción de Soda	> 50.4	< 3	< 1.5	< 1.5 -3	< 0.05							
Suma Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ Mn<2%		Polvo para blanquear	> 53.2	< 1.5		< 0.3	< 2							
		Cerámica	> 53.8	< 2		< 0.3	< 0.5							
		Cemento	> 42	< 16	< 5	< 3	< 6	0.5	0.5					

FUENTE: MANUAL PARA LA EVALUACIÓN GEOLÓGICA TÉCNICA DE RECURSOS MINERALES DE CONSTRUCCIÓN. 2004

TABLA N° 29
USOS Y APLICACIONES DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO DE LLACHUAS DE ACUERDO A ANÁLISIS QUÍMICO
 Según w. Lorenz y W Gwosdz

OBSERVACIONES	USO O APLICACIÓN		CAO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Pb	Cu	Zn	As
Se aplica también cal viva; contenidos de metales pesados; As < 30 ppm, Pb < 120 ppm, Cd < 2 ppm, Cr < 150 ppm, Cu < 35 ppm, Ni < 50 < 100 ppm, Hg < 3 ppm	Regulador de Acidez	Agricultura	> 47.6 - 50.4		< 1	< 1			< 0.05						
		Nitrato de amonio de calcio Minas de Carbón (barreras de polvo)	> 47.6	< 10		tolerado									
			> 50.4	< 3 - 5			tolerado								
		Producción de carburo	> 54.4 - 55.2	< 1.2	< 0.75		< 0.5 - 2				< 0.015				
		Cal	> 53.2		< 0.9		< 2								
		Producción de Soda	> 50.4	< 3	< 1.5		< 1.5 - 3	< 0.05							
Suma Al ₂ O ₃ FeO ₃ Mn < 2%		Polvo para blanquear	> 53.2	< 1.5		< 0.3	< 2								
		Cerámica	> 53.8	< 2		< 0.3	< 0.5								
		Cemento	> 42	< 16	< 5	< 3	< 6	0.5	0.5						

FUENTE: MANUAL PARA LA EVALUACIÓN GEOLÓGICA TÉCNICA DE RECURSOS MINERALES DE CONSTRUCCIÓN. 2004

4.8.1. INDUSTRIA DEL ACERO

Los tres materiales básicos que se utilizan en la fabricación del acero son el mineral de hierro, la caliza y el coque⁷; la creación del acero con el mineral de hierro en un horno alto, el aire y la coque combustiona y posteriormente se añaden piedra caliza (triturada) para el mineral de hierro durante su proceso de fundición.

La función de la caliza es remover impurezas (azufre y fósforo), actuando como fundente (lo que significa que fluye como un fluido), lo que hace que las impurezas se fundan a baja temperatura, la caliza se combina con impurezas y forma escoria, que es ligera flota sobre el metal fundido y que su consecuentemente es eliminada.

La piedra caliza no permanece normalmente en la mezcla del acero para su endurecimiento. La combinación de piedra caliza e impurezas se eleva a la parte superior de una mezcla de acero fundido durante el periodo de calentamiento.

El acero resultante tiene una mayor calidad con una integridad estructural fuerte.

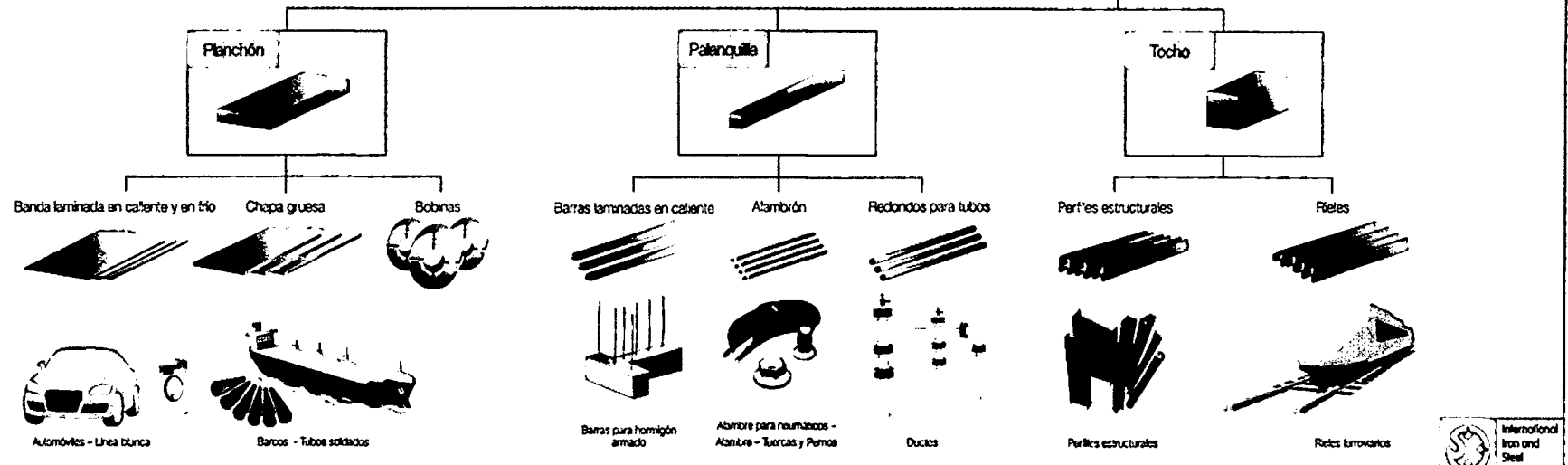
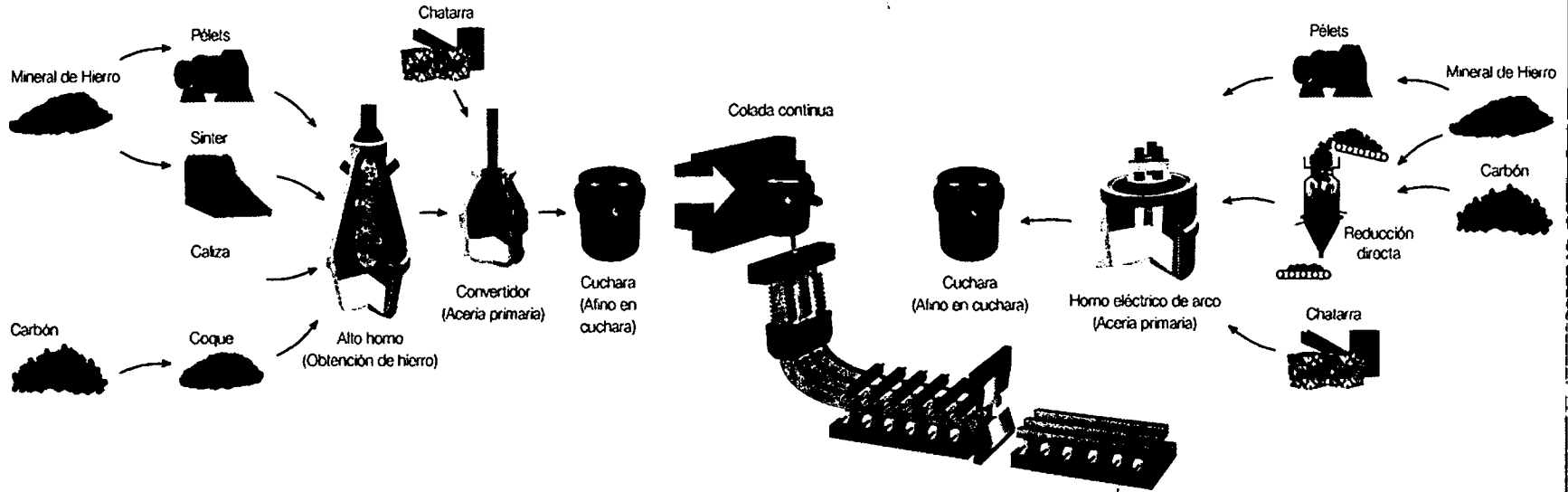
⁷ combustible sólido formado por la destilación de carbón bituminoso calentado a temperaturas de 500 a 1100 °C sin contacto con el aire

FIGURA N° 10

DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE ELABORACIÓN DEL ACERO

Obtención de Acero en Base a Altos Hornos

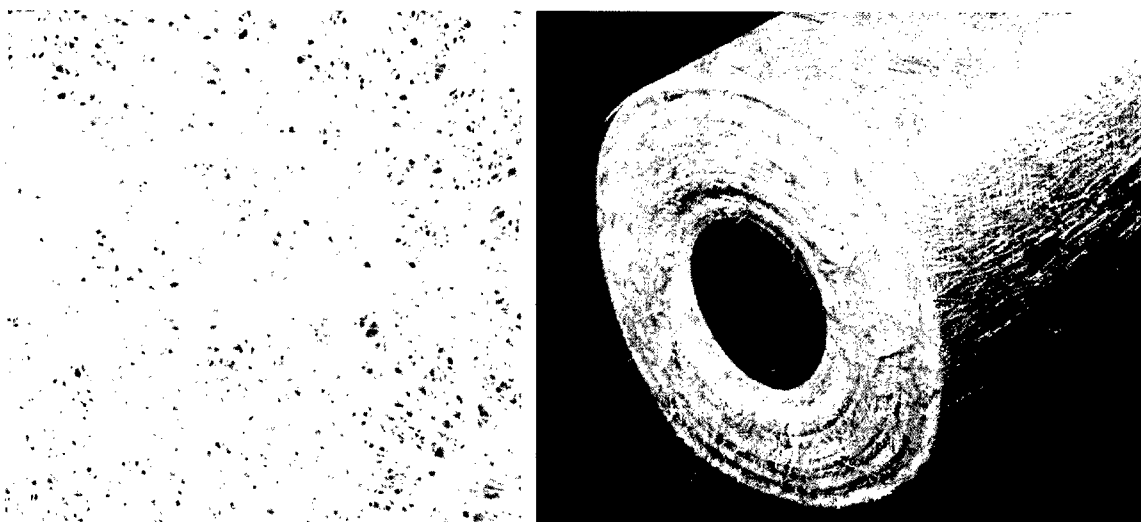
Acería Eléctrica



131

4.8.2. FIBRA DE VIDRIO

El vidrio se obtiene de una mezcla de arena de sílice (SiO_2), con fundentes carbonato de sodio (Na_2CO_3), y estabilizantes, como caliza (CaCO_3), se añaden, cada vez en mayor medida, cascos de vidrio procedente de envases de vidrio reciclado, la mezcla funde en torno a 1.500 C. Para conseguir los filamentos de fibra, el vidrio fundido pasa a través de unos orificios minúsculos que posteriormente se deja solidificar logrando que el producto final permanezca con flexibilidad suficiente como para poder entretejerlo y formar textiles.



