

Obtención de cal viva utilizando como combustible aceites usados para la calcinación óptima de los residuos de la explotación del travertino

Obtaining lime by using as fuel oil oils used for the optimum calcination of the residues of the travertine exploitation

¹Orellana Mendoza, E.E.; ²Ayre Balbín, V.

Facultad de Ingeniería de Minas Universidad Nacional del Centro del Perú

Email: eorellana@uncp.edu.pe

Resumen

El travertino es un mineral que se encuentra en forma natural. Su composición química varía entre los yacimientos de diferentes regiones e incluso en una misma región y debe estar entre 90 a 95 % de carbonato de calcio. Todo travertino contiene una mezcla de minerales, como CaCO₃, MgCO₃, hierro, sílice, alúmina y rastros de otros componentes. Sólo el carbonato de calcio y el carbonato de magnesio son de interés.

La temperatura teórica requerida para calcinación del travertino es 900 °C; sin embargo, en la práctica encontramos alrededor de los 1100 °C.

El empleo de aceites usados en la calcinación de los residuos de la explotación del travertino, influye en la obtención de cal viva en Minera Centro, al proporcionar una temperatura uniforme, donde se libera CO₂ del travertino y se alcanza un rendimiento de 47,65 %, obteniéndose el producto uniforme y no encontrándose material sin calcinar.

La eficiencia de combustión fue del orden de 62,81 %, constituye un avance significativo. Se debe graduar adecuadamente el quemador y proporcionar un caudal uniforme de aceite usado que, al combinarse con el oxígeno del aire, favorece la combustión uniforme del travertino almacenado en el horno, lo que repercute en la obtención de cal viva.

Esta investigación es aplicada, porque busca la generación de conocimientos con aplicación directa a los problemas productivos en la industria de fabricación de cal viva.

Palabras Clave: escallas de travertino, cal viva, aceite usado, eficiencia de combustión, horno de calcinación

Abstract

Travertine is a mineral found naturally in nature. Its chemical composition varies among deposits from different regions and should be between 90 and 95 % of calcium carbonate. Any travertine contains a mineral mixture, such as CaCO₃, MgCO₃, iron, silica, alumina and traces of other components. Only calcium carbonate and magnesium carbonate are of interest.

The required theoretical temperature for travertine calcination is 900 °C, however, in practice it is around 1100 °C.

The use of worn oils in the calcination of residues of travertine exploitation influences obtaining quicklime in Minera Centro, by providing a uniform temperature, where CO₂ is released from the travertine and reaches a performance of 47,65 %, obtaining uniform product and no un-calcinated material.

The combustion efficiency was in the order of 62.81 % which constitutes a meaningful advance. The burner needs to be correctly graduated and feed an adequate oil flow, which favours uniform combustion of travertine stored in the oven, which affects the obtaining of quicklime.

The research type is applied, because it searches generating knowledge with direct application on production problems in the quicklime manufacturing industry.

Keywords: travertine ladders, quicklime, waste oil, combustion efficiency, calcination furnace

Introducción

Debido a que la cal debe llenar determinados requerimientos físicos y químicos, se requieren calizas de alta pureza y de un proceso de producción controlado que aseguren un producto de excelente calidad. El proceso de elaboración de cal viva, comprende todos los pasos que se realizan en la cantera, a partir de los cuales se obtiene el travertino, materia prima para la obtención de este producto; durante esta etapa, se pone especial atención en controlar la composición química, granulometría y humedad de la materia prima, que es la piedra caliza.

Luego viene la preparación de la piedra, consiste en las trituraciones y tamizajes primarios de las partículas de travertino, mediante dicho proceso, se logra dar a las piedras el diámetro requerido para el horno de calcinación.

Finalmente, el paso siguiente es la calcinación, que consiste en la aplicación de calor para la descomposición (reacción térmica) de la caliza. En esta parte del proceso, se pierde cerca de la mitad de peso, por la descarbonatación o pérdida del dióxido de carbono de la caliza original. La calcinación es un proceso que requiere mucha energía para que la descarbonatación pueda ocurrir y, es en este paso, cuando el travertino (CaCO_3) se "convierte" en cal viva (CaO). Finalmente, es el envasado del producto, el mismo que se realiza por medio de una máquina especial de envasado y paletizado.

