

**DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE DE CALIZA TRITURADA EN
CEMENTOS PAZ DEL RÍO S.A.**

CARLOS ANDRÉS BECERRA HIGUERA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.006

**DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE DE CALIZA TRITURADA EN
CEMENTOS PAZ DEL RÍO S.A.**

CARLOS ANDRÉS BECERRA HIGUERA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.006

**DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE DE CALIZA TRITURADA EN
CEMENTOS PAZ DEL RÍO S.A.**

CARLOS ANDRÉS BECERRA HIGUERA

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
LEONIDAS VÁSQUEZ CHAPARRO
Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.006

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme alcanzar este logro tan importante en mi vida.

A mis padres, por su amor su confianza y por que sin su apoyo esto no seria posible.

A mi hermana, mi cuñado y mis sobrinos, por su cariño y apoyo incondicional.

A mis abuelos, tíos y primos que siempre confiaron en mí.

A Gina, por su amor, su apoyo y colaboración.

A mis amigos, por su confianza y por estar con migo en las buenas y en las malas.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Ing. William Ojeda

Profesional de Proyectos Cementos Paz del Río – Codirector de proyecto.

Ing. Leonidas Vásquez Chaparro

Director Proyecto de grado.

Ingenieros y personal de mantenimiento mecánico de CPR.

Directivas de CPR.

Departamento de recursos humanos.

Demás trabajadores y amigos de CPR.

Carlos Andrés Becerra Higuera.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	2
1.1. DESARROLLO CRONOLÓGICO	2
1.2. BANDA TRASPORTADORA	4
1.2.1. Construcción.....	4
1.3. CLASES DE BANDAS TRANSPORTADORAS	5
1.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN	6
1.4.1. Disposición de poleas y paso de banda	7
1.4.2. Clases de poleas conductoras	7
1.4.3. Transmisión de Fuerza.....	9
1.4.4. Limitaciones	10
1.4.5. Coeficiente de Fricción μ	11
1.4.6. Angulo de abrase α	11
1.5. SISTEMA TENSOR	12
1.5.1. Generalidades	12
1.5.2. Dispositivo tensor fijo.....	12
1.5.3. Peso tensor.....	13
1.5.4. Tensor regulado por tornillo.....	14
1.6. DISPOSITIVOS LIMPIADORES.....	14
1.6.1. Tipos de limpiadores.....	15
1.7. CARGA	19
1.7.1. Carga suelta	19
1.7.2. Cargas unitarias.....	20
1.7.3. Densidad de la carga suelta	20
1.7.4. Angulo de reposo y de sobrecarga β	20

1.7.5.	Granulometría	21
1.7.6.	Temperatura	21
1.7.7.	Humedad	22
1.7.8.	Características químicas	22
1.7.9.	pH	22
1.7.10.	Angulo de inclinación	23
1.8.	BANDAS	24
1.8.1.	Conformación de la banda.....	24
1.8.2.	Carcasa.....	25
1.8.3.	Material	27
1.8.4.	Cubiertas.....	28
1.8.5.	Bordes de la banda.....	28
1.8.6.	Grados	28
1.8.7.	Características especiales.....	29
1.8.8.	Superficie de carga.....	29
1.8.9.	Inclinaciones	30
1.8.10.	Espesor de la cubierta del lado de carga	31
1.8.11.	Descripción de la banda	33
2.	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	36
2.1.	LOCALIZACIÓN	36
2.2.	CLASE DE EMPRESA	36
2.5.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	38
2.5.1.	Explotación	39
2.5.2.	Almacenamiento	39
2.5.3.	Trituración	40
2.5.4.	Molienda de Crudo	40
2.5.5.	Clinkerización	41
2.5.6.	Molienda de Cemento.....	42
2.5.7.	Empaque.....	43
3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	44
3.1.	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	44

3.2.	OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	47
3.2.1.	Objetivo General.....	47
3.2.2.	Objetivos Específicos	47
4.	JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	48
4.1.	EQUIPOS DE TRITURACIÓN.....	49
4.1.1.	Trituradora Laron Estacionaria.....	49
4.1.2.	Trituradora Hazemag Recuperada	50
4.2.	LOCALIZACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	51
4.2.1.	Localización Mina Firavitoba	51
4.2.2.	Localización en patio Neyrtec.....	53
4.3.	DETERMINACIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN DE UBICACIÓN	56
4.3.1.	Banda transportadora y tripper de apilado	56
4.3.2.	Banda trasportadora y silos	57
5.	CÁLCULOS PARA EL DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DE LAS BANDAS	58
5.1.	CÁLCULOS PARA LA REPOTENCIACIÓN DE LA BANDA DE APILADO EN LA PLANTA CPR.....	58
5.1.1.	Equipos con los que actualmente funciona la banda de apilado	58
5.1.2.	Datos para la repotenciación de la banda de apilado	59
5.1.3.	Velocidad de la banda	60
5.1.4.	Espaciamiento de los rodillos de impacto, carga y retorno.....	66
5.1.5.	Revoluciones de los rodillos	67
5.1.6.	Requerimientos de potencia.....	68
5.1.7.	Tipo de banda.....	73
5.1.8.	Fuerza Periférica	75
5.1.9.	Fuerza periférica en el arranque F_A	82
5.1.10.	Sistema conductor	83
5.1.11.	Distribución de fuerzas	85
5.1.12.	Resistencias individuales para cálculos secuenciales	86
5.1.13.	Cálculos secuenciales	92
5.1.14.	Cálculos secuenciales para T_1 a T_4	92
5.1.15.	Corrección de la tensión de la banda	96

5.1.16.	Factor de seguridad.....	100
5.1.17.	Recorrido del tensor	101
5.1.18.	Diámetro de las poleas del transportador.....	103
5.1.19.	Transición de canales.....	108
5.1.20.	Elevación de la polea.....	109
5.1.21.	Curva vertical convexa	110
5.1.22.	Curva vertical cóncava	112
5.1.23.	Ajuste adicional de banda.....	113

5.2. CÁLCULOS PARA LA REPOTENCIACIÓN DE LA BANDA DEL APILADOR EN LA PLANTA DE CPR 117

5.2.1.	Equipos con los que actualmente funciona la banda del apilador	118
5.2.2.	Datos para la repotenciación de la banda del apilador	119
5.2.3.	Requerimientos de potencia	120
5.2.4.	Tipo de banda.....	122
5.2.5.	Fuerza Periférica	123
5.2.6.	Fuerza periférica en el arranque F_A	124
5.2.7.	Resistencias individuales para cálculos secuenciales	125
5.2.8.	Cálculos secuenciales para T_1 a T_4	127
5.2.9.	Corrección de la tensión de a banda.....	129
5.2.10.	Factor de seguridad.....	132
5.2.11.	Recorrido del tensor	132
5.2.12.	Diámetro de las poleas del transportador.....	133
5.2.13.	Porcentaje de utilización.....	134
5.2.14.	Revoluciones de la polea conductora.....	134
5.2.15.	Torque máximo en el arranque	134
5.2.16.	Carga de la polea conductora	135
5.2.17.	Presión de superficie	135
5.2.18.	Transición de canales.....	135
5.2.19.	Elevación de la polea.....	135
5.2.20.	Ajuste adicional de banda.....	136

5.3. CALCULOS PARA EL DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA PRINCIPAL EN MINA 139

5.3.1.	Datos para el diseño de la banda transportadora principal en mina.....	140
5.3.2.	Requerimientos de potencia	141
5.3.3.	Tipo de banda.....	143
5.3.4.	Fuerza Periférica	144

5.3.5.	Fuerza periférica en el arranque F_A	146
5.3.6.	Resistencias individuales para cálculos secuenciales	147
5.3.7.	Cálculos secuenciales para T_1 a T_4	148
5.3.8.	Corrección de la tensión de a banda.....	151
5.3.9.	Factor de seguridad	153
5.3.10.	Recorrido del tensor	154
5.3.11.	Diámetro de las poleas del transportador.....	156
5.3.12.	Transición de canales.....	158
5.3.13.	Elevación de la polea.....	158
5.3.14.	Curva vertical convexa	159
5.3.15.	Curva vertical cóncava	160
5.3.16.	Ajuste adicional de banda.....	161

5.4. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

SECUNDARIA EN MINA..... 164

5.4.1.	Datos para el diseño de la banda transportadora secundaria para en mina	164
5.4.2.	Requerimientos de potencia	165
5.4.3.	Tipo de banda.....	166
5.4.4.	Fuerza Periférica	167
5.4.5.	Fuerza periférica en el arranque F_A	169
5.4.6.	Resistencias individuales para cálculos secuenciales	170
5.4.7.	Cálculos secuenciales para T_1 a T_4	171
5.4.8.	Corrección de la tensión de a banda	174
5.4.9.	Factor de seguridad	176
5.4.10.	Recorrido del tensor	177
5.4.11.	Diámetro de las poleas del transportador.....	179
5.4.12.	Porcentaje de utilización.....	179
5.4.13.	Revoluciones de la polea conductora.....	180
5.4.14.	Torque máximo en el arranque	180
5.4.15.	Carga de la polea conductora	180
5.4.16.	Presión de superficie	180
5.4.17.	Transición de canales.....	181
5.4.18.	Elevación de la polea.....	181
5.4.19.	Ajuste adicional de banda.....	182

5.5. CÁLCULO PARA LA REPOTENCIACIÓN DEL ALIMENTADOR DE BANDEJA 185

CONCLUSIONES..... 186

RECOMENDACIONES.....	189
BIBLIOGRAFÍA.....	190
ANEXOS.....	191

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Granulometría	21
Tabla 2. Materiales de refuerzo para bandas.....	27
Tabla 3. Evaluación de las propiedades de materiales de refuerzo para bandas.....	27
Tabla 4. Grado de la cubierta	28
Tabla 5. Características especiales de las bandas	29
Tabla 6. Inclinationes máximas para los diferentes tipos de bandas	30
Tabla 7. Inclinationes máximas de banda para diferentes materiales.....	31
Tabla 8. Estimaciones del espesor de la cubierta	31
Tabla 9. Calidades de las coberturas Dunlop-Enerka	32
Tabla 10. Materiales básicos.....	33
Tabla 11. Valores estándar de esfuerzo de rotura	34
Tabla 12. Esfuerzo de tensión nominal de las capas.....	35
Tabla 13. Tabla de longitudes estándar de rodillos (L en mm)	61
Tabla 14. Valores de φ_2 para bandas planas y lisas	63
Tabla 15. Valores de φ_2 para bandas inclinadas.....	63
Tabla 16. Valores recomendados de velocidad de banda en (m/s)	64
Tabla 17. Anchos de banda estándar	65
Tabla 18. Velocidades estándar para bandas	65
Tabla 19. Diámetros estándar de rodillos.....	68
Tabla 20. Factor de ancho de banda C_B	69
Tabla 21. Factor de longitud C_L	70
Tabla 22. Factor de condición de trabajo k_f	70
Tabla 23. Motores estándar	73
Tabla 24. Factor de fricción C_R	74
Tabla 25. Factor de juntas C_V	75
Tabla 26. Factor de longitud C	77
Tabla 27. Factor de fricción artificial f	78
Tabla 28. Factor de corrección por velocidad para fricción artificial.....	78