FOTOGRAFÍA N° 16 FIBRA DE VIDRIO / <http://fibradevidriouno.com/la-fibra-de-vidrio/>

4.8.3. CAMAS DE FILTRO⁸

La filtración se puede definir como el proceso que permite separar un sólido de un líquido, cuando la mezcla se hace pasar a través de un medio poroso.

⁸ para retener sólidos suspendidos en el agua

La Calcita es un medio filtrante en carbonato de Calcio. Una de las ventajas de la Calcita es su propiedad auto-limitante. al aplicarla adecuadamente, corrige el pH lo suficiente para alcanzar un equilibrio no-corrosivo. En condiciones normales, al hacer contacto con la Calcita, las aguas ácidas disuelven lentamente el carbonato de calcio para elevar el pH, el cual reduce la posible lixiviación del cobre, plomo y otros metales que se encuentran en sistemas de bombeo típicos.

El medio filtrante ensuciado puede limpiarse químicamente in-situ como recurso temporal en vez de volver a preparar la cama de filtro con compuesto químico, la acidificación del agua hasta a un PH aproximadamente de 4 ayuda a disolver impurezas.

4.8.4. PAPEL

Utilizados como cargas que son productos en polvo (normalmente procedentes de la molturación de rocas) que contribuyen a darle cuerpo al papel, además de contribuir sustancialmente a conseguir otras características como: disminuir el brillo, aumentar la resistencia mecánica, crear una microporosidad adecuada para su transpirabilidad, facilitar su lijado, aumentar su poder de relleno, etc. las más utilizadas son: carbonato de calcio, caolín, mica, talco, sílice, yeso, sulfato de bario, etc.

Como las cargas son más económicas que la celulosa, disminuye el precio del papeles. Los productos de carga rellenan todos los vacíos existentes entre las fibras, con lo cual los papeles adquieren una superficie uniforme, al mismo tiempo que se ablandan, reducen su transparencia y mejoran condiciones para la impresión.

La blancura del papel, su brillo u opacidad, dependen de la clase de producto de carga. El grano más fino, por ejemplo, produce mayores opacidades y una blancura más elevada.

Existen otro tipo de papeles como el llamado Papel de Piedra el cual no se necesita usar agua como tampoco ningún producto químico para su fabricación, que tampoco implica el uso de cloro o ácidos fuertes.

Es naturalmente impermeable y resistente y es también antigrasa, evita la creación de hongos por lo que es ideal para aplicaciones tales como:

Etiquetas de Vino que quedan como nuevas, sin arrugas ni manchas de humedad, después de pasar horas en una cubitera o varios meses en el refrigerador. Bolsas de papel que tienen un tacto muy sedoso o aterciopelado y son impermeables.

Envoltorios de jabón en pastillas que son naturalmente anti-hongos y permiten envolver la pastilla con una sola capa de Papel de Piedra evitando el uso del

cartoncillo con tratamiento especial. Mapas que son resistentes a la rotura e impermeables, mapas que tendrán múltiples usos y que tendrán una vida útil más larga.



FOTOGRAFÍA N° 17 PRODUCTOS PAPEL Y PAPEL DE PIEDRAS/
<http://www.papeldepiedra.com.mx/>

4.5.5.5. COMIDA DE ANIMALES

En los últimos años se ha observado una tendencia creciente al uso más intenso de suplemento minerales para enriquecer y fortalecer los numerosos tipos de alimentos orgánicos para animales.

El calcio es necesario para los animales en cantidades mayores que ningún otro mineral; la roca caliza rica en calcio pulverizada proporciona calcio fácilmente asimilable de una manera muy económica y es el portador ideal

para los otros elementos, entre ellos los oligoelementos⁹, que constituyen un suplemento mineral; en las industrias, las especificaciones exigen caliza finamente molida que pase de 100 mallas en proporción de por lo menos 95 por ciento y tiene que ser también lo bastante pura, además de contener poca sílice y poca alúmina, el contenido de flúor y arsénico tiene que ser sumamente bajo.

La mayoría de las arenas suministradas a las aves son de origen calcáreo cuya ventaja es la asimilación de gran parte del calcio, en ocasiones es posible hacer estos materiales partiendo de rocas graníticas.

Las gallinas necesitan generalmente arenas con tamaño de 6 milímetros de diámetro; los pavos consumen un tamaño mayor de los 6 milímetros de diámetro y los pollos exigen un tamaño entre los 3 y 5 milímetros de diámetro. El propósito de la adición de carbonato de calcio a la dieta del pollo es para permitir que produzca cáscaras de huevo fuertes.

En la alimentación del ganado lechero se da con el carbonato de calcio de la piedra caliza, que ayuda a los animales a reemplazar el calcio que se pierde cuando se ordeñan.

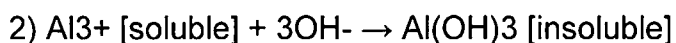
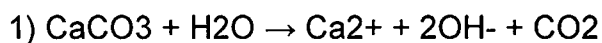
⁹ son bioelementos presentes en pequeñas cantidades en los seres vivos y tanto su ausencia como su exceso puede ser perjudicial para el organismo, llegando a ser patológicos.



FOTOGRAFÍA N° 18 PRODUCTOS COMIDA PARA ANIMALES /
<http://www.folapsa.mx/portfolio-view/alimento-engorda-bovinos/>

4.8.6. FERTILIZANTES- AGRICULTURA, REGULADOR DE ACIDEZ

El principal uso de la cal agrícola es elevar el pH de los suelos ácidos y reducir la concentración de aluminio (Al) en la solución del suelo. El crecimiento pobre de los cultivos en los suelos ácidos se debe principalmente al Al soluble, que es tóxico para el sistema radical de muchas plantas. La cal reduce el Al soluble por dos reacciones:



El agregado de cal también es una fuente valiosa de Ca (y posiblemente Mg) para la nutrición de las plantas. Algunos de los beneficios secundarios de la neutralización de la acidez del suelo con cal agrícola incluyen:

- ✓ Mayor disponibilidad de fósforo (P).
- ✓ Mejor fijación de nitrógeno (N) de las leguminosas.
- ✓ Aumenta la mineralización de N y la nitrificación.
- ✓ Mejor uso del agua, recuperación de nutrientes y el crecimiento de las plantas con un sistema radicular más saludable

El carbonato de calcio, el principal componente de la piedra caliza, es una enmienda muy utilizada para neutralizar la acidez del suelo y suministrar calcio (Ca) para la nutrición de las plantas.

En el uso agrícola generalmente se refiere a la piedra caliza molida, en la producción de paja y grano y en la concentración de nutrientes en plantas de maíz, la aplicación de este elemento es más efectivo, alcanzando valores mayores de pH, las mayores concentraciones de Ca y Mg cambiables y la menor concentración de Al cambiante en la fase sólida del suelo

La alcalinidad no es una medida del pH, es una medida de los bicarbonatos y carbonatos presentes en el agua y se expresa en partes por millón (ppm) de carbonato de calcio. Esencialmente, la alcalinidad es una medida de la cantidad de “caliza” en el agua. Por lo tanto, entre más alta sea la alcalinidad

de la fuente de agua, más “caliza” será aplicada con cada riego y más rápido aumentará el pH del sustrato.

TABLA N° 30

ALCALINIDAD DEL AGUA PPM CaCO₃ PARA FERTILIZANTE

Alcalinidad del agua (ppm de CaCO₃)	Basicidad potencial del fertilizante (kg de CaCO₃ / tonelada de fertilizante)*	Acidez potencial del fertilizante alternado (kg de CaCO₃ / tonelada de fertilizante)*
0 - 60	45 - 181	45 - 136
60 - 120	45 - 181	136 - 227
120 - 180	45 - 181	181 - 318
180 - 250	45 - 181	272+ O inyecte ácido hasta la cantidad de la primera columna.
250+	45 - 181	Ajuste con ácido la alcalinidad hasta la cantidad de la primera columna. Aplique el fertilizante sugerido.

.FUENTE: EMPRESA DE FERTILIZANTE PROMIX / <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/fundamentos-basicos-de-los-fertilizantes-de-liberacion-controlada/>

Asimismo, la producción de especies sembradas con distinto tamaño de caliza, así como la relación de especies sembradas, La efectividad de la caliza fina es mayor cuando se añade toda la dosis. Las mezclas de caliza fosfatada con humus de lombriz, estiércol vacuno y estiércol porcino, en las proporciones y dosis estudiadas, estimulan la actividad microbiológica del suelo y favorecen los procesos microbiológicos asociados a la mineralización del nitrógeno orgánico.



FOTOGRAFÍA N° 19 PRODUCTOS FERTILIZANTES / <https://www.fertisa.com/producto.php?id=58>

4.8.7. DESULFURADOS DE GAS DE COMBUSTION NEUTRALIZACION DE AGUAS SERVIDAS Y CENTRALES TERMO ELÉCTRCIAS

En el subsector medio ambiente la cal se utiliza en las siguientes aplicaciones:
Como principal material químico para tratamientos de agua, elimina la dureza.
Como un agente ácido neutralizador, en numerosos tipos de industrias que requieren más que un simple tratamiento mecánico o bioquímico para un buen tratamiento de los desperdicios que generan.

Como material sanitario para evitar la putrefacción generada por heces fecales, fosas sépticas, animales en descomposición, tratamientos de desechos municipales.

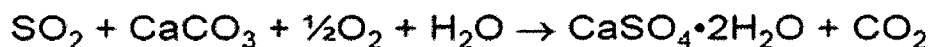
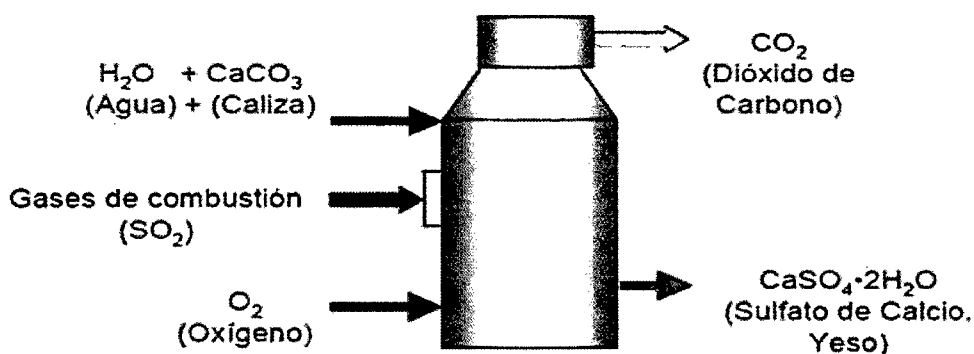
En la purificación del aire, debido a que esta desulfura los gases que salen de las plantas industriales de carbón como también aquellos gases que salen de las plantas donde se quema mucho aceite sulfúrico

En el caso de centrales termoeléctricas, para el abatimiento de material Particulado (cenizas volantes, principalmente) existen diversas tecnologías.

