

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE MATERIAL DE ARRASTRE TRITURADO DE RÍO

### Design of a system of transports Material crawls crushed of river

#### RESUMEN

Actualmente, el sistema de transporte de material de arrastre triturado de río para la alimentación del clasificador granulométrico de la empresa Inversiones Zarate Gutiérrez, es una de las etapas que involucra un alto costo relativo a su función. En este documento se propone un equipo de transporte por banda para el manejo de materiales, observando el proceso de trituración como un todo y posteriormente se enfoca detalladamente el trabajo en la etapa de interés. En esta etapa, se estudian las variables mecánicas que caracterizan el sistema actual y con base en esto, se identifican y se efectúan mejoras a los problemas técnicos.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño, Sistema de transporte, Material de río, Trituración, Transporte por banda.

#### ABSTRACT

*At the moment, the system of transport to material crushed of river for the charger of the granulometric classifier of the company Investments Zarate Gutiérrez, is one of the stages that involves a high relative cost to his function. In this document it proposes a machine of transport for band for the treatment of materials, observing the trituration process like an all and later on it is focused the work detailedly in the stage of interest. In this stage, the mechanical variables are studied that characterize the current system and with base in this, they are identified and improvements are made to the technical problems..*

**KEYWORDS:** Design, System of transport, River Material, Trituration, Transport for band.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la planta de material de arrastre Inversiones Zarate y Gutiérrez, como en todas las empresas que procesan arena y grava, el manejo del material representa una cifra importante que se ve reflejado en los costos de producción; y como el valor de estos productos, por unidad de peso, es reducido, resulta indispensable que el manejo y transporte de los mismos se realice a un costo por tonelada bajo. Se afirma que del 60% al 80% del costo de un producto desde su extracción y obtención de la materia prima hasta tener el producto terminado corresponde al manejo de materiales, en consecuencia cualquier ahorro en este campo es una disminución real en los costos de producción [3, 10].

Una de las etapas que involucra mayor costo es la que vincula la etapa final de trituración primaria de material de arrastre proveniente del molino de mandíbulas, figura 1, hasta el principio de la etapa de separado por clasificación granulométrica en la planta trituradora empresa, Inversiones Zarate Gutiérrez propiedad de Inversiones Industrias y Construcciones Ltda. Que se encuentra ubicada en la vereda Las Delicias del municipio de Espinal-Tolima.



Figura 1. Ducto saliente del molino de mandíbulas

Para generar una propuesta de solución apropiada se procede a determinar las variables mecánicas que caracterizan el sistema de transporte, se evalúan diversas propuestas de solución y posteriormente se diseña la propuesta más adaptativa a las necesidades actuales de la empresa.

#### OSCAR ARAQUE DE LOS RIOS

Ingeniero Mecánico, M Sc Prof. del Depto de Ing. Mecánica  
Universidad de Ibagué (Colombia)  
[oscar.araque@unibague.edu.co](mailto:oscar.araque@unibague.edu.co)  
[ojaraque@yahoo.com.mx](mailto:ojaraque@yahoo.com.mx)

#### JUAN PABLO GOMEZ G

Estudiante Ultimo Semestre  
Ingeniería Mecánica  
Universidad de Ibagué (Colombia)  
[pablo\\_gomez\\_8@yahoo.com](mailto:pablo_gomez_8@yahoo.com)  
[pablo-gomez-8@hotmail.com](mailto:pablo-gomez-8@hotmail.com)

## 2. VARIABLES MECÁNICAS QUE CARACTERIZAN EL SISTEMA DE TRANSPORTE

En los procesos de arrastre de material triturado de río existen diversas variables que afectan la movilidad de este a lo largo de las etapas de trituración, actualmente existe una zaranda posterior a un molino de mandíbulas que tamiza el tamaño de las rocas involucradas en la etapa estudiada como se muestra en la figura 2, las variables representativas para el sistema son las siguientes.



Figura 2. Zaranda oscilante en trabajo

### 2.1 Flujo Volumétrico y Naturaleza de la Operación

La empresa, estima el flujo volumétrico mensual. La razón para que se tome un dato mensual de producción es porque en un día puede haber operaciones como: paradas totales por mantenimiento, transporte de material del río a la planta, limpieza de máquinas y despacho de material a los clientes, entre otras razones; que hace que el proceso de trituración se interrumpa. En la actualidad, el personal de la empresa labora 8 horas diarias incluyendo las operaciones anteriormente mencionadas. La zaranda tiene un flujo por hora<sup>1</sup> de 50,03 m<sup>3</sup>, como promedio.