En la producción suele utilizarse entre 1,5 TM a 2,1 TM de travertino para obtener aproximadamente una TM de cal viva. El consumo depende del tipo de producto, de la pureza del travertino, del grado de calcinación y de la cantidad de los productos residuales en las escallas de travertino.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó en la empresa Minera Centro S.A.C. (MCSAC), Unidad de Quichuay, que es productora de blocks de travertino y cal viva, está ubicado el distrito de Quichuay, provincia de Huancayo, departamento de Junín.

El travertino explotado en sus canteras, que tienen menos de 1 m³ de volumen, no es comercial económicamente, así como los derivados de la explotación de la cantera, por lo que, en vez de llevar estos productos a las canchas, se emplea este material para la fabricación de la cal viva.

Para poder determinar la cantidad de CaO , se efectuó un análisis químico de la composición del travertino, así como del producto obtenido; del mismo, modo se determinó las características fisicoquímicas del aceite usado, empleado en los motores y partes importantes

de los vehículos, que por su contenido tienen un alto poder calorífico que es adecuado para ser usado como combustible en los hornos verticales, donde se calcina el travertino que tiene un tamaño promedio de 1½ 2" de tamaño.

El travertino empleado para la obtención de óxido de calcio se obtuvo de una de las cuatro canteras actualmente en explotación, ubicada aproximadamente a 2,6 km de la planta tratamiento; para ello, se efectuó un muestreo por canales de las cuatro canteras, obteniéndose 25 muestras de cada cantera de un peso unitario equivalente a 3 kg/muestra, obteniéndose en total 100 muestras en MCSAC, los cuales se identificaron de la siguiente manera: C1-M1, donde: C1 = cantera 1, y M1 = muestra 1, así sucesivamente.

Se realizó el análisis estadístico respectivo, después del ensayo químico de concentración de carbonato de calcio (CaCO_3) expresado en porcentaje a las muestras obtenidas de las 4 canteras, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Determinación del porcentaje CaCO_3 del travertino de las muestras de las cuatro canteras de MCSAC

Muestra N°	Cantera (% del CaCO_3)			
	1	2	3	4
1	96,52	80,01	70,14	73,16
2	95,57	80,15	74,75	72,05
3	95,61	80,99	80,62	70,38
4	95,02	75,22	70,33	71,26
5	96,13	75	81,85	73,31
6	96,98	76,22	72,36	63,88
7	97	80,13	70,71	64,12
8	96,23	75,14	80,19	75,01
9	96	80,01	75,08	74,55
10	95,01	75	70,91	63,01
11	94,98	80,79	80,5	74,16
12	94,63	74,66	74,82	75,13
13	95,09	70,18	72,99	70,85
Prom. Aritm	95,752	77,192	74,973	70,836
Desv. Están	0,761	3,221	4,232	4,195
Rango	2,37	10,81	11,74	12,12
Varianza	0,578	10,374	17,913	17,6

De la Tabla 1, se selecciona la cantera N° 1 por su alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) presente en las escallas de travertino, tiene asimismo, un material homogéneo que es la adecuada para ser empleada como materia prima para la obtención del óxido de calcio (CaO) a partir de la calcinación del travertino. Descar-

tándose la materia de las otras tres canteras por presentar su bajo contenido de carbonato de calcio.

Así mismo, se efectuó un muestreo de la calidad del aceite usado antes de entrar al quemador; los análisis químicos respectivos, se efectuaron en el laboratorio de química de la Universidad Continental de Huancayo, cuyos resultados se han registrado en la Tabla 2.