Desulfuración por vía húmeda: en este caso, los gases de combustión se saturan con agua y se utiliza piedra caliza (carbonato de calcio, CaCO_3) como reactivo, con el objetivo de transformar el dióxido de azufre a yeso (sulfato de calcio, CaSO_4). La eficiencia de remoción puede alcanzar sobre un 90%.

Desulfuración en seco: este sistema utiliza cal (óxido de calcio, CaO) como reactivo para transformar el dióxido de azufre a azufre en fase sólida sulfito de calcio, (CaSO_3). El proceso también genera otros residuos tales como la mezcla de cenizas volantes y aditivos sin reaccionar.

Reacciones químicas del proceso de desulfuración:



FOTOGRAFÍA N° 20 REACCIONES QUÍMICAS /
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=3018>

La caliza en polvo es contenida en el tanque de preparación de caliza, donde está mezclada con agua de proceso o recuperada obteniendo así una lechada con la concentración de sólidos requerida

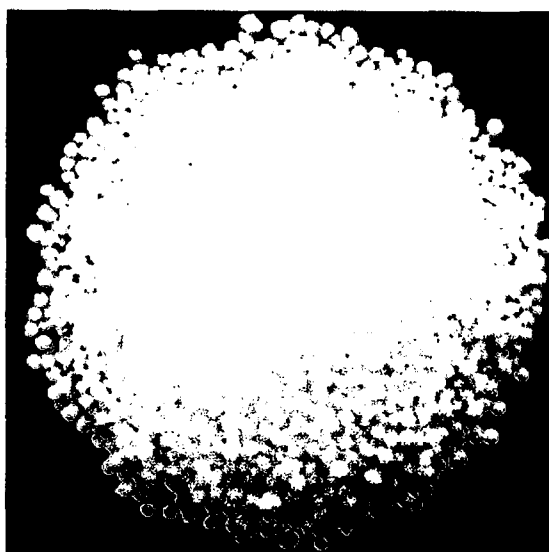
4.8.8. NITRATO DE AMONIO – MINAS DE CARBÓN

En la minería del carbón, el uso de los explosivos altos ordinarios es peligroso debido a la posibilidad de prender los gases o el polvo de carbón suspendido que puedan estar presentes en el subsuelo. Para realizar voladuras en estas condiciones se han desarrollado tipos especiales de explosivos de seguridad que minimicen el riesgo de incendios o explosiones, produciendo llamas relativamente frías y que duran poco tiempo. Los tipos de explosivos de seguridad aprobados para trabajar en minas de carbón son principalmente mezclas de nitrato de amonio con otros ingredientes como nitrato de sodio, nitroglicerina, nitrato de celulosa, nitro almidón, material carbónico, cloruro de sodio y carbonato de calcio.

La piedra caliza pulverizada, también conocida como polvo de roca, es un polvo de color blanco que mejora la seguridad en las minas subterráneas.

El polvo se pulveriza sobre superficies expuestas de carbón en la mina para mejorar la iluminación y para reducir la cantidad de polvo fino provocado por la actividad en la mina.

Esto mejora la calidad del aire para la respiración y también reduce el riesgo de explosión presentado por las partículas de polvo de carbón suspendidas en el aire, que son inflamables.



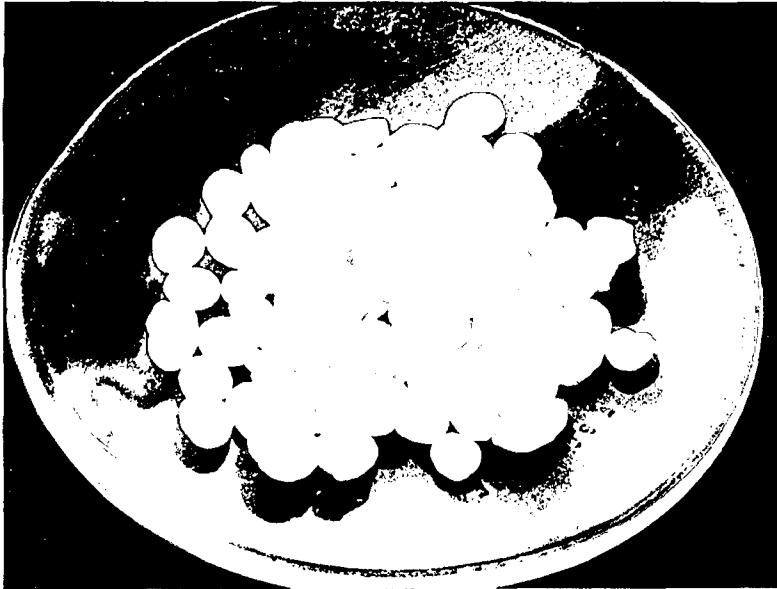
FOTOGRAFÍA N° 20 PRODUCTOS FERTILIZANTES / www.famesa.com.pe

4.8.9. PRODUCCION DE SODA

El hidróxido de sodio, que se conoce comúnmente como soda cáustica, se produce comercialmente por dos métodos básicos: celdas electrolíticas y proceso químico.

La soda cáustica de proceso químico se produce mediante la reacción de carbonato de sodio (Na_2CO_3) con hidróxido de calcio ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$) para formar hidróxido de sodio (NaOH) y carbonato de calcio (CaCO_3). La mayoría de la soda cáustica se produce a partir de celdas electrolíticas.

La Soda Caústica se emplea en la industria papelera, farmacéutica, alimenticia, jabonera y química. Además de servir para la elaboración de limpiadores y desinfectantes, regeneración de resinas, tratamiento de aguas, efluentes líquidos y gaseosos.



FOTOGRAFÍA N°
21
PRODUCTO SODA
CAUSTICA

Fuente: <https://curiosoando.com/que-es-el-hidroxido-de-sodio-o-sosa-caustica>

4.8.10. POLVO PARA BLANQUEAR

La piedra caliza es una piedra suave con una gran cantidad de poros que recoger suciedad y absorben las manchas, utilizada en el blanqueo de papel

4.8.11. CERÀMICA

En la industria cerámica existen diferentes materias primas que contribuyen a tener un mayor control de las variables anteriormente mencionadas, uno de

estos materiales es el Carbonato de Calcio ya sea puro o el que está contenido en las rocas calizas

La industria de la cerámica abarca varios sectores: cerámica estructural (ladrillos, tejas, bovedillas, tableros, bloques, etc.), baldosas para pavimentos y revestimientos (azulejos), vajillas, cerámica decorativa, técnica, alfarería y productos refractarios, aunque en cuanto a producción destacan claramente los dos primeros sectores. En baldosas cerámicas se utilizan arcillas rojas, arcillas de cocción blanca, caolín, feldespato y arena silíceo, carbonatos y talco, en distinta proporción según se trate de revestimiento, pavimento, pasta blanca o roja, etc.

Las calizas agregadas a las pastas cerámicas se descomponen entre los 600°C y 900°C de acuerdo a la concentración de cada uno de sus componentes, el resultado de esta reacción es la formación de dióxido de carbono y óxidos de calcio y magnesio. El MgO y CaO así formados reaccionan con la sílice presente en la arcilla, dando MgSiO₃ (silicato de magnesio) y CaSiO₃ (silicato de calcio).

La función de la caliza es: Dar color oscuro a la materia prima, producir atmósfera reductora en el horno de modo que afecta al color y al comportamiento a la vitrificación y reducir la cantidad de combustible requerida para la cocción.

En general las materias primas cerámicas mayormente como rocas se usan: arcillas comunes, caolines y arcillas caoliníferas, pizarras, bauxitas y lateritas, areniscas y cuarcitas, basaltos, tobas, vidrios volcánicos, granitos y pegmatitas, diatomitas, y caliza y dolomias¹⁰