Para tener en consideración, la planta demora 15 minutos para alcanzar el régimen permanente de trabajo, es decir, que cuando este apagada, se demora este tiempo en llegar a un trabajo de plena carga y de igual manera la planta al apagarse se demora este mismo tiempo para acabar totalmente sus actividades, es decir, tiene un régimen transitorio de 30 minutos y un régimen continuo de 7,5 horas aproximadamente. La empresa quiere aumentar el flujo de material de arrastre en promedio mensual de total de 58 a 60m<sup>3</sup> por hora.

### 2.2 Coeficiente de Rozamiento

<sup>1</sup> Promedio del flujo en octubre de 2007 suministrado por el ingeniero de planta. Los datos de otros meses son similares a este.

Se desea medir el coeficiente entre el material de arrastre (piedra) y el polímero utilizado en la zaranda vibratoria (polímero de banda transportadora) [1]. Para medir el coeficiente de rozamiento estático, se dispuso de un plano inclinado, de manera que el polímero de banda transportadora quede en él y se gradúa la inclinación por medio de un transportador debidamente ajustado para las diversas configuraciones geométricas de roca mostradas en la Figura 3, se obtuvieron los coeficientes de rozamiento tabulados en la Tabla 1.

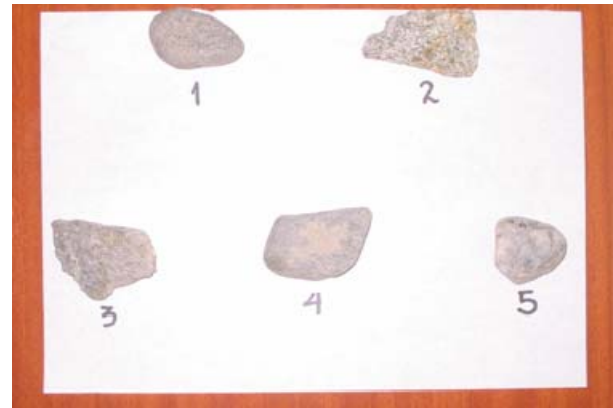


Figura 3. Muestra de las rocas utilizadas en la zaranda.

	Roca 1	Roca 2	Roca 3	Roca 4	Roca 5
Ángulo 1 (°)	37	46	36	39	33
Ángulo 2 (°)	36	40	32	34	32
Ángulo 3 (°)	35	40	34	32	30
Ángulo 4 (°)	35	44	35	38	30
Ángulo 5 (°)	34	35	38	44	30
Promedio	35,4	41	35	37,4	31
μs	0,71	0,87	0,70	0,76	0,60

Tabla 1. Coeficientes de Rozamiento

### 2.3 Angulo de Inclinación

En la zaranda se tiene una inclinación de 13,36° medido desde la horizontal. La cual representa inconvenientes debido a las instalaciones existentes.

### 2.4 Capacidad del Transportador

La capacidad que puede dar este transportador en plena carga de acuerdo con sus dimensiones es de 498 x 160 x 18 cm = 1,434 m<sup>3</sup> que equivale aproximadamente a 2,868 toneladas.

### 2.5. Material a Transportar

En la zaranda vibratoria el material de arrastre entra con el mismo tamaño del que se extrae, con la excepción de

la roca grande que ingresa con un tamaño promedio de 8 pulgadas de forma alargada debido a la acción del molino de mandíbulas, de igual manera, el tamaño máximo que ingresa a la zaranda es de aproximadamente 11 pulgadas. La cantidad total de estas rocas en este transportador es alrededor de un 60% del volumen total ingresado las características de estas rocas extraídas de río se muestran en la Tabla 2.

	PESO (gr.)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO ESP. (gr/cm <sup>3</sup> )
ROCA 1	50	20	2,5
ROCA 2	45	15	3
ROCA 3	35	14	2,5
ROCA 4	60	28	2,1
ROCA 5	35	13	2,7
PROMEDIO	45	18	2,5

Tabla 2. Características del material a transportar.

**2.6 Reposo y Fluidéz.**

Este material se caracteriza porque puede moverse libremente por acción de la gravedad u otra causa, se mide el ángulo de reposo, y en este caso fue calculado como  $\alpha = 32,4^\circ$ . Y el ángulo de sobrecarga,  $\beta$  que es aquel que se forma en el perfil transversal de las bandas cargadas con tres rodillos en forma de artesa para este material es aproximadamente  $\beta = 20^\circ$  [19].