Tabla 29. Coeficientes de fricción para diferentes condiciones de operación.....	93
Tabla 30. Clasificación de los tipos de poleas.....	103
Tabla 31. Valores de la deformación del material de la carcasa.....	104
Tabla 32. Valores estándar de diámetros de poleas.....	104
Tabla 33. Diámetros de los grupos de poleas.....	105
Tabla 34. Valores límites del porcentaje de utilización de las poleas.....	106
Tabla 35. Valores de elevación de la polea.....	110

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema básico banda transportadora	4
Figura 2. Transportador de posición fija	5
Figura 3. Transportador móvil con polea	5
Figura 4. Transportador móvil sin polea	6
Figura 5. Banda plana	6
Figura 6. Banda acanalada	6
Figura 7. Disposición de poleas y paso de banda.....	7
Figura 8. Polea conductora sencilla	8
Figura 9. Polea conductora doble	8
Figura 10. Polea conductora e cabeza y cola sencilla	9
Figura 11. Fuerza periférica F_U	9
Figura 12. Angulo Límite de deslizamiento	10
Figura 13. Ángulos de abrace	12
Figura 14. Dispositivo tensor fijo	13
Figura 15. Dispositivo peso tensor	13
Figura 16. Dispositivo tensor fijo de tornillo.....	14
Figura 17. Rascador alambre de piano	15
Figura 18. Rascador Transversal	16
Figura 19. Rascador de abanico	16
Figura 20. Rascador de arado.....	16
Figura 21. Rascador de araña.....	17
Figura 22. Rascador escalonado.....	17
Figura 23. Rascador rotatorio.....	18
Figura 24. Rascador rotatorio horizontal	18
Figura 25. Rascador golpeador	19
Figura 26. Volcador de banda	19
Figura 27. Angulo de reposo β_{st} y de sobrecarga β_{dyn}	20
Figura 28. Granulometría	21

Figura 29. Grados de inclinación de las bandas	23
Figura 30. Conformación esquemática de una banda con capas	25
Figura 38. Carcasas con una o más capas de textiles. (hasta un máximo de 6 capas)	25
Figura 31. Carcasa con mallas sólidas. Bandas monocapa.....	25
Figura 32. Carcasa de malla de acero	26
Figura 33. Carcasa con filamentos de acero. Bandas ST	26
Figura 34. Tipos de bandas perfiladas	29
Figura 35. Codificación de una banda.....	34
Figura 36. Zonas dentro de la empresa Cementos Paz del Río.	37
Figura 37. Sistema automático de apilado	39
Figura 38. Trituradora Hazemag	40
Figura 39. Molino de Crudo	41
Figura 40. Horno Rotatorio	42
Figura 41. Molino de Cemento	43
Figura 42. Banda 16112 y apilador a repotenciar	45
Figura 43. Alimentador de bandejas y de oruga a repotenciar.....	45
Figura 44. Sistema de transporte de caliza propuesto en planta CPR para trituradora de circuito abierto	46
Figura 45. Sistema de transporte de caliza propuesto en planta CPR para trituradora de circuito cerrado	46
Figura 46. Sistema de transporte de caliza propuesto en mina Firavitoba para trituradora de circuito cerrado.....	47
Figura 47. Trituradora Laron estacionaria	50
Figura 48. Trituradora Hazemag	51
Figura 49. Localización mina Firavitoba	52
Figura 50. Localización Patio Neyrtec en Planta CPR	54
Figura 51. Patio Neyrtec Planta CPR.....	55
Figura 52. Área de la sección transversal del flujo de carga.....	60
Figura 53. Distancia entre rodillos de carga.....	66
Figura 54. Transportador con accionamiento de cabeza	84
Figura 55. Transportador con accionamiento de cola	84
Figura 56. Transportador con accionamiento de cabeza y cola.....	84
Figura 57. Distribución de fuerzas en las poleas.....	85

Figura 58. Instalación con polea conductora de cabeza	92
Figura 59. Localización de peso tensor.....	99
Figura 60. Distancia de transición	108
Figura 61. Elevación de polea	109
Figura 62. Transición de un plano inclinado a un horizontal.	110
Figura 63. Transición de un plano horizontal a un inclinado.	112
Figura 64. Ubicación polea tensora fija.	130
Figura 65. Bandas transportadoras par la trituradora Hazemag en mina las monjas	140
Figura 66. Acople rígido	192
Figura 67. Acople flexible	192
Figura 68. Acople turbo	193
Figura 69. Torque Vs Velocidad Para un motor jaula de ardilla con acople fijo	194
Figura 70. Torque Vs Velocidad Para un motor jaula de ardilla con acople hidraulico	195
Figura 71. Carcasa con alta resistencia a cortes longitudinales	198

LISTA DE ANEXOS

	Página
ANEXO 1. ACOPLER.....	192
ANEXO 2. MECANISMOS DE DETECCIÓN.....	196
ANEXO 3. CARACTERÍSTICAS Y AREAS DE APLICACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA CUBIERTA.....	199
ANEXO 4. PESO Y ESPESOR DE BANDAS TRANSPORTADORAS	202
ANEXO 5. LONGITUD DEL TRANSPORTADOR Vs COEFICIENTE DE LONGITUD C ...	203
ANEXO 6. MASA m'_R (Kg).....	204
ANEXO 7. VALORES PARA EL FACTOR C2.....	205
ANEXO 8. VALORES MÍNIMOS PARA EL FACTOR DE SEGURIDAD SEGÚN LAS CONDICIONES DE TRABAJO	206
ANEXO 9. VALORES DE ELONGACIÓN K_D	207
ANEXO 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	208
ANEXO 11. VALORES DE S_{min}	214

GLOSARIO

MINA: excavación que se hace para extraer un mineral, en este caso, caliza.

TRITURACIÓN: proceso mediante el cual se reduce el tamaño de las rocas de caliza provenientes de la mina.

PREHOMOGENEIZACIÓN: mezcla de diferentes tipos de calidad de caliza triturada para alcanzar los estándares de calidad para diferentes tipos de cemento.

CEMENTO: mezcla formada de arcilla y caliza, sometida a cocción que posteriormente se muele finamente, y que mezclada a su vez con agua se solidifica y endurece.

SILOS: depósito de forma cilíndrica utilizado para el almacenamiento de harina (caliza finamente molida), y cemento antes de ser empacado y despachado.

APILADO: es el proceso para hacer los montones de caliza triturada.

TOLVA: depósito en forma de tronco de pirámide o de cono invertido y abierta por abajo utilizado para el almacenamiento de caliza triturada y/o carbón antes de pasar al proceso de molienda.

CLINKER: materia prima para la producción del cemento, se obtiene al exponer a altas temperaturas la harina (1400°C) en el horno rotatorio.

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE CALIZA TRITURADA EN CEMENTOS PAZ DEL RÍO S.A.*

AUTOR:

Carlos Andrés Becerra Higuera **

PALABRAS CLAVES:

Bandas transportadoras, caliza, trituración, tensiones

DESCRIPCIÓN:

En la empresa CPR (Cementos Paz del Río) se trabaja en el proyecto “Optimización de Trituración primaria”; con este proyecto se quiere eliminar la dependencia que existe con APR (Acerías Paz del Río) (debido a que esta empresa es la encargada del transporte de la caliza triturada vía férrea desde la mina Belencito, propiedad de APR, hasta las instalaciones de CPR) y de esta forma eliminar el gasto generado por el transporte, reducir los gastos por mano de obra y consumo de energía (que también es suministrada por APR). Este proyecto de grado tiene como objetivo realizar el diseño para mejorar el transporte de caliza triturada por medio de bandas transportadoras, y la repotenciación del sistema de transporte en el patio de apilado de acuerdo a la capacidad de los nuevos equipos de trituración a instalar, como parte del proyecto “optimización de trituración primaria” que se adelanta en Cementos Paz del Río (CPR).

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Leonidas Vásquez Chaparro.

SUMMARY

TITLE:

DESING AND REPOWERED OF SYSTEM OF TRANSPORT OF TRITURATED LIMESTONE AT CEMENTOS PAZ DEL RÍO S.A.*

AUTHOR:

Carlos Andrés Becerra Higuera **

KEY WORDS:

Conveyor belts, limestone, trituration, strengths.

DESCRIPTION

The CPR company (Cementos Paz del Rio) works in the project “Optimization of primary trituration”; this study pretends to eliminate the depend that exist of APR (Acerías Paz del Río) (it is due ti this company takes charge of convey trituated limestone by railroad from mine Belencito, property of APR, to CPR), in this way eliminate the transport cost, to reduce workmanship and energy consumption (that is supplied by APR). This project of degree has the objective to realize a design for improve the transport of trituated limestone by means of conveyor belts, and the repowered of conveyor system in the staked cellar, these must be in agreement to the capacity of new equipments of trituration that go to be installed. This forms part of the project “Optimization of primary trituration”, it is developed in Cementos Paz del Rio (CPR).

* Degree Project.

** Physical-mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Leonidas Vásquez Chaparro

INTRODUCCIÓN

La planta de Cementos Paz del Río (CPR) desde hace un par de años tiene proyectado trasladar la planta de trituración primaria que actualmente se encuentra en predios de Acerías Paz del Río (APR), ya que el funcionamiento de esta planta le representa mayores gastos tanto en energía como en transporte debido a que APR le suministra la energía que consume la trituradora y también son los encargados de transportar la caliza triturada en tren desde sus instalaciones hasta la planta de CPR, además son los dueños de la mina Belencito la cual fue otorgada a CPR por concesión para su explotación; a causa de que el contrato de concesión caducó a mediados del 2005 y no fue renovado, es primordial la reubicación de la trituradora .