TABLA N° 31

PRINCIPALES ROCAS UTILIZADAS COMO MATERIA PRIMA CERÁMICA

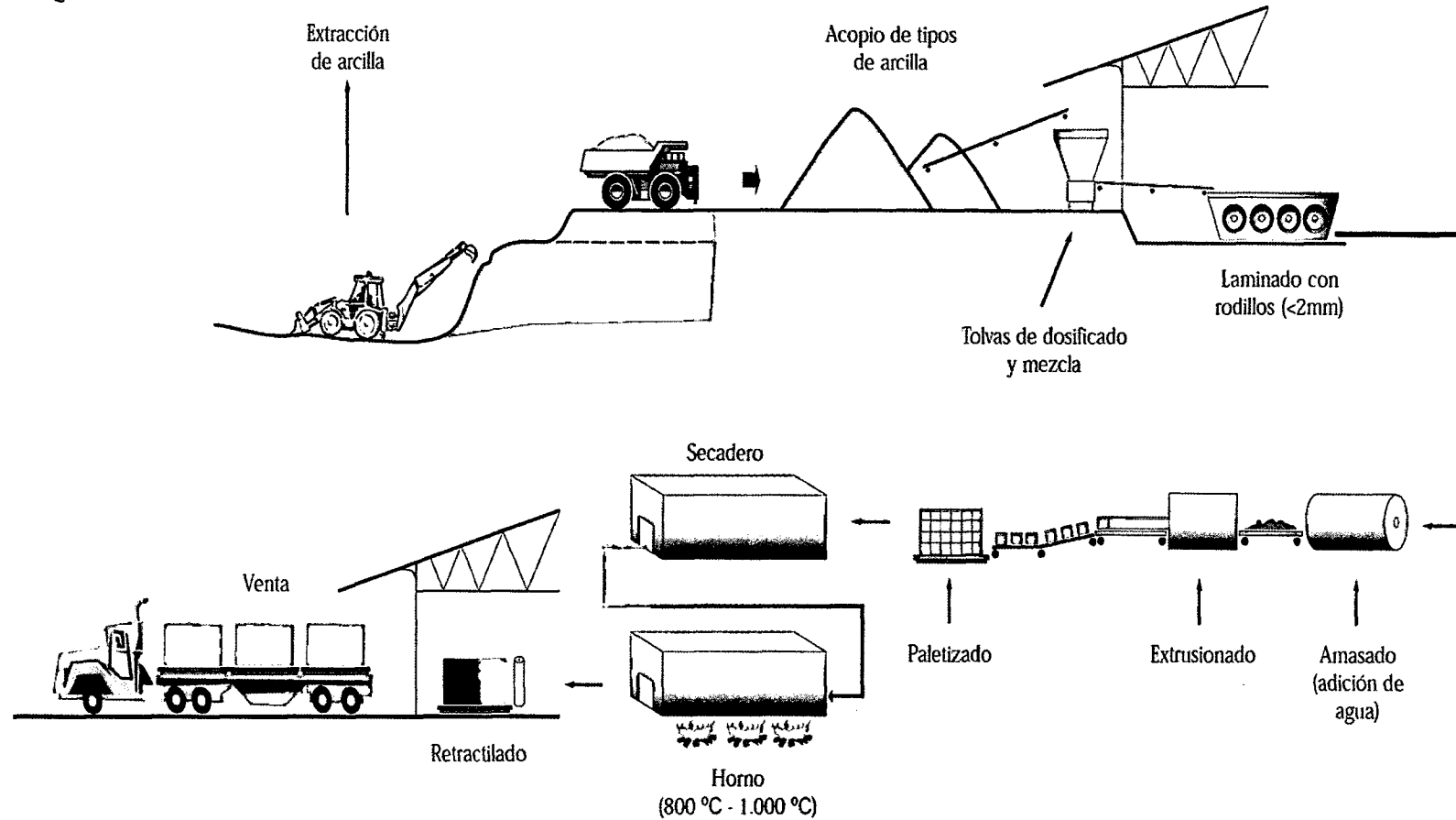
Nombre de la roca	Mineralogía esencial	Fórmula mineral
Caolín	Caolinita y metahalloysita Halloysita Feldespato. Cuarzo Illita (mica degradada y de tamaño pequeño)	$Al_4Si_4O_{10} (OH)_8$ $Al_4Si_4O_{10} (OH)_8 \cdot 4H_2O$
Arcilla refractaria	Caolinita, cuarzo, illita	
Bauxita	Gibbsita Diásporo Bohemita Cuarzo, caolinita, óxidos de Fe	$Al (OH)_3$ $\alpha-AlO (OH)$ $\gamma-AlO (OH)$
Granito	Cuarzo, feldespatos Moscovita Biotita	$K Al_2 Si_3 AlO_{10} (OH)_2$ $K (Al, Mg, Fe)_3 Si_3 AlO_{10} (OH, F)_2$
Pizarra	Cuarzo, feldespatos, illita Clorita	$(Mg, Fe, Al)_6 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_8$
Caliza	Calcita, aragonito	$CaCO_3$
Dolomía	Dolomita	$(Ca, Mg) (CO_3)_2$
Serpentina	Crisotilo y antigorita	$Mg_6 Si_4 O_{10} (OH)_8$
Arenisca, cuarcita	Cuarzo	
Arcillas cerámicas	Cuarzo, calcita, dolomita, caolinita, illita, clorita, vermiculita, óxidos de Fe, montmorillonita	$(Al, Mg, Fe)_2 (Si, Al)_4 (OH)_2 O_{10} \cdot X^{+}_{0,7} n H_2O$

Fuente: Materias primas para la industria cerámica

¹⁰ Materias primas para la industria cerámica

FIGURA Nº 13

ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE CERÁMICA ESTRUCTURAL



4.8.12. CEMENTO

Las materias primas usadas para la fabricación del Clinker para el Cemento Portland¹¹ son la caliza, la arcilla y ligeros correctores de formulación de (arena, cal, mineral de hierro). Las materias primas se trituran finamente y se introducen en un horno de calcinación, a las temperaturas de trabajo, la caliza (CaCO_3), se descompone.

El óxido de cal resultante es bastante refractario¹², no reacciona, pero si se puede ser fácilmente atacado por los productos resultantes de la descomposición de la arcilla. Así el SiO_2 procedente de la descomposición de los silicatos de diversos minerales de arcilla se activa y se combina con el CaO , a la vez los restos de la destrucción de la arcilla van formando diversos compuestos cristalinos con el CaO presente.

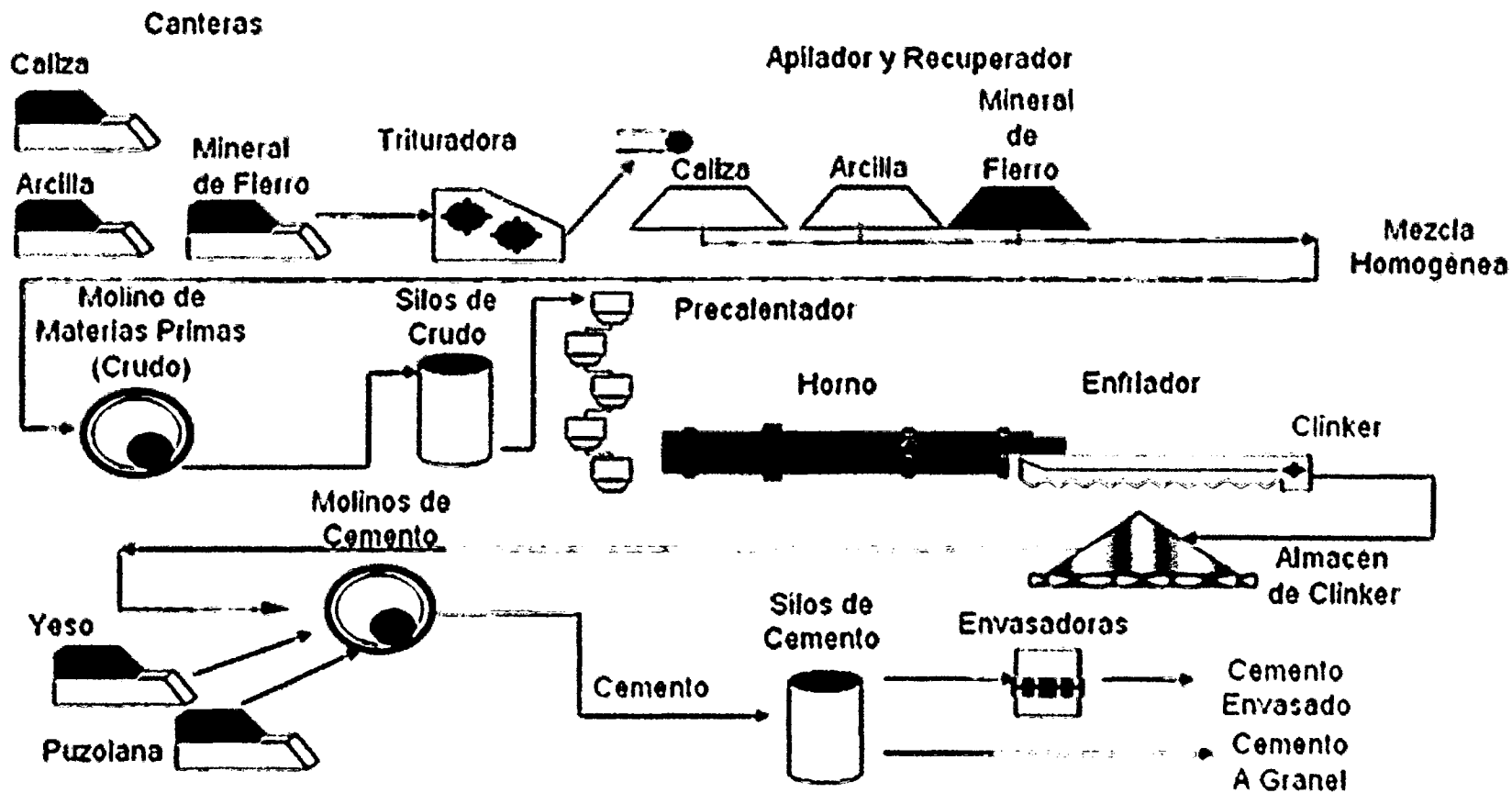
El material sintetizado se denomina Clinker y mineralógicamente está constituido por silicatos y aluminatos de fórmulas complejas.

El Clinker, junto con pequeñas porciones de material de yeso se transporta a los molinos de cemento dando lugar al producto terminado. El cemento se almacena en silos y se distribuye a los clientes en sacos de 21.25 Kg., 42.5 Kg. dependiendo del caso

¹¹ Llamado así a su color, semejante al de la piedra de las canteras inglesas de Pórtland

¹² propiedad de ciertos materiales de resistir altas temperaturas

FIGURA N° 14



150

4.8.13. HORMIGÓN:

El hormigón se forma mezclando cemento y agregados; el agregado grueso se compone de rocas trituradas como la piedra caliza, granito o grava, mientras que el agregado fino se compone de arena, mezclada con algunos productos químicos.

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión. Se podrá situar el límite de finos calizos entre el 12 y el 15 % siempre que se garantice unos contenidos bajos de arcilla.

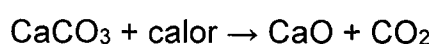
No tiene buen comportamiento frente a otro tipo de esfuerzos como tracción, flexión y cortante.

4.8.14. DETERMINACION DE LA CAL

Es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio)

4.8.14.1. CAL VIVA

La cal viva se obtiene por calcinación de la caliza, con un alto contenido en carbonato de calcio (CaCO_3), a una temperatura de unos $900\text{ }^\circ\text{C}$, que al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. según la siguiente reacción:

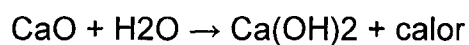


La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada), se aplique en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero¹³ de albañilería.

4.8.14.2. CAL HIDRATADA

Se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio.

En el apagado se libera una gran cantidad de calor según la siguiente reacción:



¹³ compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción

4.8.14.3. CAL HIDRÁULICA

La cal hidráulica es un cemento natural, está compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO_2) y alúmina Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición similar.