**3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

Para la selección de alternativas, se utilizarán los criterios tratados en la Tabla 3. Se trabaja con un valor  $P_i$  de exigencia y  $X_i$  de satisfacción del criterio, valorándose de la manera siguiente [3,9]:

CRITERIOS	ALTERNATIVAS	TIPOS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE											
		Cangilones			Banda			Ducto			Banda transp.		
		Pi	Xi	PiXi	Pi	Xi	PiXi	Pi	Xi	PiXi	Pi	Xi	PiXi
1. Bajos costos operativos		3	3	9	3	4	12	3	4	12	3	3	9
2. Bajos costos de Mantenimiento		3	2	6	3	3	9	3	3	9	3	3	9
3. Disminución de problemas técnicos		3	3	9	3	3	9	3	2	6	3	3	9
4. Bajo o nulo consumo de energía		2	3	6	2	4	8	2	4	8	2	3	6
5. Bajos costos de inversión inicial		3	3	9	3	3	9	3	3	9	3	3	9
6. Peso		1	4	4	1	4	4	1	4	4	1	3	3
7. Fabricación y materiales asequibles		1	2	2	1	3	3	1	4	4	1	3	3
8. Adecuada capacidad y producción		3	3	9	3	2	6	3	2	6	3	4	12
9. Facilidad de montaje		2	2	4	2	4	8	2	4	8	2	3	6
10. Facilidad de mantenimiento		2	2	4	2	3	6	2	2	4	2	3	6
11. Sencilla operación de la máquina		1	3	3	1	4	4	1	4	4	1	4	4
12. Seguridad del equipo		3	2	6	3	3	9	3	3	9	3	4	12
13. Confiabilidad		3	2	6	3	2	6	3	1	3	3	4	12
RESULTADO: SUMATORIA PiXi				77			93			86			100

Tabla 3. Evaluación de alternativas para el proceso de transporte

De acuerdo a los criterios establecidos y evaluados se concluye que la mejor alternativa para satisfacer las necesidades de transporte de material de arrastre en la etapa comprendida entre la salida de la primera trituración del molino de mandíbulas hasta el principio de la etapa de separado por clasificación granulométrica es un sistema de banda transportadora similar al mostrado en la figura 4.

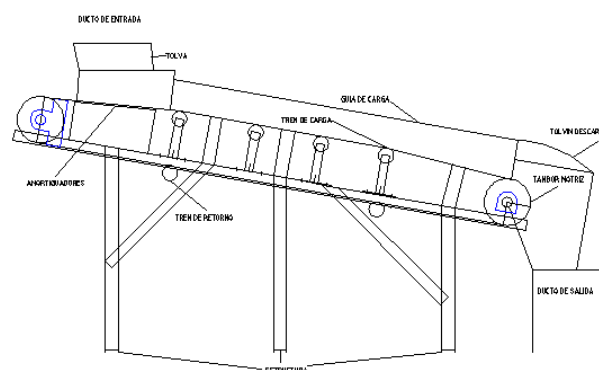


Figura 4. Sistema de banda transportadora

**4. DISEÑO DE LA PROPUESTA**

Para el diseño de la propuesta se tuvieron en cuenta los parámetros de los diversos elementos constitutivos del sistema, en la Tabla 4 se muestra la rutina de diseño adoptada.

ELEMENTO DE DISEÑO	RUTINA DE CALCULO
Características principales del material a transportar	Peso específico a granel Tamaño Forma Fluidéz
Ancho y velocidad lineal de la banda	Medición de campo, bajo las actuales condiciones de operación.
Tensiones en la banda y potencia requerida	Medición de torque actuante Velocidad de rotación de la fuente de potencia Ecuación de firbank [25, 26]
Selección de la banda	Clasificación de las bandas Características mecánicas de las bandas
Tambores	Revestimiento de tambores Diseño del eje del tambor Selección de los rodamientos
Selección del grupo motriz	Motorreductor Acople de piñones y cadena doble
Rodillos	Componentes Selección de rodamientos Distancia entre ternas de rodillos
Tensores	Ajustar a la propuesta

Tolva de alimentación y zocalo de carga	Sujeción de la tolva de alimentación. Fuerzas que actúan.
Estructura general	Análisis de soldadura
Consideraciones de mantenimiento	Conforme a la propuesta adoptada y a las condiciones medioambientales de montaje del equipo

Tabla 4. Rutina de diseño adoptada para los elementos constitutivos del equipo

## 5. ENSAMBLE DEL DISEÑO PROPUESTO

El sistema que se propone utilizar, está constituido por una tolva sujeta por tornillos al ducto saliente del molino de mandíbulas de la Figura 1 y esta a su vez esta soldada a un zócalo de carga, que encauza el material triturado hacia el centro del transportador, como el mostrado en la Figura 5.