Por esta razón en la Planta de Cementos Paz del Río se está desarrollando el proyecto “Optimización Trituración Primaria” que es el encargado del estudio y ejecución de la reubicación de la trituradora. Una de las partes más importantes de este proyecto es la repotenciación de las bandas de apilado que se encuentran en la planta y el diseño de las bandas que se van a utilizar después del proceso de trituración.

Este proyecto de grado se encargará de los cálculos para la repotenciación y diseño del sistema de transporte por bandas para la caliza triturada desde que sale de la trituradora hasta que es almacenada en el patio de prehomogeneización en la planta de CPR.

1. MARCO TEÓRICO¹

Las bandas transportadoras se han usado por décadas para transportar cargas sueltas (a granel) y cargas unitarias. Han demostrado su importancia en todas partes porque las instalaciones de bandas transportadoras se pueden adaptar para satisfacer las condiciones locales, son seguras y económicas.

La demanda por instalaciones de mayor capacidad y extensión ha acelerado el avance tecnológico de las bandas transportadoras, se han desarrollado nuevos materiales, se están diseñando y probando nuevos sistemas de carga, especialmente aquellos que ayudan al medioambiente.

La banda transportadora juega el papel principal en la totalidad del sistema, y tiene que soportar muchos y variados esfuerzos. Además, cada problema de carga es diferente y necesita de un diseño cuidadoso y una selección de los elementos correctos para alcanzar la capacidad de carga óptima de una forma económica.

En el futuro los cálculos y dimensionamientos de bandas transportadoras se realizarán de forma sistematizada, con lo cual, las correlaciones de los criterios de evaluación ya no se usarán.

1.1. DESARROLLO CRONOLÓGICO

Hasta mediados de 1970 el desarrollo y tecnología de las bandas transportadoras se concentraban en la búsqueda de materiales apropiados para la banda y la resolución de problemas de conducción. En primera

¹ CONVEYOR BELT TECHNIQUE DESIGN AND CALULATION, FENNER DUNLOP, sección 1 a la 10.

instancia la transmisión de la tracción tuvo una parte importante. Como la demanda creció para transportadoras de mayor capacidad y mayor longitud, se consideraron y estudiaron requerimientos adicionales al construir la banda, tales como: mayor trabajo de carga, elongación, resistencia al corte y uniones articuladas.

Desde 1870 se inician las pruebas con bandas lisas de algodón, hasta 1914 aparecen las primeras bandas transportadoras de caucho desarrolladas de bandas conductoras. Entre 1923 y 1924 se dieron los primeros usos de bandas subterráneas, no fueron un éxito debido a problemas de conducción. En 1926 aparecen las primeras bandas con cubiertas robustas reforzadas Balata. En 1928 se inicia el uso de bandas con capas de algodón Maco, y en 1933 se desarrollan las bandas de rayón/algodón y rayón puro. En ese mismo año se inicia la transición de caucho natural a caucho sintético para la protección de la carcasa. A partir de 1939 se incrementa el uso de algodón y caucho sintético. Entre 1941 y 1942 se desarrolla el uso de bandas de PVC. Las bandas con filamentos de acero fueron usadas por primera vez para instalaciones de mayor longitud de arrastre, en los Estados Unidos. En 1945 se presentó el desarrollo acelerado de bandas de rayón y la introducción de materiales mezclados fabricados incluyendo mallas sintéticas. Entre 1954 a 1955 se inicia el desarrollo de bandas de alta tensión, por ejemplo capas de rayón, poliamida y poliéster, también aparecen cubiertas de caucho con varios diseños superficiales y las bandas para inclinaciones altas, con perfiles y guías. A partir de 1955 se desarrollan las bandas de filamentos de acero en Europa. En 1970 se inicia el uso de Aramide como material de refuerzo de la carcasa. Posteriormente, en 1980 comienza el desarrollo de nuevos sistemas de transporte, por ejemplo el transportador de tubo y el transportador hammock.

Esta corta reseña histórica ilustra las etapas más importantes del desarrollo de la banda transportadora. La búsqueda de nuevos materiales fue necesaria

debido al incremento de la demanda que implica optimizar la conformación de instalaciones tales como diámetros de poleas, curvas verticales y horizontales, etc., y la demanda de nuevos sistemas de transporte.

1.2. BANDA TRASPORTADORA

1.2.1. Construcción.

La instalación consiste de un sistema de transmisión, un sistema tensor, componentes adicionales y los elementos principales de una banda transportadora.

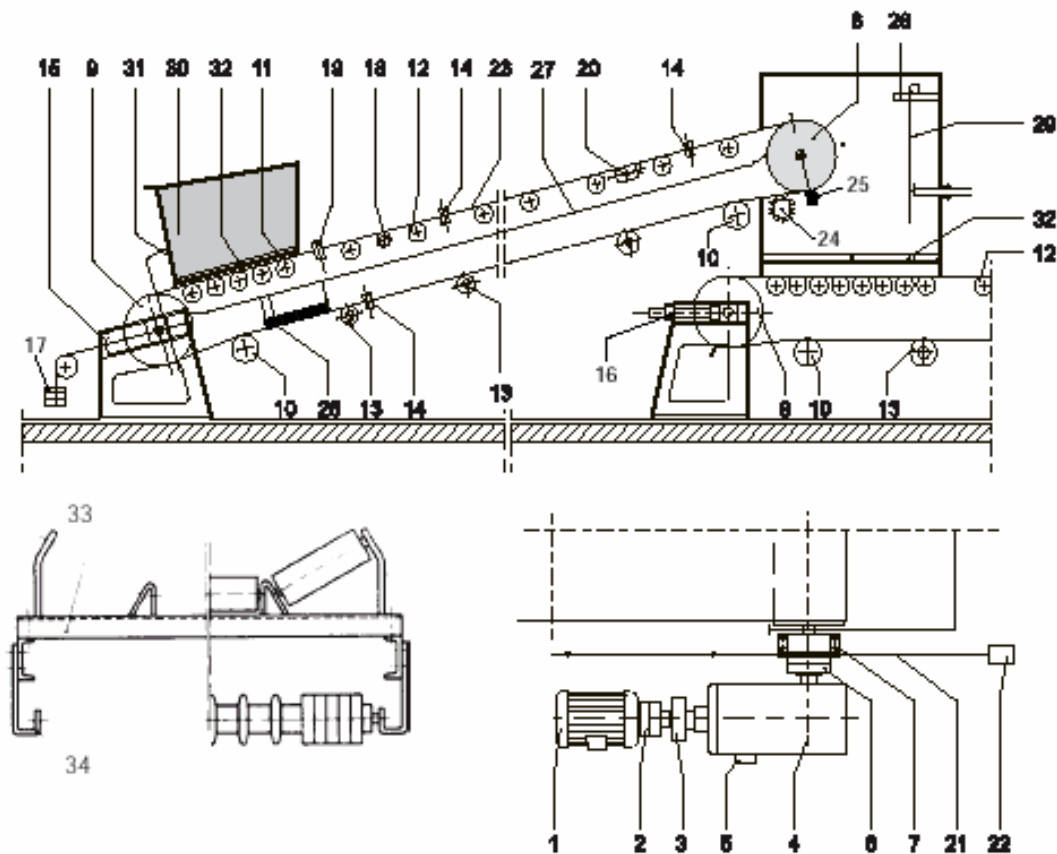


Figura 1. Esquema básico banda transportadora

- | | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| 1. Motor | 18. Medidor de recorrido |
| 2. Acople del motor | 19. Control de apagado guía |
| 3. Freno | 20. Rodillos direccionadores |
| 4. Transmisión | 21. Cable de seguridad |
| 5. Anti retroceso | 22. Interruptor de emergencia |
| 6. Acople conductor | 23. Banda transportadora |
| 7. Rodamiento polea | 24. Cepillo |
| 8. Polea conductora | 25. Raspador o limpiador |
| 9. Polea de cola | 26. Raspador interno |
| 10. Rodillo tensor | 27. Cubierta |
| 11. Rodillos de impacto | 28. Guarda de cabeza |
| 12. Rodillo lado carga | 29. Barra desviadora |
| 13. Rodillo lado retorno | 30. Tolva de entrega |
| 14. Rodillo guía | 31. Revestimiento de tolva |
| 15. Medidor de tensión | 32. Guarda bandas |
| 16. Tornillo tensor | 33. Localización superior de banda |
| 17. Peso tensor | 34. Localización inferior de bandas |

1.3. CLASES DE BANDAS TRANSPORTADORAS

- **Transportador de posición fija**



Figura 2. Transportador de posición fija

- **Transportador móvil con polea**



Figura 3. Transportador móvil con polea

- **Transportador móvil sin polea**



Figura 4. Transportador móvil sin polea

- **Banda plana**

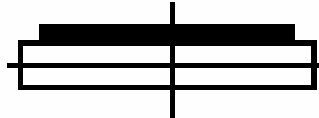


Figura 5. Banda plana

- **Banda acanalada**

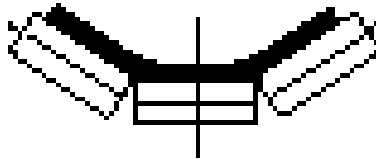


Figura 6. Banda acanalada

1.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión consiste en todos los elementos que proporcionan la transmisión, el arranque y la fuerza de frenado. La transmisión de la potencia de tracción de la polea conductora depende de los siguientes factores:

- Angulo de curvatura α , que la banda hace con la polea conductora.
- Coeficiente de fricción μ , entre la banda y la polea conductora.
- Pre-tensión T_v .