Tabla 2
Análisis químico de los aceites usados por MCSAC para la calcinación del travertino

Elemento	Muestras				Prom.
	1	2	3	4	
Viscosidad (Centistokes)	24,9	26,14	27,41	25,47	25,98
Sedimento (%)	1,42	1,86	1,93	1,64	1,71
Cenizas (%)	0,89	0,98	0,94	0,87	0,92
Densidad (kg/l)	0,923	987	0,975	0,971	247,47
Humedad (%)	2,43	2,59	26,4	2,21	8,41
Azufre (ppm)	0,86	0,89	0,92	0,82	0,87
Aluminio (ppm)	139,11	144,23	148,52	142,87	143,68
Hierro (ppm)	52,21	54,85	55,27	53,29	53,91
Sodio (ppm)	20,43	24,6	23,64	22,21	22,72
Zinc (ppm)	897,64	916,28	907,21	901,11	905,56
Cobre (ppm)	8,41	7,62	8,29	7,95	8,07
Fosforo (ppm)	9,87	10,89	11,87	10,28	10,73
Cloro (ppm)	23,59	24,01	26,59	25,16	24,84
Calcio (ppm)	247,61	249,57	256,28	252,37	251,46

Dentro de equipos utilizados tenemos: mufla, balanza analítica, trituradora de mandíbula de laboratorio, espectro fotómetro de rayos x y, otros instrumentos de laboratorio.

De acuerdo al análisis químico efectuado, las escallas de travertino tienen como promedio un 81,26 % de CaCO₃, y se obtiene una cal viva de 95,34 % de CaO. El tamaño promedio del CaO es de 35,18 % tiene un tamaño promedio de 250 micras.

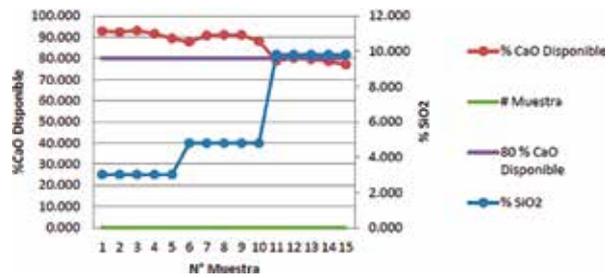
El poder calorífico promedio del aceite muestreado es de 9563 Kcal/kg, conteniendo fundamentalmente 1720 ppm de calcio, 742 ppm de azufre y 118 ppm de hierro, entre otros componentes (1).

Resultados

Comportamiento del óxido de calcio después de calcinada

Para saber el comportamiento del óxido de calcio después de calentarla a diferentes periodos de tiempo y con diferentes porcentajes de SiO₂ se obtuvieron los datos de la Tabla 3 y la Figura 1.

Figura 1
Relación que existe entre el porcentaje de SiO₂ y CaO disponible



En la Tabla 3, se muestra los valores encontrados cuando el travertino (CaCO₃) entra al horno de calcinación mufla a una temperatura promedio de 900 °C con variación de tiempos, en donde en el CaO se encuentran los óxidos de calcio disponible los quemados y las pérdidas por calcinación según el procedimiento recomendado para estos casos por ASTM.

Tabla 3
Variación de la temperatura de calcinación del travertino en horno mufla a 900 °C

N° Muestra	Tiempo (min)	Relación CaO/CaCO ₃	% CaCO ₃	% MgCO ₃	% SiO ₂	% Impurezas	% CaSO ₄ 2H ₂ O
1	30	0,576	94,690	1,360	3,010	0,773	0,177
2	60	0,575	94,680	1,360	3,010	0,759	0,191
3	90	0,573	94,680	1,360	3,010	0,759	0,191
4	180	0,573	94,680	1,360	3,010	0,766	0,184
5	240	0,592	94,680	1,360	3,010	0,769	0,181
6	30	0,576	92,83	1,590	4,780	0,651	0,149
7	60	0,571	92,83	1,590	4,780	0,651	0,133
8	90	0,569	92,83	1,590	4,780	0,651	0,131
9	180	0,567	92,83	1,590	4,780	0,651	0,134
10	240	0,587	92,83	1,590	4,780	0,651	0,120
11	30	0,603	87,200	2,250	9,800	0,540	0,210
12	60	0,596	87,200	2,250	9,800	0,520	0,230
13	90	0,595	87,200	2,250	9,800	0,500	0,250
14	180	0,595	87,200	2,250	9,800	0,516	0,234
15	240	0,604	87,200	2,250	9,800	0,526	0,224