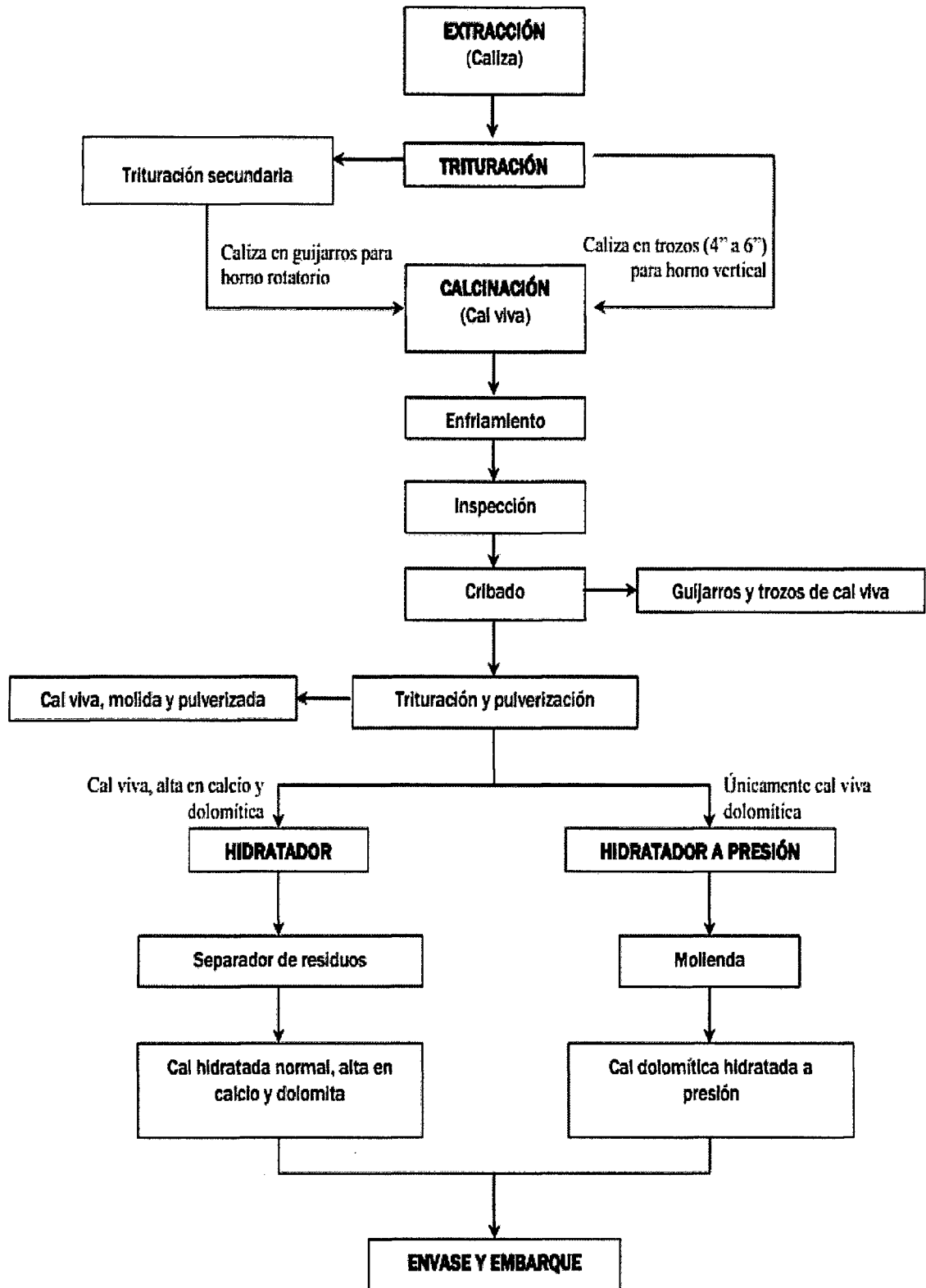
La cocción de una roca caliza con un contenido entre un 8 y un 20% de arcillas da lugar a la cal hidráulica natural. Esta cal se caracteriza por su capacidad para fraguar en ambientes aéreos así como en lugares con escasez de CO_2 , como por ejemplo debajo del agua. A dicha propiedad de fraguado sin CO_2 se la denomina hidraulicidad.



FOTOGRAFÍA N° 22 PRODUCTO CAL

PROCESO DE OBTENCIÓN

El proceso para la obtención de cal que se presentan a continuación está simplificados



Fuente: Perfil Mercado de Caliza

Los usos de la cal se describen en el Siguiete cuadro.

TABLA N° 32**USOS INDUSTRIALES DE LA CAL**

PROPIEDAD	USO
Fundente	Industria del acero y del vidrio
Regulador de PH	Industria minera, procesos de flotación y cianuración
Neutralizante	Neutralización de aguas y suelos ácidos
Caustificante	Industria del papel, fabricación de soda y potasa
Floculador, coagulador	Tratamiento para potabilizar agua
Depilatorio	Industria del cuero
Absorbente	Purifica gases en procesos industriales
Base	Industria azucarera
Oxidante	Fabricación de carburo de calcio
Fungicida, esterilizador	Destructor de hongos, bacterias y organismos vivos
Preservante	Postes, estructuras de maderas, troncos de árboles
Desinfectante	Aguas contaminadas restos orgánicos
Estabilizador	Suelos arcillosos en construcciones viales
Reactivo	Base para la elaboración de más de 100 sales de calcio
Pigmento	Pintura de casas, edificios y estructuras
Adhesivo, lubricante, retenedor de agua aglomerante y adhesivo	Morteros para albañilería y estucos

Fuente. http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/seismic_retrofitting_esp.pdf.

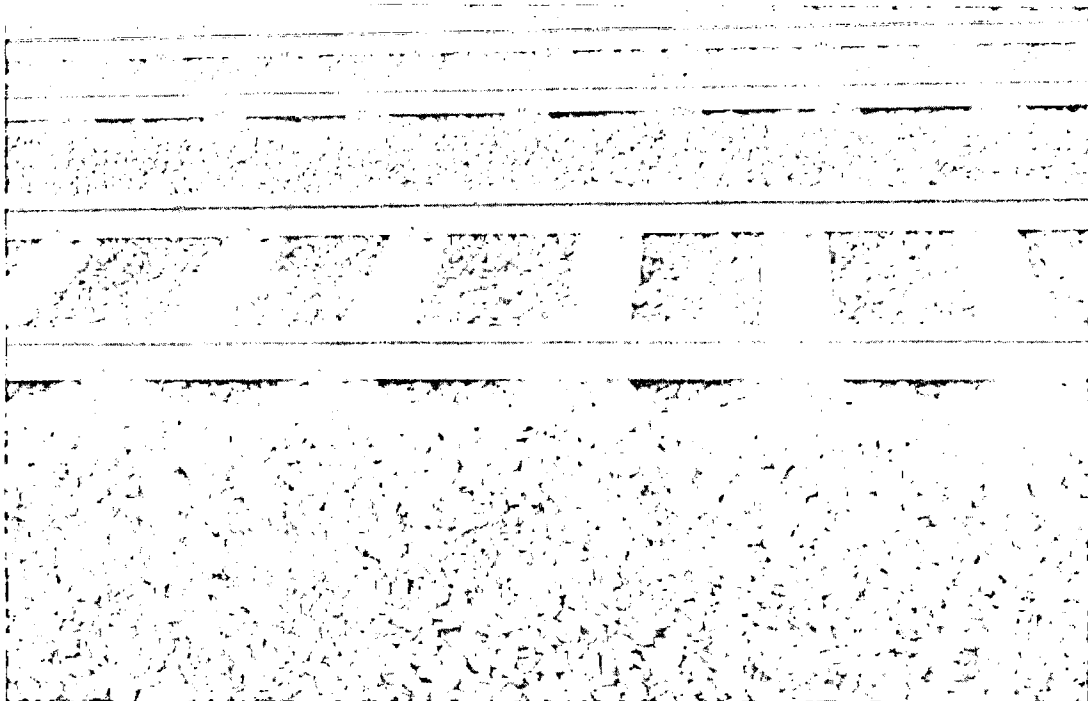
4.9. USOS Y APLICACIONES DE ACUERDO A LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA CALIZA DE LLACCCHUAS

4.9.1 BALASTO PARA FERROCARRILES

Como los balasto para ferrocarriles cuyo tamaño comprende entre $\frac{3}{4}$ y $2\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro. Su función no es otra que la de fijar las piezas de madera o cemento que se atraviesan en la vía férrea para sujetar los rieles.

El balasto también actúa como si fuera un muelle capaz de amortiguar las vibraciones del terreno con el fin de mantener sus vías en buen estado.

El balasto de calizas es usado gracias a sus propiedades mecánicas suficientes para transmitir esfuerzos, sin ocasionar deterioro físico debido a las presiones producidas por el paso de los trenes.



FOTOGRAFÍA N° 23, BALASTO BASE DE CALIZA, /
<https://es.wikipedia.org/wiki/Balasto>

4.9.2. REPRESAS

La represa o presa consta de una barrera de hormigón, piedra u otro material, que se construye sobre un río, arroyo o canal para embalsar el agua en su cauce. Luego esta agua embalsada puede derivarse a canalizaciones de riego

La caliza se podrá usar como piedra de relleno, los fragmentos de caliza irregulares de tamaños que varían entre 15 y 30 centímetros, son utilizados en la construcción de los vertederos de las presas.

La caliza es usada de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas, la alterabilidad química y mecánica de las formaciones bajo la cimentación para localizar adecuadamente los sitios de desplante y diseñar las obras necesarias de drenaje superficial con valores máximos de resistencia al corte de superficies naturales de roca con esfuerzos normales bajos.