1.4.1. Disposición de poleas y paso de banda.

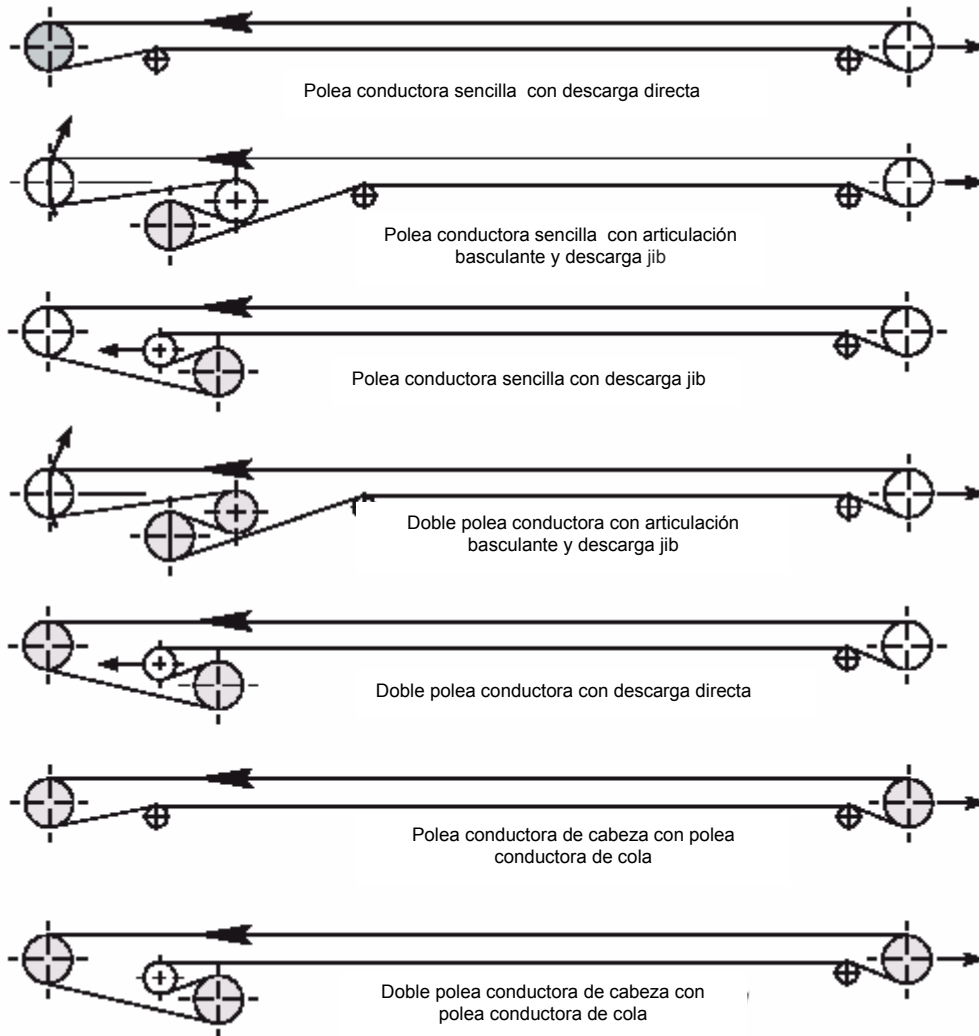


Figura 7. Disposición de poleas y paso de banda

1.4.2. Clases de poleas conductoras

1.4.2.1. Polea conductora sencilla.

La polea conductora sencilla es la más común y preferida en los sistemas de conducción. En circunstancias normales la unidad conductora comprende motor, acople y reductor, localizado en un lado de la polea conductora y conectado por medio de un acople flexible, acople de bridas o una extensión del reductor..

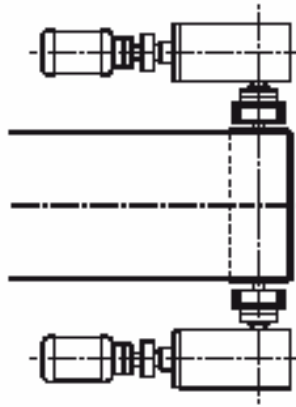


Figura 8. Polea conductora sencilla

1.4.2.2. Doble polea conductora.

Para aplicaciones de servicio pesado la doble polea conductora es utilizada para incrementar el ángulo de curvatura y la transmisión de tracción. Dos a cuatro poleas conductoras son posibles como una pauta de estandarización. Pueden ser de la misma medida.

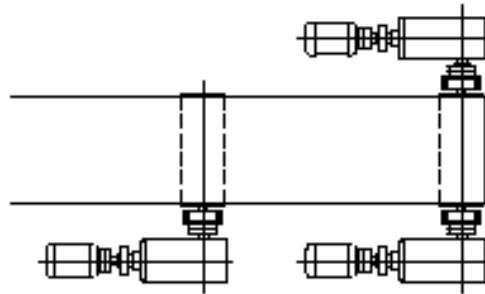


Figura 9. Polea conductora doble

Por la distribución de la potencia de conducción en proporciones de 1:1 o 1/3:2/3 la capacidad de transmisión de la primera polea no puede ser utilizada en su totalidad. Todos los motores tienen la misma carga de trabajo. Casi la misma medida de la carga de trabajo puede conseguirse con la selección de un acople hidráulico, cuyo deslizamiento característico puede ser modificado por el ajuste de volumen de fluido en el circuito de trabajo. El uso de motores de anillo deslizante puede conseguirse por ajuste de la resistencia de deslizamiento.

1.4.2.3. Polea conductora de cabeza y de cola.

El sistema conductor de cabeza y cola puede ser usado en instalaciones relativamente largas, poleas reversibles o donde exista alta resistencia de retorno. El encendido o frenado es más fácil en instalaciones largas. El sistema conductor de cola vence la resistencia al movimiento en el lado de retorno, la pretensión en la polea conductora de cabeza se puede incrementar.

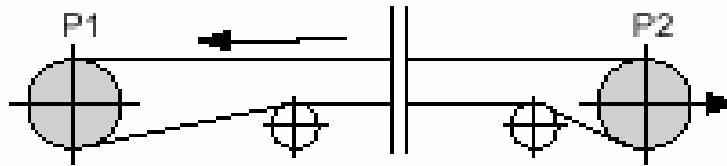


Figura 10. Polea conductora e cabeza y cola sencilla

1.4.3. Transmisión de Fuerza

La tensión de banda necesaria para la transmisión de la fuerza de fricción periférica F_U es:

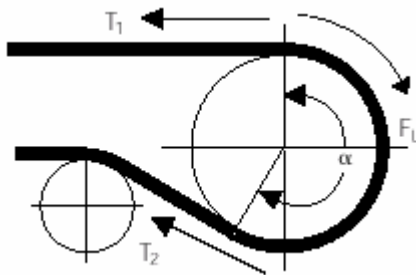


Figura 11. Fuerza periférica F_U

Donde: T_1 = Tensión de entrada
 T_2 = Tensión de salida

Porque el coeficiente de fricción entre la banda y la polea, T_1 es mas grande que T_2 . La diferencia entre estas dos fuerzas es la fuerza periférica F_U .

$$F_U = T_1 - T_2 \quad \text{ó} \quad T_1 = F_U + T_2 \quad (\text{Fuerza periférica})$$

En el frenado las fuerzas son reversibles.

1.4.4. Limitaciones

En el caso extremo que la fricción corte completamente, esto es, si el límite de deslizamiento está a punto de ser alcanzado y el ángulo de abrase es totalmente utilizado, entonces este es el límite del deslizamiento.

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu\alpha} \quad \text{ó} \quad T_1 \leq T_2 \times e^{\mu\alpha}$$

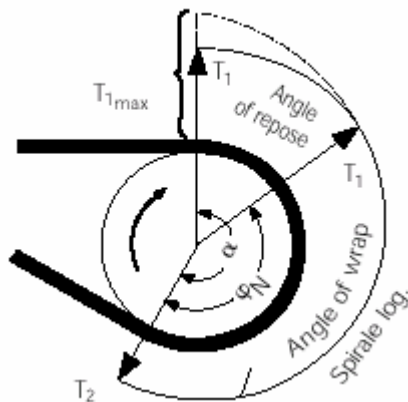


Figura 12. Angulo Límite de deslizamiento

T_1 disminuye a lo largo del ángulo de abrase α hasta el valor de T_2 por encima del espiral logarítmico.

De la formula de la fuerza perimetral F_u y T_1 se pueden derivar las siguientes relaciones:

$$T_1 = F_u \times \left(1 + \frac{1}{e^{\mu\alpha}}\right) = F_u \times c_1 \quad (\text{Tensión de entrada})$$

$$T_2 = F_u \times \left(\frac{1}{e^{\mu\alpha} + 1}\right) = F_u \times c_2 \quad (\text{Tensión de salida})$$

Donde: c_1 y c_2 son factores de conducción.

1.4.5. Coeficiente de Fricción μ

El factor que determina la transmisión de la fuerza perimetral F_u es el coeficiente de fricción, el ángulo de abrace α y la pretensión T_2 o T_v .

El número de poleas conductoras, la fuerza de pretensión como otros componentes de la instalación dependen del coeficiente de fricción μ . En la práctica el coeficiente de fricción varía dentro de límites que dependen de:

- Condiciones de la superficie de la polea
- Material de lubricante con agua o carga de limo entre la banda y la polea
- Temperatura
- Presión de superficie
- Deslizamiento y velocidad de rotura

El coeficiente de fricción disminuye con el incremento de la presión de superficie y aumenta con la velocidad de rotura en el momento del arranque.

1.4.6. Ángulo de abrase α

El ángulo de abrase se puede incrementar por medio de poleas tensoras en un máximo de 230° además usando dos poleas conductoras el ángulo puede alcanzar aproximadamente 450°.

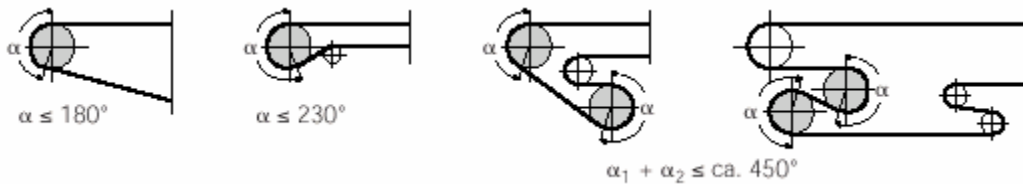


Figura 13. Ángulos de abrace

1.5. SISTEMA TENSOR

1.5.1. Generalidades

Todas las bandas transportadoras están equipadas con un dispositivo tensor. Este es necesario para hacer posible la transmisión de fuerza en la polea conductora o para adecuar el cambio de longitud de la banda que ocurre con la variación de carga y para suministrar el suave arranque en la instalación. La escogencia del sistema de tensión depende de las condiciones generales de la instalación, la elongación característica de la banda, del comportamiento en la arrancada, del ambiente y también de la longitud de la banda y la inclinación.

Dependiendo de la aplicación se puede diferenciar entre:

- Tensores fijos
- Tensores móviles con pretensión constante provistos de peso tensor o con una pretensión regulada por motor.

1.5.2. Dispositivo tensor fijo

Este simple dispositivo es usado en bandas relativamente cortas o en bandas con cordones de acero de baja elongación. Después de tensar la banda, la longitud permanece constante pero la fuerza de tensión cambia de acuerdo con el cambio en la carga a través de alargamiento permanente o elástico.