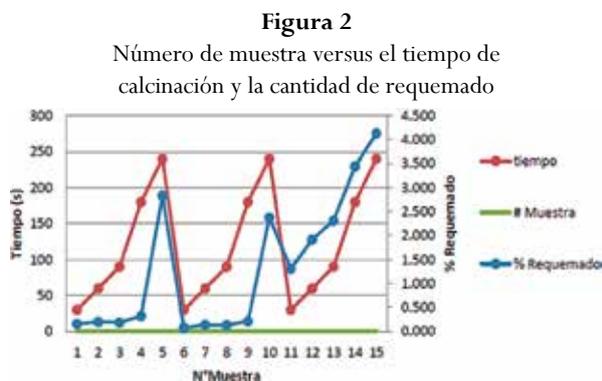
El primer grupo, de la primera muestra, se tiene que para 3,010 de SiO₂, el ingreso de calcinación demuestra que a los 30 minutos de calcinación da 92,79 % de óxido de calcio, y este se incrementa hasta un valor de 92,99 % a un tiempo de 90 minutos, luego comienza a decrecer hasta alcanzar un valor de 89,31 %.

En el segundo grupo, de la muestra 6, para el 4,78 % de SiO₂ al ingreso de la calcinación da, a los 30 minutos, 87,64 % luego sube hasta 91,01 % a los 90 minutos, comenzando a descender hasta alcanzar un valor de 88,13 a los 240 minutos de calcinación.

El tercer grupo de la muestra 3, para 9,80 % de SiO₂ al ingreso de la calcinación, demuestra a los 30 minutos de calcinación 78,78 % de óxido de calcio disponible y llega hasta un máximo de 80,5 % a los 60 minutos, descendiendo posteriormente hasta alcanzar un valor de 77,01 a los 240 minutos de calcinación.

Esto sucede debido a que el travertino (CaCO₃), ya recibió el poder calorífico necesario para descomponerse en óxido de calcio (cal viva) alcanzando valores máximos de 92,99; 91,01 y 80,05 % de óxido de calcio disponible respectivamente para las muestras 1, 2 y 3, después, el poder calorífico suministrado es en exceso, empezando a aparecer el requemado, que viene a ser el óxido de calcio disponible que recibe exceso de poder calorífico que es la causa de la reducción del óxido disponible.

Así mismo, se calculó el porcentaje de requemado en el tiempo de calcinación del travertino a diferentes periodos (Figura 2).

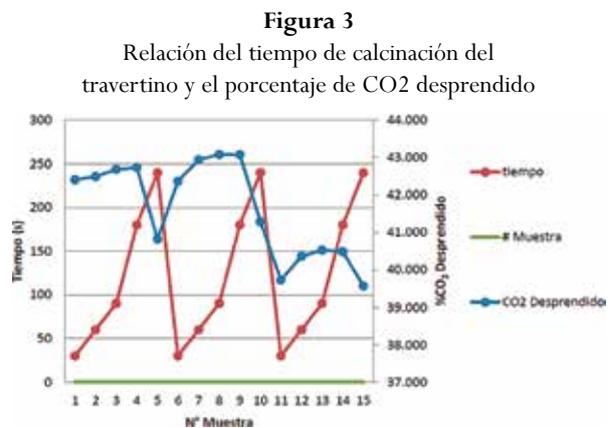


En el grupo de las muestras 1 y 2, el porcentaje de requemado para los tiempos de 30, 60, 120 y 180 minutos, el porcentaje de requemado no es muy significativo, para un tiempo de 240 minutos el requemado se incrementa notoriamente hasta alcanzar un valor de 2,833 %; para la muestra 2, el requemado es de 2,37 %, mientras que para la muestra 3, el requemado llega a alcanzar un valor de 4,129 %.

A medida que el tiempo transcurra, el porcentaje de quemado se incrementa. Este es mucho mayor en la muestra 3, que contiene mayor porcentaje de SiO₂, esto se debe al mayor poder calorífico no absorbido por esta muestra.

De igual manera, se efectuaron los ensayos en laboratorio, tomando en cuenta el número de las

muestras con relación al tiempo de calcinación y el CO₂ desprendido, cuyos resultados se muestran en la Figura 3.



El comportamiento de perder inicialmente masa de CO₂ y luego vuelve a recuperarlo, se debe a que el óxido de calcio ya calcinado empieza a re-carbonatarse.