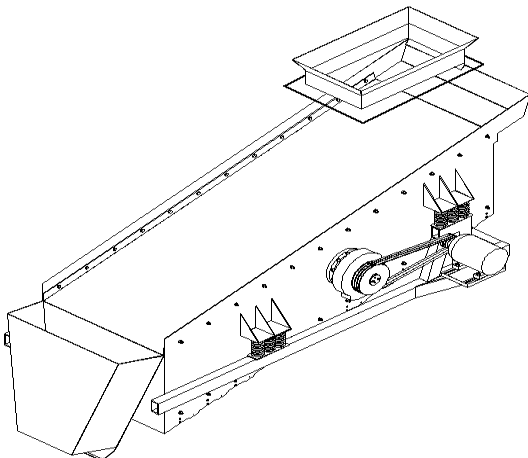


Figura 5. Bloque primario del sistema de banda transportadora

El material triturado cae hacia una banda de características mecánicas especiales cuyo material de poliéster y nylon es especial para el soporte de cargas [2,5]. En la zona de alimentación, la banda está soportada por una bandeja, la cual va soldada a unas canales en U que forman parte de la estructura. La bandeja se dispone con un segmento de banda, que sirve de amortiguamiento de caída de las rocas. La banda en la zona central del transportador está soportada por cuatro trenes de tres rodillos situados en forma de artesa [10]. En los extremos del transportador, la banda abraza dos tambores, uno de los cuales se hará girar mediante la potencia suministrada de un motorreductor, Figura 6.

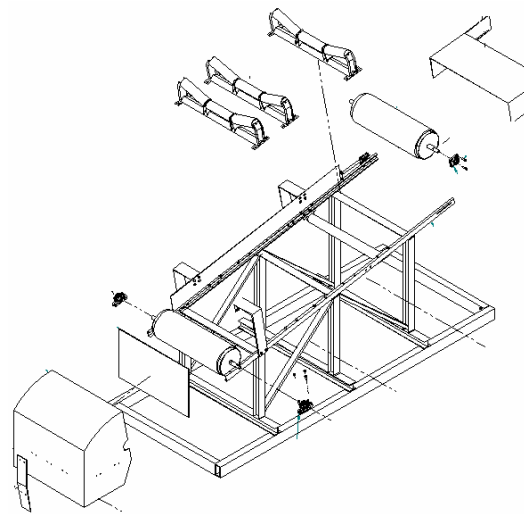


Figura 6. Estructura y tambores de soporte de banda transportadora

La potencia de alimentación es suficiente para mover la banda y llevar de manera efectiva el material del punto de salida del molino de mandíbulas a la tolva de alimentación del clasificador granulométrico. El eje del motorreductor, gira solidariamente al eje del tambor por medio de un acople en forma de doble piñón con cadena doble.

Este sistema está soportado por una estructura cuyas bases son unas 3 vigas en H dispuestas horizontalmente pero perpendicularmente a la mayor dimensión de la base de la estructura que actualmente está apoyado el transportador actual figura 7.



Figura 7. Estructura actual de soporte en la sección de la zaranda oscilante

Sobre estas, se soldán otras 6 vigas en H perpendiculares pero verticales a las primeras debidamente soldadas a placas de soporte, y a las canales en U, que soportan los trenes de tres rodillos situados en artesa, con pie de amigo con el fin de asegurar mejor la estructura.

En el punto inferior de la banda, se halla un tolván de descarga, el cual dirige el material que sale de la banda y la dirige efectivamente hacia el ducto de salida. El sistema de transporte terminado y conforme a las dimensiones de la etapa evaluada tendrá una apariencia similar a la ilustrada en la figura 8