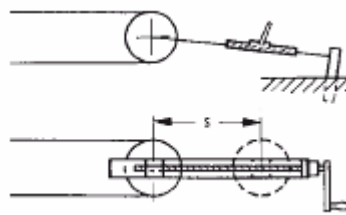


Figura 14. Dispositivo tensor fijo

El nivel en la fuerza de pretensión puede ser prácticamente determinado por la tensión de la bandada hasta las fuerzas reactivas en todas las partes de la instalación. La banda permanece suficientemente bien tensionada como es necesario para la condición de máxima carga. Esto es posible para determinar la tensión por medio de sensores.

1.5.3. Peso tensor

En instalaciones muy largas se utiliza el dispositivo de peso tensor por gravedad. Con este se consigue la pretensión constante en toda la instalación de la banda. Los cambios de longitud de la banda son equilibrados con en el desplazamiento del tensor. Esto se debe determinar de tal forma para el acomodo de esos cambios, es decir, adicionalmente por elongación permanente de la banda.

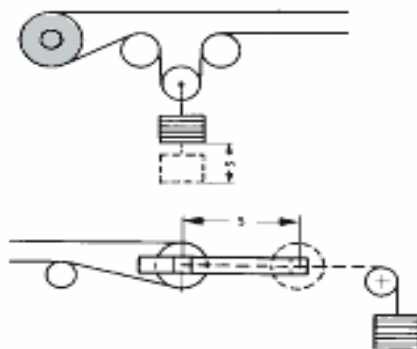


Figura 15. Dispositivo peso tensor

Un estimativo del recorrido de tensado en bandas de carcasa de textil es aproximadamente 1.5% basado en la longitud entre centros del transportador y aproximadamente de 0.3% en bandas de cordones de acero.

1.5.4. Tensor regulado por tornillo

En instalaciones de longitud especial o en bandas con reducidas vibraciones en la arrancada se usan los tensores de tornillo o malacate. Por medio de un interruptor eléctrico de preencendido se pone en funcionamiento el malacate tensor, después se pone en funcionamiento la banda, y se consigue la tensión necesaria. Durante el encendido la pretensión se conserva por encima de del valor nominal. Después de alcanzar la condición de marcha el malacate es ajustado para suministrar el valor nominal de pretensión.

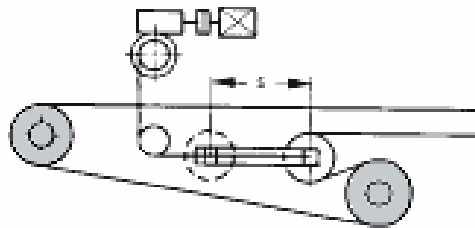


Figura 16. Dispositivo tensor fijo de tornillo

1.6. DISPOSITIVOS LIMPIADORES

Cuando las bandas transportadoras están en operación necesitan ser limpiadas constantemente dependiendo del tipo y las características de los residuos de la carga los cuales se pegan en el lado de carga de la banda. Los rodillos de retorno reciben la suciedad la cual más adelante se incrusta en estos y en las poleas conductoras. Las consecuencias son entre otras:

- Perdidas de carga
- Ensuciamiento de la instalación

- Daños en la banda
- Acanalado en la banda
- Daños en los rodillos

Los limpiadores de bandas requieren medidas especiales teniendo cuidado con:

- Características de los materiales tales como suciedad, humedad, adhesión, granulometría.
- Grados de limpieza, rugosidad para limpieza clínica.

1.6.1. Tipos de limpiadores

1.6.1.1. Rascador alambre de piano.

Un alambre de acero tensionado transversalmente encima del lado de carga, atrás del punto de descarga, para limpieza burda de materiales pegados tales como arcilla y materiales semejantes.

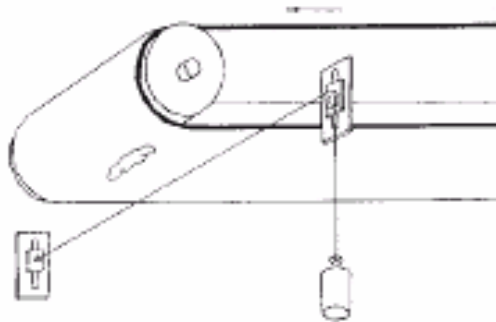


Figura 17. Rascador alambre de piano

1.6.1.2. Rascador transversal.

Fijo o móvil, también es posible con rascador de doble filo.

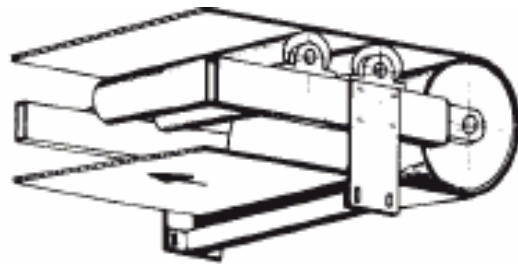


Figura 18. Rascador Transversal

1.6.1.3. Rascador de abanico.

Usado para material moderadamente pegajoso. Gran área de contacto.

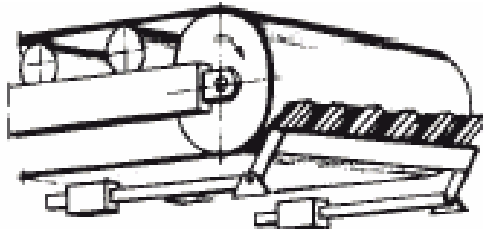


Figura 19. Rascador de abanico

1.6.1.4. Rascadores de arado.

Para limpieza por debajo de la banda, a menudo es localizado antes de la polea de cola. En casos especiales estos son usados en forma de doble filo. Además previenen que el material caiga dentro de la polea de cola.

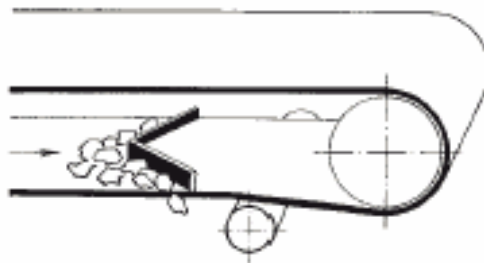


Figura 20. Rascador de arado

1.6.1.5. Rascadores de acción de araña.

Usado para limpieza severa, se ubican inmediatamente después de la polea de descarga. Disponible en versión ajustable.

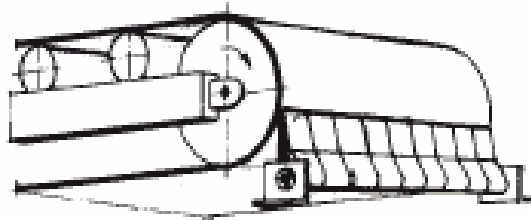


Figura 21. Rascador de araña

1.6.1.6. Rascador escalonado.

Es usado apenas para material no pegajoso. Puede ser ajustado dependiendo la carga y el grado de limpieza.

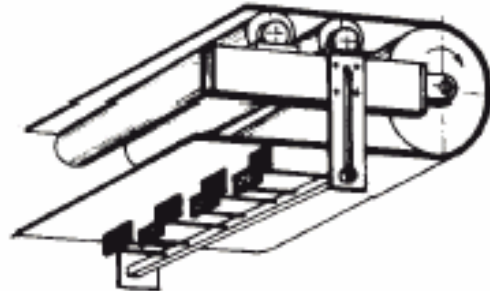


Figura 22. Rascador escalonado

1.6.1.7. Rascador rotatorio.

Cepillos rotatorios de caucho o nylon. No recomendable para materiales pegajosos como la arcilla.

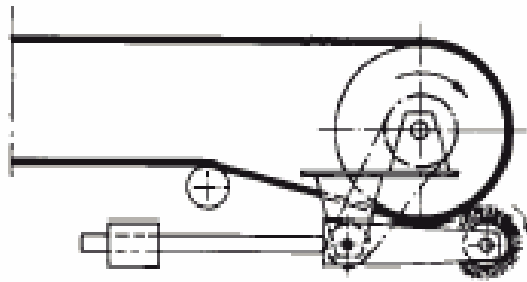


Figura 23. Rascador rotatorio

1.6.1.8. Rascador rotatorio horizontal.

Rascador rotatorio horizontal localizado en la carrera de retorno. El anillo rascador en posición ligeramente inclinado es conducido por la banda.

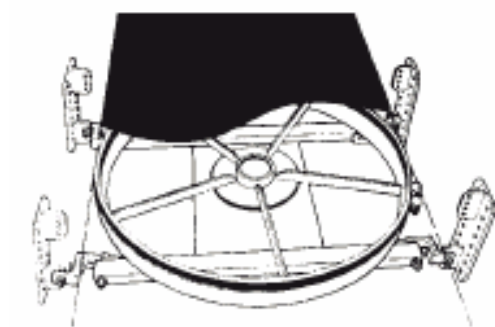


Figura 24. Rascador rotatorio horizontal

1.6.1.9. Rodillo golpeador.

Situado en el lado de carrera de operación de la banda cerca a la tolva de descarga. Para bandas con lado de perfil para carga y bandas inclinadas.

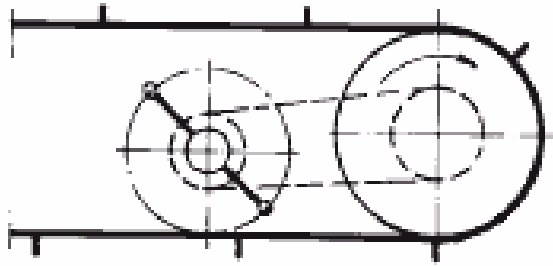


Figura 25. Rascador golpeador

1.6.1.10. Volcador de banda.

Localizado en áreas inaccesibles como puentes y túneles. La banda es girada en el lado de retorno, de esta manera el lado sucio de carga queda hacia arriba.

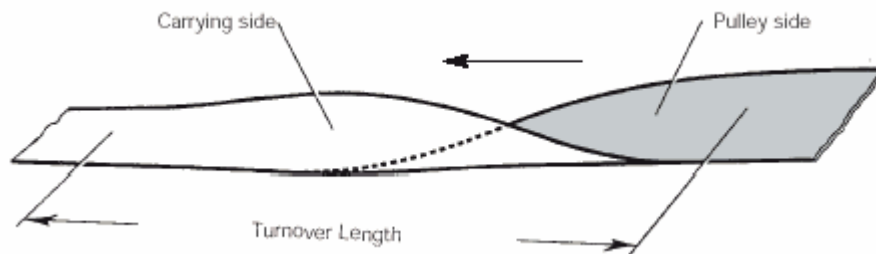


Figura 26. Volcador de banda

1.7. CARGA

Es importante conocer los materiales y la composición exacta de la carga cuando se construye una instalación transportadora. La escogencia de la banda transportadora está determinada por las propiedades físicas y químicas de los materiales y posiblemente por las regulaciones de seguridad y otros requerimientos.