FOTOGRAFÍA N° 24, PRESA BASE DE CALIZA, / fundacionemalaikat.es

4.9.3. GAVIONES

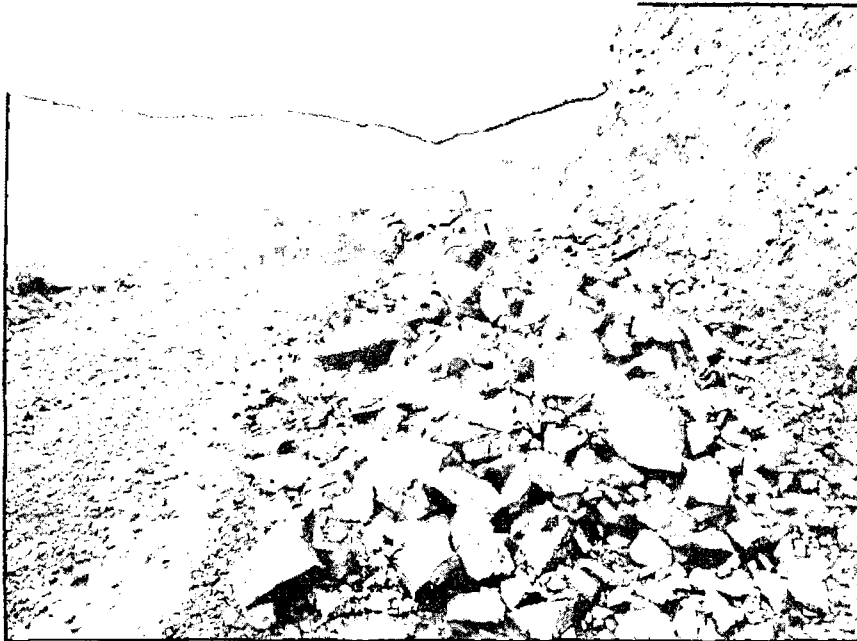
Construye muros de contención de gavión acomodando cestas de metal galvanizadas, llamadas gaviones, en su lugar y llenándolas con piedras. Son paredes del tipo de gravedad, según el peso para resistir las presiones laterales e hidráulicas de la tierra contenida y la acumulación de agua.



FOTOGRAFÍA N° 25, GAVIONES HECHAS CON ROCA CALIZA,
www.canterasleonesas.com

4.9.4. RIPEADO DE CARRETERAS

En caso de carreteras de tipo carrozable, es una mejora geotécnica puesto que superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado el relleno de roca caliza para para hacerlos más transitables, al ser más permeable, este tipo de caminos dan una mayor transitabilidad



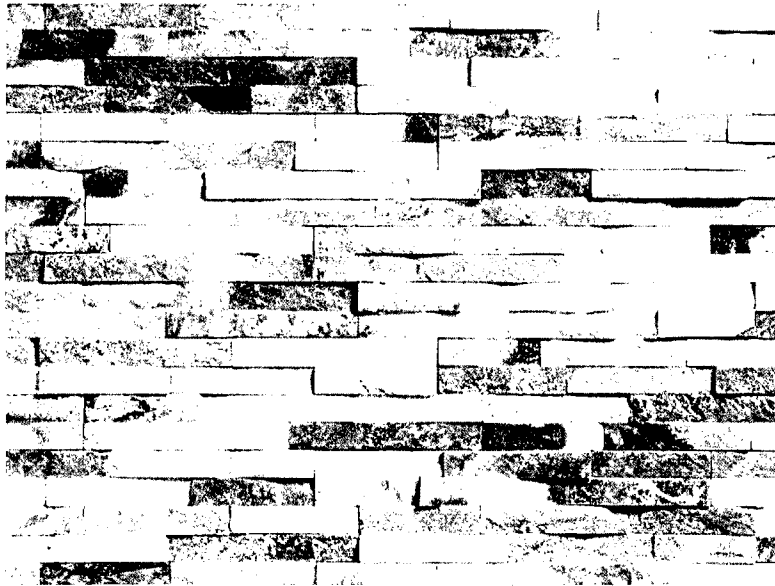
FOTOGRAFÍA N° 26, RIPEADO DE CALIZA EN CARRETERA

4.9.5. PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTO

En la aplicación en pavimentos exteriores de baldosas de piedra, Los acabados condicionan las propiedades estéticas de las baldosas (color y brillo), y la rugosidad de la superficie.

Por sus características físicas, ya que su realización sólo implica un ligero tratamiento con abrasivo para que no sean visibles las líneas de corte. La superficie de la roca en se han incluido los valores de carga de rotura para los diferentes acabados, considerando una baldosa comercial cuyas dimensiones son 300 x 600 mm.

En cerámica de pavimento y revestimiento interior y exterior, el valor de absorción de agua es casi siempre inferior al 3 %. De acuerdo a los resultados de resistencia el uso será de carácter peatonal o de vehículos pequeños.



FOTOGRAFÍA N°
27,
REVESTIMIENTO
O EXTERIOR CON
ROCA CALIZA

4.9.6. ROCA ORNAMENTAL Y ARQUITECTURA

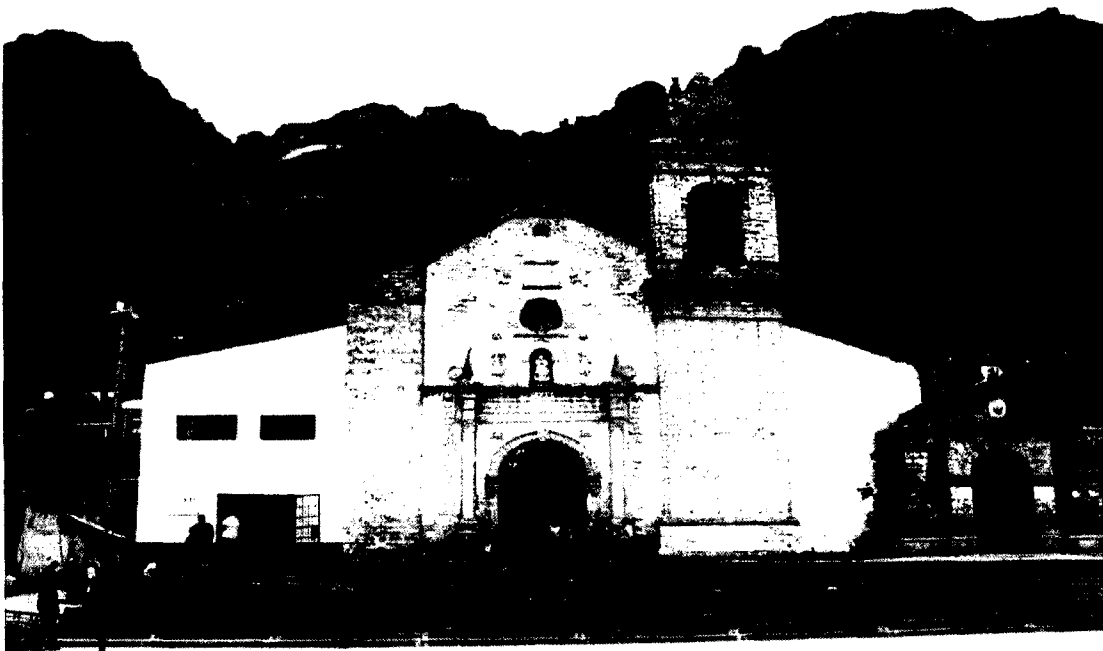


FOTOGRAFÍA N°
28,
PAVIMENTO DE
ROCA CALIZA
STO DOMINGO
ESPAÑA

Como ya se ha mencionado en acápite anteriores, la caliza es utilizada en las industrias de la construcción y en la arquitectura cubre gran importancia la usan en grandes losas de piedra caliza de diferentes dimensiones para hacer piedra, escalones y baldosas.

Una capa de piedra caliza en tejas asfálticas impregnadas actúa como una cubierta resistente a la intemperie.

Desde que el hombre se hizo sedentario comenzó a utilizar la caliza y otras rocas calcáreas para construir sus casas, a medida que ha transcurrido el tiempo y hasta nuestros días ha sido utilizada para tal fin, siendo de gran importancia en este ramo de la construcción, tal como se muestra en la fotografía de la iglesia San Francisco en Huancavelica construida con adoquines de caliza.



FOTOGRAFÍA N° 29, IGLESIA DE SAN FRANCISCO HUANCAVELICA HECHA CON ADOQUINES DE CALIZA

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1.- RESULTADOS.

5.1.1. Para tomar un conocimiento adecuado de las condiciones del macizo rocoso de Llacchuas se ha recurrido al estudio detallado de la geomecánica, lo que permitirá tener una amplia visión de las rocas donde se ejecutará los trabajos de Ingeniería para diferentes usos.

5.1.2. Se ha realizado el levantamiento geológico y geomecánico de las rocas calcáreas del yacimiento de Llacchuas pertenecientes a la formación

Tarma que se presentan en horizontes estratificadas con potencias de 20 m, de rumbo preferencia N 61° W y buzamiento 29° NE.

5.1.3. Para el mapeo geomecánico, la estructura se dividió en dos tramos N° 1 y N°2 cada una de longitudes de 50 m. y se extrajo muestras de roca representativas, los cuales fueron sometidas a ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la FIMGC para su determinación de las propiedades físicas y mecánicas.

5.1.4. Los ensayos de las propiedades físicas de las rocas mostrados en el cuadro siguiente, dan una densidad alta y poca absorción de agua y una baja porosidad, valores índice que indican una roca compacta de buena calidad.

TABLA N° 33
RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS

MUESTRA N°	DENSIDAD gr/cm ³	ABSORCION %	POROSIDAD %	ROCA
1	2.57	0.81	1.24	Caliza
2	2.53	0.88	1.33	Caliza

5.1.5. Los ensayos de las propiedades mecánicas de las rocas calcáreas, cuyo resumen se muestra en el cuadro siguiente donde la resistencia

a la compresión uniaxial es alta como también la tracción por lo que es denominado roca muy resistente.

5.1.6. Los parámetros de cohesión y ángulo de fricción corresponden a una roca de alta resistencia.

TABLA N° 34
RESUMEN DE PROPIEDADES MECÀNICAS

MUESTRA	INDICE DE	RESIST.	RESIST. A	COHESION	ANGULO	ROCA
N°	CARGA PUNT.	COMPRESI- ON MP. UNIAXIAL	LA TRACCION		DE FRICCION	
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Grados (°)	
1	62.02	1,495.27	157.3	1.88	30	Caliza
2	42.03	1,012.09	106.27	1.73	28	Caliza

5.1.7. Se determinó las características geomecánicas del macizo rocoso constituido por las rocas calcáreas, obteniéndose valores de los parámetros geomecánicos establecidos por los sistemas geomecánicos de Deere (RQD), Bieniawski (RMR) y de Barton (Q), determinándose como una roca de calidad buena.