El travertino destinado a la obtención de óxido de calcio debe tener una pureza del 95 % de CaCO₃, valores menores a ella, disminuye la calidad del CaO, influye también en su calidad un contenido de impurezas máximo del 5 % de SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃.

La temperatura óptima requerida para la descomposición del travertino en óxido de calcio en el horno vertical es de 895 °C.

En el grupo de las muestras 1, 2 y 3, el porcentaje de CO₂ desprendido siguen curvas similares, del cual se puede desprender que a medida que se incrementa el tiempo el CO₂ desprendido aumenta hasta alcanzar valores máximos, luego después empieza a descender.

En la muestra 3, el porcentaje de CO₂ desprendido es menor en relación a la muestra 1 y 2, esto se debe a que la muestra tiene un mayor porcentaje de SiO₂ y menor porcentaje de CaCO₃, pero sigue la misma tendencia que las otras dos muestras, que empiezan con un mínimo de porcentaje de CO₂ desprendido llega hasta un máximo y luego descende.

Discusión

El tamaño de las partículas de travertino (carbonato de calcio) que ingresa al horno para su calcinación, debe ser un tamaño de 3,8 a 5 cm.

Si se introducen tamaños diferentes de travertino al horno vertical de calcinación, se produjo que en las partículas grandes es difícil el calcinado, mientras que en las partículas pequeñas se presentó un exceso de calcinación, originando la formación en sus contor-

nos de las partículas películas que impiden que reaccionan muy lentamente con el agua para pasar a hidróxido de calcio.

Temperaturas mayores a los 895 °C, hacen que las partículas de travertino reciban una mayor cantidad de energía calorífica (Kcal) de la requerida durante el proceso de calcinación, originando el requemado de dichas partículas.

El óxido de calcio requemado, que se encuentra en la superficie de la partícula, es aquel que se ha combinado por exceso de calor durante la calcinación, con la sílice, la alúmina o el hierro, formando una escoria con dichas impurezas contenido en el travertino, dando lugar a que el núcleo de este quede crudo, sin calcinar. Generalmente se produjo en la parte exterior de las partículas grandes y pequeñas, superior o inferior a tamaños de 3,8 a 5 cm.

El grado de calcinación depende de factores, entre otros, tamaño granulométrico de la materia prima o heterogeneidad física, cantidad de calor absorbido por cada partícula para lograr la disociación, las impurezas que se enlazan al calcio; por tanto, la reacción química para lograr la disociación debe tener presente que las partículas deben ser geométricamente homogéneas, mono tamaño o mono granulares.

La disociación de los pedazos de travertino en el horno de calcinación comienza en la superficie y lentamente se difunde hacia el interior cuando los tamaños de las partículas están comprendidos entre 3,8 a 5 cm; por tanto, a temperaturas superiores a 895 °C aumentará la temperatura de la superficie de las partículas calcinadas, lo que acelera la carbonización y por consiguiente una disminución de la calidad del óxido de calcio obtenido.

Conclusiones

- Este estudio es importante, porque ayuda a mejorar el aspecto del medio ambiente de la zona de estudio, el residuo de la explotación industrial del travertino (escallas de travertino) es utilizado para la obtención industrial de la cal viva.
- Los resultados obtenidos servirán para ser replicados en otras unidades mineras no metálicas, que explotan industrialmente el travertino, dando un valor agregado a este tipo de material, y favorecerá la disminución de la importación del óxido de calcio para las diversas industrias peruanas.
- Así mismo, permite la reutilización de los aceites usados de: motores, cajas de cambio, transformadores y otros. que por su alto contenido calorífico supera a otras fuentes de energía conocidas para la calcinación industrial del travertino, puesto que favorece la obtención del óxido de calcio de alta pureza.