1.7.1. Carga suelta

Se refiere a polvo, gránulos o terrones. Cargas por como ejemplo piedra, tierra, arena, granos, cemento, están definidos por sus características físicas

tales como densidad, granulometría, humedad, contenido de aceites y grasas, pH, abrasividad y ángulo de sobrecarga.

1.7.2. Cargas unitarias

Piezas cargadas que comprenden cajas, sacos, bloques, etcétera; y están definidas por su forma, medidas y peso.

1.7.3. Densidad de la carga suelta

Es la relación entre la masa (m) y el volumen (V) de la carga suelta.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left(\frac{T}{m^3} \right) \quad (\text{Densidad de la carga suelta})$$

1.7.4. Ángulo de reposo y de sobrecarga β .

Si una carga se deja caer libremente se formará un ángulo estático de descenso β_{st} . Si la capa de abajo se mueve como cuando está siendo transportada en una banda transportadora se forma un ángulo de sobrecarga β_{dyn} . Las partículas de la carga suelta interactúan con la fricción interna del material formando el ángulo de sobrecarga β_{dyn} .

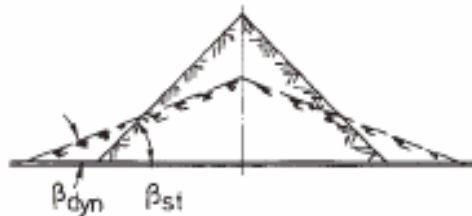


Figura 27. Ángulo de reposo β_{st} y de sobrecarga β_{dyn}

Donde: $\beta_{dyn} = (0.5 - 0.9) \times \beta_{st}$

El ángulo de sobrecarga es sólo para una estimación relacionada con el tamaño del material. Depende de la fricción entre el material y la banda, como se carga el material y la geometría de la instalación transportadora.

1.7.5. Granulometría

La granulometría o tamaño del terrón se calcula determinando la medida de la dimensión k , que es la máxima diagonal medida de esquina a esquina del terrón. Cualquiera que sea la granulación o tamaño de terrón predominante se decide que el terrón sea dimensionado o no dimensionado.



Figura 28. Granulometría

Tabla 1. Granulometría

Carga dimensionada	$k_{\max} / k_{\min} \leq 2.5$
Carga no dimensionada	$k_{\max} / k_{\min} > 2.5$
Granulometría	$k = 0.5 (k_{\max} + k_{\min})$

Definición de la carga suelta	Granulometría (mm)
Polvo	0.5
Gránulos	0.5 – 10
Terrones	10 – 200
Terrones grandes	>200

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 9.1

1.7.6. Temperatura

Es importante tener tanta exactitud como sea posible en el valor de la temperatura de la carga y las condiciones ambientales para seleccionar la

calidad óptima de la cubierta y en ciertas circunstancias el esquema de los componentes de una instalación en particular.

Los factores que influyen son:

- Granulometría del material y la densidad de contacto hecha con la banda.
- Velocidad de la banda y por lo tanto los tiempos de calentamiento y enfriamiento.
- Que la instalación sea abierta o cerrada.

1.7.7. Humedad

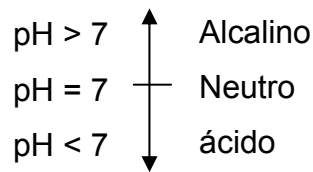
El contenido de humedad del material tiene una influencia en el ángulo de sobrecarga β_{dyn} , también influyen la fricción estimada entre el material y la banda, y el máximo ángulo de inclinación de una instalación. Es difícil dar un valor exacto y si es necesario se debe hacer una prueba. El contenido de humedad se mide en porcentaje.

1.7.8. Características químicas

Un conocimiento profundo de las características químicas de la carga se necesita cuando se selecciona la calidad de la cubierta, y también el refuerzo de la carcasa. Las proporciones de aceites y grasas, y la acidez son importantes. La temperatura del material químico así como el porcentaje de acidez influyen en el grado de ataque de la cubierta de la banda.

1.7.9. pH

El pH es la concentración de iones hidrógeno que están presentes en una solución, es el exponente negativo en base 10 de la concentración (exponente de hidrógeno).



El punto neutro es pH igual a 7, por debajo indica acidez, por encima indica alcalinidad (bases). El valor de pH indica el grado de acidez o alcalinidad, y puede ser importante en la selección de la calidad de la cubierta.

1.7.10. Angulo de inclinación

El máximo ángulo de inclinación de una banda transportadora depende de la fricción estimada entre el material y la banda, y la forma del material. Los terrones largos y los materiales húmedos disminuyen el ángulo de inclinación. El método de carga así como la dirección y la tasa de alimentación son criterios importantes. Para la mayoría de cargas sueltas y bandas con una superficie de carga lisa, el ángulo límite está entre 18° y 20°. Para inclinaciones más pendientes hasta 90° se usan bandas perfiladas y bandas con guías o bandas elevadoras.

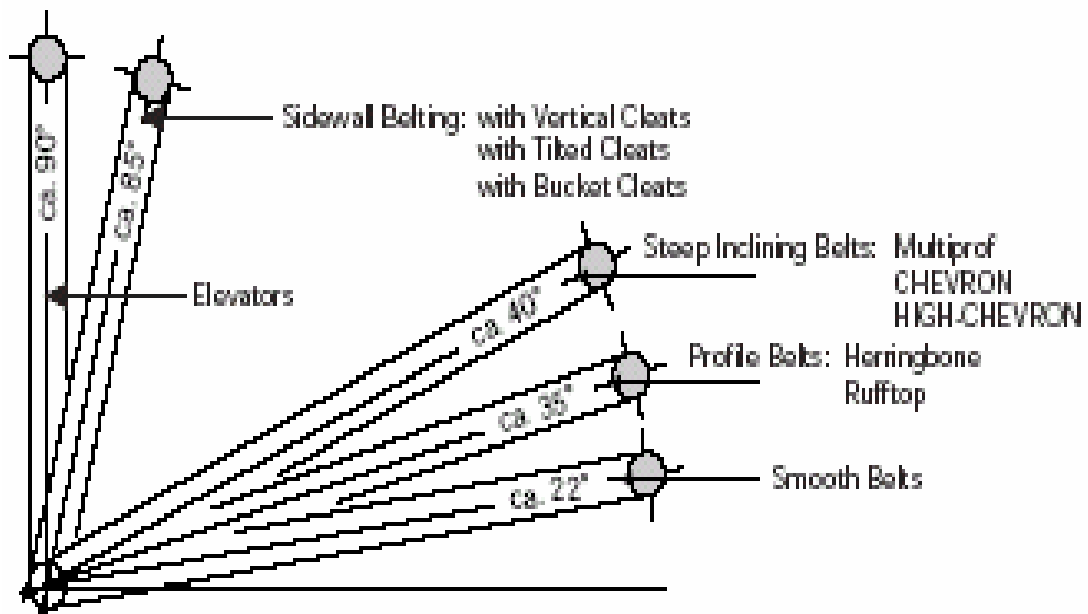


Figura 29. Grados de inclinación de las bandas

1.8. BANDAS

La banda transportadora es el elemento más importante de una instalación transportadora. Tiene la capacidad de hacer numerosas tareas.

- Absorber las fuerzas desarrolladas en el arranque de la conducción.
- Transportar la carga.
- Absorber el impacto energético en el punto de carga.
- Resistir temperaturas y efectos químicos (calor, contenido de aceite y grasa de los materiales, acidez, etc.)
- Alcanzar los requerimientos de seguridad.

1.8.1. Conformación de la banda

La banda transportadora consta de los siguientes elementos:

- Carcasa, que se compone de capas de textiles, mallas de acero o filamentos de acero.
- Cubiertas de diferentes calidades de caucho o PVC.
- Componentes adicionales (según sean requeridos) tales como: protección de bordes, protección contra impactos, prevención de cortes longitudinales, etc.
- Elementos especiales de conformación como: perfiles en bandas muy inclinadas, guías o bordes corrugados, etc.

Todos los ítems mencionados anteriormente se deben examinar cuidadosamente. La selección de las especificaciones de la banda depende de la aplicación.

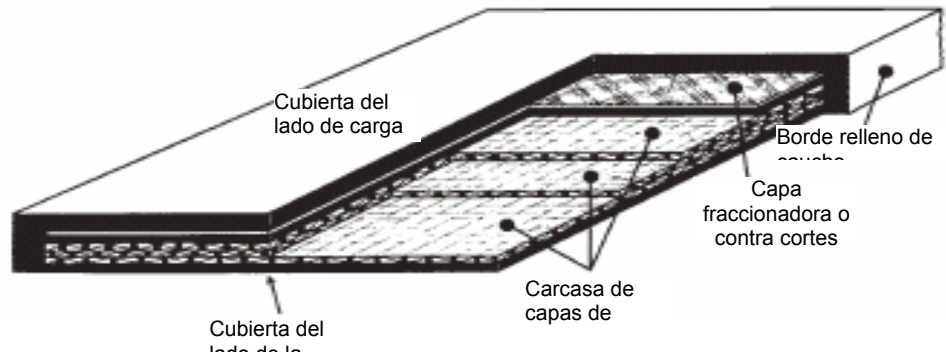


Figura 30. Conformación esquemática de una banda con capas

1.8.2. Carcasa

La carcasa puede estar fabricada de varios materiales y en diferentes conformaciones. Las que se usan con más frecuencia son las carcasas cubiertas con textiles y filamentos de acero.