- 5.1.8. Los valores obtenidos según la clasificación geomecánica RMR y Q, demuestran la similitud entre ambos sistemas de clasificación, dándose así una mayor confiabilidad a los resultados obtenidos.
- 5.1.9. Con la caracterización del macizo rocoso constituye un sistema de información geomecánica estandarizada por el ISRM (Society International For Rock mechanic's), que analiza los parámetros cuantificados de la calidad del macizo rocoso.
- 5.1.10. Los resultados del análisis químico de las muestras de las rocas calcáreas el óxido de calcio llega hasta un porcentaje de 53.43 % y los otros elementos acompañantes se presentan en proporciones bajas, por lo que la caliza es de buena calidad para ser usado en la industria.
- 5.1.11. En la zona, la roca calcárea del yacimiento de Llacchuas, dado su acceso y sus propiedades físicas y mecánicas se puede como utilizar en: Como material cementante en construcciones, balasto para ferrocarriles, represas, gaviones, ripeado de carreteras, pavimento y revestimientos y directamente se utilizará como roca ornamental en pisos, enchapes internos y externos.
- 5.1.12. En la zona, la roca calcárea del yacimiento de Llacchuas, dado su acceso y cercanía a las capitales de provincias y al análisis químico se puede como utilizar en :

Fabricación; del acero, vidrio, papel, comida para animales, fertilizantes, desulfurados de gas de combustión neutralización de aguas servidas, producción de la cosa caustica, polvo para blanquear, cerámica, fabricación del cemento, la cal misma que a su vez se empleará en: tratamiento de agua potable y aguas residuales, tratamiento de tierras ácidas, tratamiento de terrenos estériles, tratamiento de rellenos sanitarios, curtiembre.

5.2. DISCUSIONES

- 5.2.1. Los resultados obtenidos en este proyecto, muestran que después de haberse realizado los ensayos mecánicos, físicos y químicos, efectivamente hay una concepción en la viabilidad del proyecto, con respecto a la aplicación como uso industrial y ornamental de las rocas calcáreas del Yacimiento de Llacchuas Ayacucho.
- 5.2.2. Por lo anterior se acepta la hipótesis de que existen fundamentos consistentes a través de la evaluación geomecánica, física y química, para la utilización industrial adecuada de la caliza con la aplicación de la mecánica de rocas en la cuantificación de sus propiedades físicas y mecánicas de las rocas calcáreas del yacimiento de Llacchuas Huanta.
- 5.2.3. Por otro lado se comprueba el comportamiento de las rocas calcáreas ante los posibles esfuerzos a aplicarse, el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial es significativo en virtud de que éstos determinan el uso ornamental que se le da a esta materia prima. En base a la literatura revisada Ingeniería Geológica de Gonzales Vallejo, menciona que los valores medio entre 600 - a 1400 Kg/cm² de una resistencia de la matriz rocosa sana, y que en ensayos de laboratorio dan un resultado superior a éste, siendo un valor positivo para la aplicabilidad ornamental.

5.2.4. Existen muchas clasificaciones geomecánicas, sin embargo al presente estudio los valores obtenidos para la determinación de la calidad de la roca según la clasificación geomecánica han sido la RMR y Q, demuestran la similitud entre ambos sistemas de clasificación, dándose así una mayor confiabilidad a los resultados obtenidos, esta información es básica puesto que estamos aceptando que la roca calcárea del yacimiento en estudio, es de buena calidad.

5.2.5. Con respecto a las Propiedades Físicas las determinaciones se obtienen a partir de un mismo ensayo y entre ambas existe una relación inversa.

Para un mismo tipo de roca, cuanto mayor sea la densidad, menor es la porosidad y menor será el coeficiente de absorción de agua, por el contrario a menor densidad, mayor porosidad y mayor coeficiente de absorción de agua.

Una roca porosa absorberá más agua y sus minerales serán más susceptibles al ataque por la propia agua o por otros agentes químicos.

Para un mismo tipo de roca, aquélla que sea más porosa presentará valores más bajos de resistencia a esfuerzos mecánicos.

Del precedente se verifica que las propiedades físicas nos dan luz verde en la aplicabilidad de ingeniería así como su uso industrial y ornamental.

5.2.6. La roca calcárea es usada como componente principal o complementario en diferentes industrias, sin embargo de acuerdo a los resultados de los ensayos químicos del porcentaje de CaCO_3 y otros elementos, y en relación conjuntamente de su pureza podemos admitir que sólo es aplicable para ciertos grupos industriales, mencionados en acápite anteriores.

5.2.7. Debido a la distancia y a la zona Inaccesible no se podrá realizar la utilización en algunas industrias, sin embargo sabiendo que la localidad de Llacchuas es considerada en extrema pobreza, podrá instalarse una pequeña planta artesanal para la fabricación de cal, y como uso en la agricultura y ganadería.

CONCLUSIONES.

1. El yacimiento de rocas calcáreas se Llacchuas se encuentra dentro del Grupo Tarma de edad Pérmico Inferior y se presenta en estratos subhorizontales
2. El yacimiento de rocas calcáreas se Llacchuas se encuentra dentro del Grupo Tarma de edad Pérmico Inferior y se presenta en estratos subhorizontales.
3. El yacimiento de rocas calcáreas se Llacchuas se encuentra dentro del Grupo Tarma de edad Pérmico Inferior y se presenta en estratos subhorizontales.
4. El macizo rocoso según la evaluación geomecánica aplicando los sistemas de clasificación geomecánico resulta ser de buena calidad, lo cual permitirá diseñar taludes de alto ángulo cuando se explote por el método de canteras.
5. La roca calcárea químicamente es de alta calidad por su contenido de óxido de calcio (CaO) y podrá ser utilizado en la región tanto en el agro, tratamiento de aguas y como material de construcción, Su debilidad química es el principal problema que presentan, pues producen efervescencia con los ácidos que las atacan y disuelven.

6. La separación entre fracturas que en algunas partes es superior al metro permitirá poder extraer bloques para luego ser cortados en baldosas y ser usados como roca ornamental.
7. Su resistencia mecánica es bastante inferior a la de los granitos pero suficiente para su uso en construcción. Su valor depende directamente del grado de porosidad, los minerales y el tamaño de los cristales. La dureza es del orden de 3-4 en la escala de Mohs, siendo pues una roca bastante blanda y labrable.
8. Por medio de la clasificación de la pureza de las Calizas, según Industrial Mineral 2011, nos da la idea de analizar la relación directa con los tipos de aplicaciones industriales que fueron evaluadas en el yacimiento de Llacchuas, Sobre la base de los análisis químicos se determina que las purezas son de media a baja.

RECOMENDACIONES.

1. Las muestras arrojaron valores de resistencia a la compresión altos, y según las normas y la clasificación se recomiendan como potenciales rocas aptas para uso ornamental, piedra picada o balasto.
2. Las muestras arrojaron valores químicos altos, de CaO puesto que del 100 % de productos industriales derivados de la Caliza el 59 % se acomoda para su uso en diferentes industrias.
3. Para saber la resistencia a la abrasión, la roca calcárea debe ser sometida a ensayos de abrasión en la máquina los Angeles.
4. A fin de complementar los estudios geomecánicos y establecer el grado de fracturamiento debe complementarse con el sistema geomecánico de Índice de resistencia geológica (Geological Strength for Jointed rocks) (GSI).
5. Se debe hacer otros ensayos de las propiedades físicas de la roca calcárea como: permeabilidad y velocidad de onda.
6. Se debe hacer otro tipo de ensayos para determinar las propiedades tecnológicas de uso ornamental como son: Resistencia a la flexión, al choque, al desgaste a los cambios térmicos. Etc.

7. Con el fin de determinar el verdadero potencial del yacimiento de roca calcárea y la calidad se debe complementar mediante la Tomografía eléctrica y la Inducción Polarizada (IP) que actualmente no se tiene en la ciudad de Ayacucho tanto equipo y personal capacitado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Juan Carlos López Aviles, Fredy Cerrón Zevallos, Mario Carpio Ronquillo, María Morales Reyna. (1996). Boletín N° 72. Geología del Cuadrangulo de Huanta. Hoja 26ñ. Lima. INGEMMET, 41 -105 Pags.
2. Cordinaciòn General de Minerìa – Direcciòn General de Desarrollo Minero. (2012). Perfil del Mercado de Caliza. México 3 -08 Pags.
3. Luis I. Gonzales Vallejo (2002). Ingeniería Geológica. Universidad Complutense de Madrid. España. Pearson Hall. 117-230 Págs.
4. Br. Fuenmayor G. Oswaldo E. (2001) Caracterización geomecánica de las rocas de la cantera perteneciente a la corporación de cemento andino. Ubicada en el municipio candelaria, Estado Trujillo. Caracas. Universidad Central de Venezuela. 34-164 Págs.
5. PUCP.- Directivas de ensayos de laboratorio de mecánica de rocas. Lima 2012
6. Emilio Galán y Patricia Aparicio. Materias primas para la industria cerámica. Universidad de Sevilla 210

7. Ma. Azucena Rodríguez Sastre. (2003). Tesis Doctoral: Caracterización Geomecánica de Materiales Pizarrosos del Sinclinal de Truchas (León Orense), 241 -348 Pags.
8. Cirilo Joaquín Guerrero Hernández. (2001). Ensayo: Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña, México. 6 -14 Pags.
9. Ma. Ángeles García del Cura y Juan Carlos Cañaveras. (2004). Utilización de Rocas y minerales Industriales. España: Sociedad Española de Mineralogía. 221 -348 Pags.
10. Tomas Villanueva Rodríguez. (2007). Los Minerales Industriales. Castilla y León. Junta de Catilla y León – Dirección General de Energía y Minas. 8-9 Págs.
11. Alfaro Sironvalle M.A. (2007) Estimación de recursos mineros. Universidad Católica de Valparaíso. Chile.
12. Bieniawski z.t. (2007) Clasificación de la masa rocosa en la ingeniería.- Ciudad del Cabo. Sudáfrica.

13. Bustillo Revuelta M. y Lopez Jimeno C. (1996). Recursos minerales. (Tipología, prospección, evaluación, explotación, metalúrgia e impacto ambiental). Madrid
14. Goodman R.E. (2000) Introducción a la mecánica de rocas. 2da. Edición. Edit. John Wile Sons Inc. Nueva York.
15. Isabel M. Hidalgo y Johana R, Moreno. (2010) Caracterización Geológica y Geomecanica con fines ornamentales de las rocas aflorantes en la serranía el oso, ubicada en el municipio Cedeño, Caicara estado de Bolivar. Tesis Universidad de Oriente. 73 -77
16. Ma. García del cura. (2008). Estudio de los acabados superficiales en granitos y caliza para su aplicación en pavimentos exteriores de baldosas de piedra. Artículo científico España. Universidad de Alicante. 67-71 Págs.
17. Ruben López Doncel. (2002). Manual para la clasificación de Rocas Carbonatadas. San Luis de Potosí. Instituto de Geología. 6-7 Págs.
18. Carlos López Jimeno. (1996). Manual de Rocas ornamentales. Madrid. 2006
19. Marland P. Billings. (1954). Geología Estructural. Buenos Aires.