Referencias bibliográficas

- Ávila R. (2013). *Estadística elemental*. Ed.4ª. Editorial Estudios y ediciones RA. Lima, Perú.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Ed. 3ª. Editorial Pearson. Bogotá, Colombia.
- Caballero A. (2014). *Metodología integral innovadora para planes de tesis*. México: Cengage Learning Editores.
- Calderón C. (2012). *Estudio de pre factibilidad económica para la utilización del carbón mineral en la fabricación de cal viva*. [Tesis de grado]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
- Carrasco S. (2016). *Metodología de la investigación científica*. 3a ed. San Marcos, Lima Perú.
- Coloma G. (2016). *La cal es un reactivo químico*. Chile: Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.
- De La Garza, J. et al. (2013). *Análisis estadístico multivariante*. Primera edición. Ed. Mc Graw Hill. Mexico.
- Díaz A. et al. (2016) Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú, Boletín N° 19 Serie B, Geología Económica. INGEMMET. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos, Lima Perú.
- Fitatá M. et al. (2014) *Diseño de una planta de cal*. [Tesis de grado]. Bogotá: Universidad de América, Facultad de Ingeniería Química.
- Gálvez H. (2013). *Evaluación del comportamiento de la piedra caliza con diferente contenido de carbonato de magnesio (MgCO₃) a través del proceso de calcinación a 850 °C y 640 mm Hg en la obtención de cal viva mediante la determinación de la densidad aparente (ASTM 188-95)*. [Tesis de grado]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
- García D. (2015). *Metodología del trabajo de investigación*. 5ta ed. Trillas México.
- Gómez, V. (2016). *Estadística*. Ed. 1ª. Editorial Megabyte S.A.C. Lima, Perú.
- González L. (2014). *Optimización del proceso de combustión para el tratamiento de la caliza en la obtención de cal y derivados de la corporación los nevados*. [Tesis de grado]. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química.
- Hernández, R. et al. (2013). *Metodología de la investigación*. Ed. 1ª. Editorial Mc Graw Hill. México.

- Joaquín de Pascual T. (2016). *Rocas y minerales de Iberoamérica*. Edición 5ta, Editorial Reverte S.A, Barcelona, España.
- Kandora K. (2016). Factibilidad técnico económica de producción de cal hidráulica alta resistencia y alta rentabilidad.
- Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas.
- Martínez, C. (2012). *Estadística y muestreo*. 13ª Ed. Editorial Geminis Ltda. Colombia.
- Ministerio de Industria y Energía. (2015). *Fabricación de cal y derivados*. Madrid España: Epígrafe 3.1, Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente.
- Montaluiza, E. et al. (2008). *Diseño de un horno para la producción de cal viva y de cal hidratada de 120 toneladas de producción diaria*. [Tesis de grado]. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Ochaeta K. (2004). *Análisis de las curvas termogravimétricas (640 mm Hg) para el estudio de la calcinación de tres calizas con diferentes contenido de magnesio en función de la densidad utilizando el método ASTM C 188-95*. [Tesis de grado]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
- Ortiz, F. (2015). *Diccionario de la metodología de la investigación científica*. 3ª ed. Ed. Limusa S.A. México.
- Pino, R. (2018). *Metodología de la investigación*. Segunda edición. Ed. San Marcos. Lima, Perú.
- Samayoa M. (2005). *Análisis comparativo de calces hidratadas provenientes de los procesos de manufactura de calizas de alto calcio y de la producción del acetileno mediante el análisis de termogravimetría (TGA)*. [Tesis de grado]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
- Scheaffer, R. (2006). *Elementos de muestreo*. Sexta edición. Ed. Thomson. Madrid, España.
- Secretaría Económica Chile. (2012). *Perfil del mercado de la caliza y sus derivados*. Coordinación General de Ingeniería. Dirección general de Desarrollo Minero.
- Sinaluisa M. (2013). *Estudio de factibilidad para la creación de una planta de producción de cal viva e hidratada en la Parroquia San Juan*. [Tesis de grado]. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Industrial.
- Tokeshi A. (2013). *Planifique, desarrolle y apruebe su tesis*. Lima: Fondo Editorial Universidad de Lima.
- Triola, M. (2012). *Estadística*. Ed. 11ª. Editorial Pearson. México.
- Urday D. (2013). *Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 TN/H*. [Tesis de grado]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería e Ingeniería.
- Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Ed. Segunda. Ed. San Marcos. Lima, Perú.
- Velázquez A. et al. (2013). *Metodología de la investigación científica*. Segunda reimpression. Setiembre 2013, Lima, Perú, Editorial San Marcos.