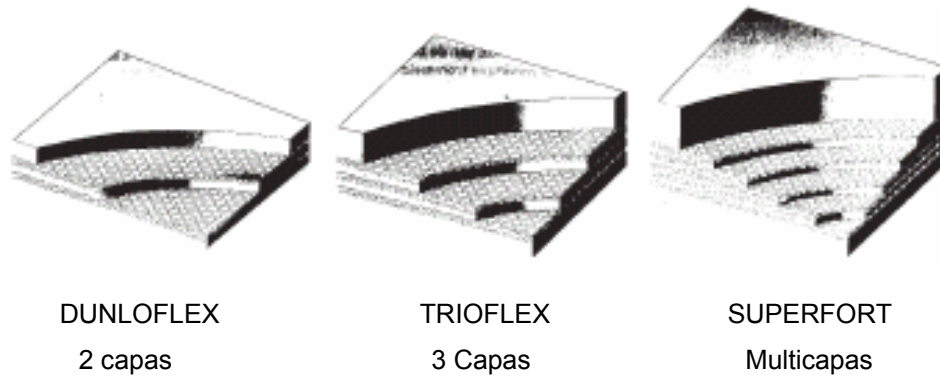
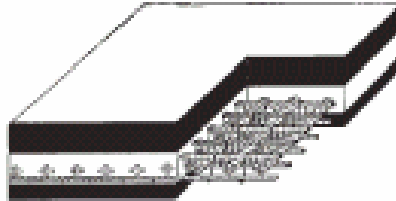


Figura 38. Carcasas con una o más capas de textiles. (hasta un máximo de 6 capas)



Figura 31. Carcasa con mallas sólidas. Bandas monocapa

Las bandas Dunloplast tienen una carcasa monocapa de PVC mezclada con textiles. Dependiendo de la tensión las fibras de la carcasa pueden ser de poliéster, poliamida o aramid.



FERROFLEX

Figura 32. Carcasa de malla de acero

La transmisión de fuerza se hace por medio de filamentos de acero longitudinales colocados uno cerca del otro en el mismo plano. Sobre esta carcasa está una capa transversal también de acero, que es sujeta por filamentos de poliamida.

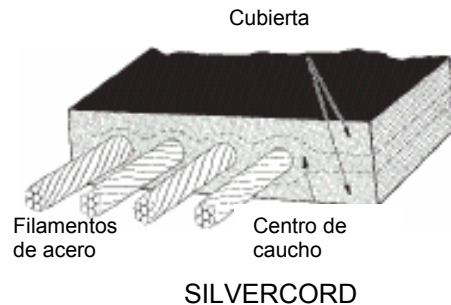


Figura 33. Carcasa con filamentos de acero. Bandas ST

Con esta banda la fuerza es transmitida por medio de los filamentos de acero de resistencia apropiada. Los filamentos se arreglan transversalmente junto con una capa intermedia de solo caucho. Los elementos transversales sirven para prevenir daños por impactos o cortes longitudinales.

1.8.3. Material

Para refuerzos de tipo textil, malla sólida o acero se usan principalmente los siguientes materiales:

Tabla 2. Materiales de refuerzo para bandas

Símbolo	Materiales de las capas
B	Algodón (Fibra natural)
P	Poliamida (Fibra sintética)
E	Poliéster (Fibra sintética)
EP	Poliéster – Poliamida (Fibra sintética)
D	Aramid (Fibra sintética)
F	Malla de acero (Ferroflex)
ST	Filamentos de acero (banda ST)

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.2

De los tipos de capas textiles, las capas completamente sintéticas han probado ser las mejores a través de los años, por ejemplo, poliéster (E) en mallas (dirección longitudinal) y poliamida (P) en mallas (dirección transversal), la abreviatura de la conformación de esta capa se denomina EP.

Las carcasas de aramid (D) están en desarrollo y son carcasas de alta tensión y baja elongación.

Las bandas de filamentos de acero tienen una elongación baja y son usadas principalmente en instalaciones de arrastre largo.

Tabla 3. Evaluación de las propiedades de materiales de refuerzo para bandas

Características	Abreviatura y evaluación de las capas						
	B	P	E	EP	D	F	ST
Tensión	-	++	++	++	++	++	+++
Adhesión	-	++	++	++	+++	++	+++
Elongación	-	-	++	++	++	+++	+++
Resistencia a la humedad	--	+	++	++	+++	+	++
Resistencia al impacto	-	+	+	+	+	++	+++

-- =mala - = media += buena ++ = muy buena +++= excelente

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.3

1.8.4. Cubiertas

La carcasa se protege contra las influencias externas por medio de las cubiertas, las que normalmente se hacen de caucho o PVC. La cubierta del lado de carga no debe tener más de 3 veces el espesor de la cubierta del lado de las poleas. La relación del espesor de la cubierta es la siguiente: Lado de carga = Lado de las poleas \approx 3:1

1.8.5. Bordes de la banda

Con capas completamente sintéticas y resistentes a la corrosión no es necesario tener bordes protegidos de caucho, es suficiente tener los bordes afilados sellados con calor. Se exceptúan las bandas que requieren características especiales tales como: resistencia a aceites y grasas.

1.8.6. Grados

Los principales grados y propiedades en concordancia con ISO y DIN son:

Tabla 4. Grado de la cubierta

DIN 22102 (Abril 1991)					
Grado de la cubierta		W	X	Y	Z
Esfuerzo de tensión	N/mm ² min.	18	25	20	15
Elongación de rotura	%	400	450	400	350
Pérdida de abrasión	mm ³ max.	90	120	150	250
ISO 1024 (Noviembre 1990)					
Grado de la cubierta		H	D	L	
Esfuerzo de tensión	N/mm ² min.	24	28	15	
Elongación de rotura	%	450	400	350	
Pérdida de abrasión	mm ³ max.	120	100	200	

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.3

1.8.7. Características especiales

Tabla 5. Características especiales de las bandas

Características	Tipo
Resistente al fuego	F
Antiestático	E
Resistente al fuego. Antiestático	S o K
Resistente al calor	T
Resistente a temperaturas bajas	R
Resistente a aceites y grasas	G
Productos alimenticios	A
Productos químicos	C

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.4

1.8.8. Superficie de carga

La superficie del lado de carga depende de la carga, la inclinación de la instalación, o depende del uso de la banda, si es lisa, perfilada, con guías, y con bordes corrugados.



Perfil Herringbone

Perfil Rufftop



Perfil Multiprof

Perfil HIGH-CHEVRON

Figura 34. Tipos de bandas perfiladas

1.8.9. Inclinaciones

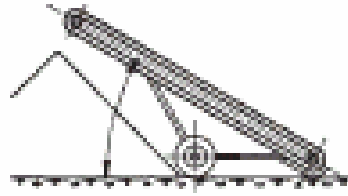
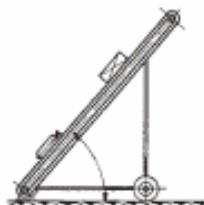


Tabla 6. Inclinaciones máximas para los diferentes tipos de bandas

Superficie de la cubierta	Tipo de banda	Máxima inclinación	Aplicación
Lisa	Normal	18° - 20°	Cargas unitarias y cargas sueltas de todos los tipos
Perfilada	Fishbone Rufftop	Hasta 35°	Cargas unitarias y cargas sueltas
Transportador inclinado perfilado	Transportador inclinado CHEVRON HIGH CHEVRON Multiprof	Hasta 40°	Cargas sueltas (no pegajosas) Cargas unitarias (sacos)
Guías T con o sin bordes corrugados	Bandas con paredes corrugadas, con o sin guías T	Hasta 90°	Cargas sueltas y unitarias.
Con cangilones de acero o caucho	Bandas elevadoras	80° - 90°	Cargas sueltas de todos los tipos

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.5

Tabla 7. Inclinaciones máximas de banda para diferentes materiales



Carga	Ángulo de inclinación para banda con	
	Perfil Rufftop	Perfil Herringbone
Huacales de Madera	40°	30°
Ladrillos	40°	30°
Sacos de papel	35°	30°
Sacos de yute	35°	35°
Cajas plásticas secas	40°	30°
Cajas plásticas húmedas	25°	25°

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.5

1.8.10. Espesor de la cubierta del lado de carga

El espesor de la cubierta del lado de carga depende de la naturaleza de la carga y las condiciones de carga (tipo de carga, inclinación, altura de caída, etc).

Tabla 8. Estimaciones del espesor de la cubierta

Carga transportada	Espesor de la cubierta (mm)	
	Lado de carga	Lado de poleas
Transporte de empaques livianos	2	2
Grava, tierra, potasa, etc.	2 – 4	2 – 3
Minerales, gravilla, carbón	4 – 8	2 – 3
Escoria	4 – 8	2 – 3
Gravilla gruesa, minerales gruesos	8 – 12	3 – 5
Terrones grandes de carbón	8 – 12	3 – 5

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.5

Tabla 9. Calidades de las coberturas Dunlop-Enerka

Calidad Enerka-Dunlop	Calidad		Temperatura (°C)			Material básico	Características Aplicación
	DIN	ISO	min.	duración	Máx.		
RA	Y(N)		-30	80	100	SBR	Resistente a la abrasión, para condiciones normales de servicio, se encuentra transportando carga suelta y materiales agregados.
RE	X(M)	H	-40	80	90	NR	Extra resistencia a la abrasión y resistencia al corte, para condiciones de trabajo pesado (materiales cortantes y condiciones de carga adversas).
RS	W	D	-30	80	90	NR/SBR	Super resistencia a la abrasión, para condiciones de servicio muy pesadas, materiales abrasivos con una alta proporción de finos.
BETA-HETE	T		-20	150	170	SBR	Resistencia al calor, para materiales a temperaturas moderadas.
STAR-HETE	T		-20	180	220	IIR	Muy resistente al calor, para materiales con altas temperaturas controladas.
DELTA-HETE	T		-20	200	400	EPDM	Muy resistente al calor, para condiciones de servicio de trabajo pesado, incluyendo materiales abrasivos a temperaturas hasta 400°C (o más) a veces, ej. Algunos materiales aislados inflamados o con centros incandescentes, tales como cenizas, sinter, coque, etc.
ROS	G		-20	80	120	NBR	Resistente a aceites y grasas, para materiales oleosos basados en aceite mineral.
ROM	G		-30	80	90	SBR/NBR	Resistente a aceites y grasas, para aceites vegetales y grasas animales.
MORS	G		-20	80	90	SBR/NBR	Resistente a aceites y grasas,

							para aceites vegetales y grasas animales, y para condiciones de servicio pesadas de la cubierta.
BV	S/K		-30	80	90	CR/SBR	Resistente al fuego para transporte de materiales inflamables y explosivos, tales como fertilizantes.
BVO	S/G		-20	80	90	CR/NBR	Resistente al fuego y a aceites, para transporte de materiales oleosos (aceites vegetales y grasas animales), ej. fertilizantes, cereales, derivados, etc.

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation

Los valores aplican para las temperaturas de los materiales.