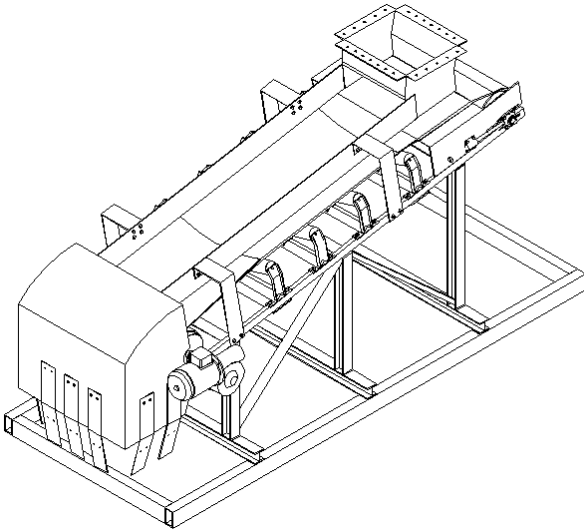


Figura 8. Sistema de transporte por banda, montaje completo

## 6. CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO

En la Tabla 5. Se muestra la propuesta de mantenimiento preventivo para la máquina diseñada

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las variables mecánicas que más repercuten en la obsolescencia del sistema de transporte actual son el flujo volumétrico, ángulo de inclinación del transportador debido a las instalaciones existentes, el método de impulsión del material y el consumo energético. El flujo volumétrico debido a que en el diseño original de la máquina actual se tiene como objetivo el transportar y clasificar el material y esto hace que la misma sea obsoleta, puesto que se necesita solamente para transportar el material a un ritmo cada vez mayor; el ángulo de inclinación del transportador debido a las instalaciones existentes porque produce frecuentes atascamientos de material disminuyendo la producción; el método de impulsión del material porque se utiliza una fracción de la potencia nominal del motor instalado (sobredimensionado) haciendo uso inadecuado de un número insuficiente de bandas de transmisión Figura 9; y el consumo energético puesto que se necesita para el transporte del material a corta distancia.



Figura 9. Sistema de transmisión actual en operación

- Los problemas técnicos más importantes que involucra el sistema de transporte actual son las demoras y periodos de inactividad producidos por el atascamiento de material los cuales representan en tiempo el 20% del mantenimiento y limpieza de todas las máquinas, la insuficiente densidad de producción de 50m<sup>3</sup>/h, la utilización de un 30% de la potencia nominal del motor, insuficiente transmisión de potencia, problemas de resonancia en los resortes, sobredimensionamiento del eje, alto consumo energético, lubricación excesiva por la naturaleza de los rodamientos y las agitaciones del sistema, problemas de seguridad para los empleados, polvo y ruido.
- De acuerdo con el estudio realizado, el costo anual operativo y de mantenimiento estimado de la máquina actual es de \$6'758.827=, mientras que este costo para la máquina propuesta es \$4'340.830=, siendo una buena opción para la empresa.
- El sistema de transporte actual es inapropiado para el proceso debido a los problemas técnicos, los costos operativos y de mantenimiento considerados anteriormente.
- De acuerdo con el estudio realizado, la propuesta de mejoramiento más acertada es cambiar el sistema de transporte actual, puesto que de esta manera la empresa puede ampliar su producción en un 24%, disminuyendo los costos operativos y de mantenimiento actuales en un 35,77%.
- Los mayores ingresos que se generan por la máquina propuesta surgen de una buena capacidad de transporte y de un mantenimiento preventivo bien ejecutado, que asegure la continuidad de la producción.
- Es interesante resaltar que aunque el presente documento, está dirigido a una etapa del proceso en

particular, la mejora de esta repercute en todo el proceso productivo.

PLAN DE INSPECCIÓN Y LIMPIEZA								
BANDA TRANSPORTADORA		Código:						
COMPONENTE	SUGERENCIA/TIEMPO (MIN)	Frecuencia						
		D	S	M	TM	SM	A	DA
Motorreductor	Revisar ruido (5)			X				
	Revisar exceso de temperatura (2)	X						
	Revisar vibraciones anormales (3)	X						
	Revisar el nivel de aceite (15)					X		
	Cambiar el aceite (25)						X	
Rodillos de carga	Revisar tornillos de montaje (5)			X				
	Verificar descarramientos (5)		X					
	Verificar rodamientos (8)			X				
Tambores	Verificar giro del rodillo (3)		X					
	Considerar cambio de rodillos (180)							X
Acople de piñones y cadena doble	Lubricación de rodamientos (15)		X					
	Revisar desajustes del eje (5)			X				
	Revisar el estado del eje (5)			X				
	Revisar recubrimiento de goma (5)		X					
	Limpieza material en la periferia (3)	X						
Estructura general	Revisar tensión en cadena (3)	X						
	Revisar desgaste piñones (5)			X				
	Revisar alineación de piñones (2)	X						
	Revisar desajustes de chavetas (3)		X					
Banda	Limpieza general (3)	X						
	Lubricación (5)		X					
Tolva de alimentación	Considerar cambio de acople (90)							X
	Revisión de uniones soldadas (10)			X				
	Limpieza corrosión, pulir y pintar (30)				X			
Guías de carga	Revisar alineación (3)	X						
	Revisar tensiones (5)		X					
Observaciones:	Revisar unión (5)			X				
	Limpieza general (5)	X						
	Considerar cambio de banda (120)							X
Tiempo diario: 24 minutos	Sujección de tornillos (5)		X					
	Considerar remplazo de tolvá (120)							X
Tiempo semanal: 51 minutos	Guías de carga		X					
	Considerar remplazo de guías (100)							X
Tiempo mensual: 48 minutos								
Tiempo trimestral: 30 minutos								
Tiempo semestral: 15 minutos								
Tiempo anual: 145 minutos								
Tiempo cada dos años: 490 minutos								