20. Alejandra Díaz Valdiviezo y José Ramírez Carrión. (2009). Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú. INGEMMET. Lima
21. Alejandra Díaz Valdiviezo, Alejandro Torres y Fabricio Ramírez. (2015), Las Calizas y sus aplicaciones Industriales en la Región Puno. Boletín N° 26-2015. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. INGEMMET. Lima
22. Longcliffe. Calcium carbonates. The Processing and Major Uses of Limestone. Disponible en :

<http://www.longcliffe.co.uk/pdf/The%20Processing%20and%20Major%20Uses%20of%20Limestone.pdf> de fecha 20 de julio 2016
23. Alejandra Díaz Valdiviezo. Matriz de usos y aplicaciones de Rocas y Minerales Industriales (RMI). INGEMMET. Lima, disponible en:

http://tramite.ingemmet.gob.pe/gesrocmin/RM_Reportes/RM_RepMatriz.aspx de fecha 15 de marzo 2016
24. José Mendoza Delgadillo (1974) Plano geológicos, cortes o perfiles estructurales y problemas de geología estructural. Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga 12 -35 Pags.

25. Imágenes obtenidas de pag. Web disponibles en:

- Fuente:https://www.google.com.pe/search?q=acero+diagrama&espv=2&biw=857&bih=904&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUK Ewjey4n_4aPPAhXQsh4KHQjqAZ8Q_AUIBigB#tbm=isch&q=proceso+de+fabricacion+del+acero&imgsrc=l455mrZhj0xiOM%3a de fecha 12 de junio 2016
- <http://fibradevidriouno.com/la-fibra-de-vidrio/> de fecha 12 de junio 2016
- <http://www.papeldepiedra.com.mx/> de fecha 12 de junio 2016
- <http://www.folapsa.mx/portfolio-view/alimento-engorda-bovinos/> de fecha 13 de junio 2016
- <https://www.fertisa.com/producto.php?id=58> de fecha 13 de junio 2016
- www.famesa.com.pe de fecha 13 de junio 2016
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Balasto>, de fecha 13 de junio 2016
- www.fundacionemalaikat.es/ de fecha 13 de junio 2016
- www.canterasleonesas.com/ de fecha 13 de junio 2016

Anexos

Anexo 01

Términos y Abreviaturas

TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

RMI. Recurso mineral industrial

INGEMMET. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

RMR índice de calidad RMR (Rock Mass Rating)

RQD. Rock Quality Designation, Designación de la calidad de roca

GEOMECÁNICA. (Procedente del prefijo griego geo- significando "tierra"; y "mecánica") implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas.

MASA ROCOSA. Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

DIPS. Es un programa diseñado para realizar análisis y visualizar información estructural de igual modo que si usáramos una red estereográfica.

ROCLAB. Es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, de acuerdo al criterio de rotura Generalizado de Hoek-Brown.

RUMBO ángulo que forma una línea horizontal trazada sobre el plano de discontinuidad con el norte magnético.

BUZAMIENTO es el ángulo que forma el plano a medir con respecto a un plano horizontal, y debe ir acompañado por el sentido en el que el plano buza o baja

ROCA CALCÁREA

Caliza o rocas calcáreas son aquellas constituidas mayoritariamente por carbonato de calcio.

CALIZA

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita (MgCO_3) y otros carbonatos.

CARBONATO DE CALCIO

Es un compuesto químico, de fórmula CaCO_3 . Es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas.

RESISTENCIA.

Capacidad de la roca para soportar tensiones (Compresión, tracción, cizalla, etc.)

COHESION

Es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman la roca.

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA,

ϕ , es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca, para la mayoría de las rocas éste ángulo varía entre 25° y 45° .

Anexo 02

**Datos Ingresados Software
DIPS 6.0**

ID	Dip	Dip Direction	ESPACIADO	PERSISTENCI	TERMINACIÓ	APERTURA	TIPO DE RELLEN
1	36	197	2	3	2	2	1
2	88	40	2	2	2	4	1
3	32	24	2	3	2	5	1
4	88	309	2	2	2	2	1
5	86	281	2	1	2	2	1
6	62	126	3	2	2	4	1
7	82	48	2	2	2	4	1
8	37	32	2	2	2	4	1
9	72	34	2	3	2	5	1
10	74	115	2	2	2	4	1
11	87	230	2	2	2	4	1
12	54	45	2	3	2	4	1
13	82	34	3	3	1	5	1
14	59	215	3	3	1	5	1
15	73	30	3	2	1	4	1
16	66	215	2	2	1	4	1
17	72	72	1	3	2	3	1
18	89	227	2	3	2	3	1
19	64	52	2	3	2	3	1
20	65	43	2	3	2	3	1
21	60	60	2	2	2	3	1
22	64	211	1	3	2	2	1
23	50	40	1	3	2	4	1
24	49	45	3	2	2	5	1
25	58	50	1	2	2	5	1
26	42	75	2	3	2	4	1
27	75	55	3	2	2	4	1
28	33	47	2	3	2	4	1
29	76	95	2	3	2	4	1
30	64	70	2	3	2	5	1
31	54	75	3	3	2	4	1
32	61	85	2	3	2	5	1
33	85	48	2	2	2	5	1
34	74	313	2	2	2	4	1
35	61	65	2	2	2	4	1
36	70	60	1	2	2	4	1
37	71	70	2	1	2	3	1
38	66	83	2	1	2	4	1
39	71	80	1	2	2	3	1

Project		EVALUACION GEOMEKANICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA, YACIMIENTO LLACCHUAS.	
Analysis Description		MAPEO GEOMEKANICO	
Drawn By	Bach. Liz Magaly Tinco Campos	Company	UNSCH
Date	Julio 2016	File Name	ANEXO 01

ID	ESPESOR DE RELLEN	RUGOSIDA	ONDULACIO	METEORIZACIÓ	AGUA SUBTERRÁNE
1	1	4	2	1	1
2	1	4	2	1	1
3	1	4	2	1	1
4	1	4	2	1	1
5	1	4	2	1	1
6	1	4	2	1	1
7	1	4	2	1	1
8	1	4	2	1	1
9	1	4	2	1	1
10	1	4	2	1	1
11	1	4	2	1	1
12	1	4	2	1	1
13	1	4	2	1	1
14	1	4	2	1	1
15	1	4	2	1	1
16	1	4	2	1	1
17	1	4	2	1	1
18	1	4	2	1	1
19	1	4	2	1	1
20	1	4	2	1	1
21	1	4	2	1	1
22	1	4	2	1	1
23	1	4	2	1	1
24	1	4	2	1	1
25	1	4	2	1	1
26	1	4	2	1	1
27	1	4	2	1	1
28	1	4	2	1	1
29	1	4	2	1	1
30	1	4	2	1	1
31	1	4	2	1	1
32	1	4	2	1	1
33	1	4	2	1	1
34	1	4	2	1	1
35	1	4	2	1	1
36	1	4	2	1	1
37	1	4	2	1	1
38	1	4	2	1	1
39	1	4	2	1	1

Project		EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA, YACIMIENTO LLACCCHUAS.	
Analysis Description		MAPEO GEOMECANICO	
Drawn By	Bach. Liz Magaly Tinco Campos	Company	UNSCH
Date	Julio 2016	File Name	ANEXO 01

Dips Analysis Information

MAPEO GEOMECÁNICO YACIMIENTO CALIZA

Project Summary

Name: Dips Llacchuas.dip
 saved with Dips version: 5 or earlier
 Project Title: MAPEO GEOMECÁNICO YACIMIENTO CALIZA
 Analysis: Default Title Line 2

General Settings:

Format: Dip / Dip Direction
 Magnetic Declination (E pos): 0°
 Multiple Data Flag (Quantity): ON
 Number of Data Columns: 10
 Rows: 39
 Columns: 39

Statistics:

No reverse information available.

Global Mean

	Trend	Plunge
Unweighted	238.59	41.44
Weighted	238.59	41.44


Global Best Fit

Unweighted		
Trend	Plunge	Eigenvalue
238.40	22.22	0.711053
339.43	25.09	0.169191
112.14	55.38	0.119755

dclock S1 / S3 = 4.203

dclock K = 4.154

dclock C = 1.436

	Project: EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA, YACIMIENTO LLACCCHUAS.	
	Analysis Description: MAPEO GEOMECANICO	
	Drawn By: Bach. Liz Magaly Tinco Campos	Company: UNSCH
	Date: Julio 2016	File Name: ANEXO 02

Weighted		
Trend	Plunge	Eigenvalue
238.40	22.22	0.711053
339.43	25.09	0.169191
112.14	55.38	0.119755

dcock S1 / S3 = 4.203

dcock K = 4.154

dcock C = 1.436

ersections:

Intersection Type	Number
Grid Data Planes	741
User and Mean Set (Unweighted) Planes	0
User and Mean Set (Weighted) Planes	0
User Plane Intersections	0
Mean Set (Unweighted) Planes	0
Mean Set (Weighted) Planes	0

ematic Analysis:

Design Dip: 70

Design Dip Direction: 180

Design Intersection Angle: 30°

Design Critical Limit Angle: 20°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	1	2.56%	39

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	4	10.26%	39

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)

Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	107	14.44%	26	3.51%	741
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	No results				
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	No results				
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results				

	Project: EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA, YACIMIENTO LLACCCHUAS.		
	Analysis Description: MAPEO GEOMECANICO		
	Drawn By: Bach. Liz Magaly Tinco Campos	Company: UNSCH	
	Date: Julio 2016	File Name: ANEXO 02	

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	39

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	1	2.56%	39

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)

Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	113	15.25%	82	11.07%	741
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	No results				
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	No results				
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results				

	<i>Project</i> EVALUACION GEOMECANICA Y QUIMICA DE LA ROCA CALCAREA, YACIMIENTO LLACCCHUAS.		
	<i>Analysis Description</i> MAPEO GEOMECANICO		
	<i>Drawn By</i> Bach. Liz Magaly Tinco Campos	<i>Company</i> UNSCH	
	<i>Date</i> Julio 2016	<i>File Name</i> ANEXO 02	

Anexo 03

Planos

Anexo 04

Fotos



Fotografía N° 29 Vista de cerca macizo rocoso de caliza in-situ



Fotografía N° 30 Vista de cerca macizo rocoso de caliza in-situ



Fotografía Nº 31 Vista macizo rocoso de caliza in-situ



Fotografía N° 32 Afloramiento de caliza