Tabla 5. Mantenimiento preventivo de la maquina diseñada

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ALUM M., Jorge y MORENO M., Beatriz. Experimentos de mecánica. La Habana 1989. Editorial Pueblo y Educación. 2ª edición, pág. 71
- [2] AVALLONE, Eugene. Manual del Ingeniero Mecánico. 3ª edición. México Mc-Graw Hill 1998, pág. 21-8 a 21-11.
- [3] BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos. México Mc-Graw Hill 2001, pág.176, 222.
- [4] BEER Y JOHNSTON, Mecánica de materiales. México: Mc-Graw Hill 2004 3ª edición., pág. 747.
- [5] Catálogo Goodyear. Bandas en V, pág. 19 y 20.
- [6] Catálogo virtual de rodamientos SKF, sección de lubricación por grasa

[7] Catálogo Siemens Motores trifásicos de inducción, pág. 5.

[8] CENTRO DE ESTUDIOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO URBANO Y REGIONAL. Diagnóstico del estado económico y tecnológico del subsector agregados pétreos, Universidad de los Andes, 1977, pág. 220

[9] CORZO, Miguel Angel; Introducción a la ingeniería de proyectos. Editorial Limusa 1986. México, pág. 43 a 47.

[10] DUBBEL, H. Manual del constructor de máquinas. Tomo II. Barcelona Editorial Labor, 1979, pág. 273 a 275.

[11] EVANS, Michael. Conveyor belt engineering for the coal and mineral mining industries. Colorado: publishing: Society for mining, metallurgy and exploration, 1993, pág. 39 a 41.

[12] FAIRES, Virgil M. Diseño de elementos de máquinas. México 4ª edición. Noriega Editores.1996, pág. 581.

[13] HAGEMANN, George E. Materials Handling Handbook. Editorial The Ronald Press Company. 1ª edición. Nueva York 1958, pág. 20 a 25, 38 a 43

[14] IMMER, John. Manejo de Materiales, Hispano Europea, pág. 102 a 110.

[15] INFANTE V. Arturo. Evaluación económica de proyectos de inversión. 4ª edición. Cali: Banco Popular, 1979, pag. 47.

[16] JURADO MONTAÑO; Arturo: Manejo de materiales. Universidad del Valle, pág 8, 9.

[17] KONZ, Stephen; Diseño de instalaciones industriales. Editorial Limusa. 1ª edición México 1991, pág. 273, 274.

[18] WÖHLBIER, Reinhard. The best of bulk solids handling selected articles. Volume 1. New York: Transtech publication, 1986, pag. 8 a 11, 274 a 277.

[19] LOPEZ ROA, Agustín. Cintas transportadoras. Dossat 2000. Madrid, pág. 42, 62, 79, 94, 166, 174, 177, 233.

[20] MEYERS, Fred E. Plant layout and material handling. New Jersey. 2<sup>nd</sup> edition Prentice Hall 1993, pág. 160 a 170.

[21] MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. México: 1995 Prentice-Hall

[22] NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México: 1999 Prentice-Hall

[23] OCAMPO G. Luis Hernando. Sistemas de transporte de materiales, Universidad Tecnológica de Pereira. pág. 1-3, 1-18.

[24] OROZCO ALZATE, Nelson. Introducción al mantenimiento y manejo de materiales. 2ª edición. Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín 1981, Pág. 90 a 95.

[25] ROSALER C, Robert. Manual del Ingeniero de planta. Tomo III. México Mc-Graw 2ª edición, 1998, pág. 8-32 a 8-35.

[26] SHIGLEY, Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. México: Mc-Graw Hill 1990, pág. 449, 451, 755, 761, 762- 762, 825, 861.