Tabla 10. Materiales básicos

Código	Tipo de caucho
NR	Caucho natural
SBR	Caucho estireno – butadieno
NBR	Caucho nitrilo
IIR	Caucho butilo
EPDM	Caucho etileno – propileno – dieno
CR	Caucho cloropreno

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.6

1.8.11. Descripción de la banda

La banda transportadora se describe de acuerdo a lineamientos estándar internacionales. Además, los tipos y calidades especiales las pueden describir de acuerdo al productor a requerimientos de los clientes.

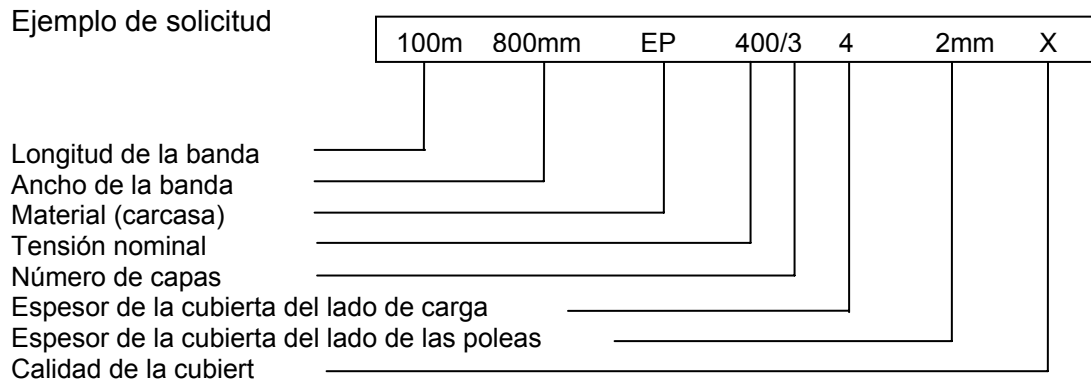


Figura 35. Codificación de una banda

1.8.11.1. Longitud de la banda.

La longitud de la banda generalmente se da en metros, ya sea abierta o sinfín. Longitud abierta es la longitud medida alrededor de las poleas más una porción para hacer el sinfín. Longitud sinfín es la circunferencia interna de la banda sinfín.

1.8.11.2. Esfuerzo de tensión nominal de la carcasa.

Este valor da la resistencia al esfuerzo nominal o de rotura de la carcasa, en N/mm del ancho de la banda. Los valores están estandarizados internacionalmente.

Tabla 11. Valores estándar de esfuerzo de rotura

125	160	200	250	315	400	500
630	800	1000	1250	1600	2000	2500

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.8

1.8.11.3. Número de capas.

El esfuerzo nominal de la carcasa es ejercido por varias capas, la banda monocapa tiene una carcasa con malla sólida.

1.8.11.4. Esfuerzo de tensión nominal de las capas.

El esfuerzo de tensión nominal de todo el espesor de la carcasa es la suma de las resistencias de las capas elevada a la siguiente tensión nominal. El número de capas no está indicado en tipos especiales descritos como DUNLOFLEX, TRIOFLEX o DUNLOPLAST.

Tabla 12. Esfuerzo de tensión nominal de las capas

63	80	100	125	160	200	250	315	400
----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 10.8

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1. LOCALIZACIÓN

La fábrica está ubicada en el municipio de Sogamoso en el Departamento de Boyacá, a 210 Km al Nordeste de Bogotá D.C., ciudad donde cuenta con sus oficinas administrativas y de ventas, ubicadas en la Calle 70 N° 9-36.

2.2. CLASE DE EMPRESA

Empresa manufacturera, la cual cuenta con una automatización del proceso de producción en un 99%. La totalidad del capital es nacional, siendo el mayor accionista el Sindicato Antioqueño. Esta empresa comercializa y distribuye cemento industrial, comercial y sus subproductos en la región central (Boyacá, Casanare, Meta, Santander y Cundinamarca).

2.3. CLASE DE PRODUCTOS

En la actualidad Cementos Paz del Río S.A., produce los siguientes tipos de cemento:

- Cemento Pórtland Tipo I
- Cemento Pórtland Tipo I – modificado
- Cemento Pórtland Tipo III
- Cemento Pórtland Tipo Siderúrgico

2.4. UBICACIÓN DE LAS DIFERENTES ZONAS DENTRO DE LA EMPRESA CEMENTOS PAZ DEL RÍO S.A.

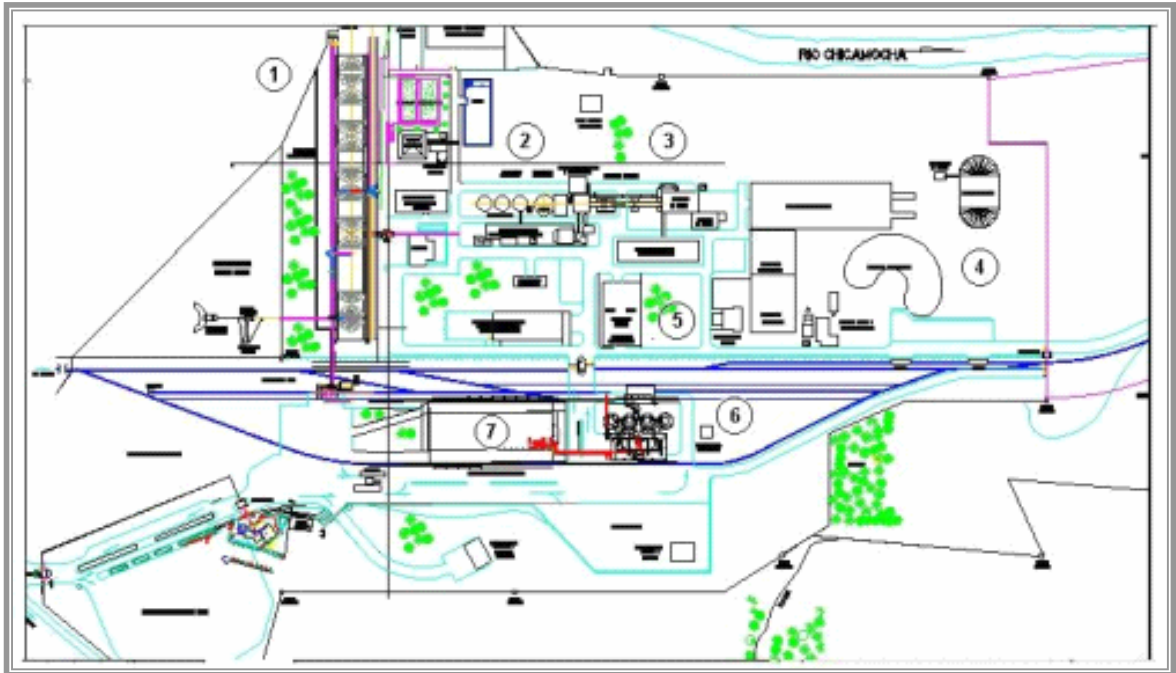


Figura 36. Zonas dentro de la empresa Cementos Paz del Río.

- **Almacenamiento de materia prima (1)**

En esta zona cuenta con el molino de martillos, el apilador, el recuperador automático y las bandas transportadoras.

- **Homogeneización (2)**

Aquí encontramos el molino monocámara, el multiciclón, tres silos de 2.500 ton (con compresor de aire seco cada uno), el aerodeslizador, transportador de cangilones y el silo principal de una capacidad de 4.000 ton.

- **Clinkerización (3)**

Se cuenta con una torre de precalentamiento de 6 etapas, horno rotatorio, molino de carbón y la cámara de enfriamiento.

- **Almacenamiento de escoria y aditivos (4)**

Aquí encontramos un depósito de clinker, un depósito de yeso triturado, un depósito de escoria seca, un secador de escoria, separador de arrabio y un patio de almacenamiento de escoria húmeda (con un apilador giratorio).

- **Fabricación del cemento (5)**

En esta parte del proceso se encuentran bandas transportadoras, dosificadores, dos molinos doble cámara, aerodeslizadores, elevador de cangilones y cuatro silos (los tres primeros almacenan cemento tipo 1 y el último cemento tipo 3).

- **Empacadora (6)**

El proceso de empaque lo realiza una maquina automática ROTOPACK y un sistema automático de bandas para el apilado de los sacos que van a ser transportados.

- **Almacenamiento del producto terminado (7)**

Aquí encontramos la bodega del producto terminado y montacargas encargados de embalar las tracto mulas.

2.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Todas las etapas dentro del proceso de fabricación del cemento se encuentran parcialmente automatizadas y el manejo de algunos equipos se hace con ayuda de computadores ubicados en la sala central, donde se lleva control sobre los mismos y sobre las diferentes etapas de fabricación de cada tipo de cemento, de acuerdo con la programación de la producción. El proceso de producción del Cemento Paz del Río, resulta de la molienda conjunta del clinker y aditivos como las puzolanas volcánicas, escorias granuladas del alto horno y yesos naturales en proporciones definidas y estrictamente controladas.

2.5.1. Explotación

El proceso de producción del Cemento se inicia con la extracción de las margas, principal materia prima. Esto se efectúa en canteras o depósitos naturales, ubicados las minas San Antonio y Las Monjas; de acuerdo a la dureza y cohesión de la caliza, y la localización de la misma, se determina el sistema de explotación a emplear, éstos van desde sencillos taladros hasta complicados sistemas de perforación y voladuras.

2.5.2. Almacenamiento

La planta cuenta con una zona de almacenamiento en la cual la materia prima es depositada dependiendo de su calidad por medio de un sistema apilador automático. La capacidad total de este patio es aproximadamente de 25.000 toneladas.



Figura 37. Sistema automático de apilado

2.5.3. Trituración

Las materias primas para el cemento obtenidas en canteras por voladuras deben pasar por el proceso de trituración, ésta se realiza mediante trituradoras y molinos. De la mina de caliza, el material se transporta a una tolva de alimentación de la trituradora primaria, para seguir luego a una trituradora secundaria. Los trituradores pueden ser martillos de barras batidoras, de mandíbulas o cónicos y entregan un material de tamaño del orden de los veinte milímetros el cual se selecciona por medio de una zaranda para retomar los gruesos a la trituradora.



Figura 38. Trituradora Hazemag

2.5.4. Molienda de Crudo

La mezcla efectuada en los depósitos de materias primas se lleva, generalmente por transporte de bandas a los molinos de crudo que son grandes cilindros giratorios en los cuales por medio de bolas metálicas se continua con la reducción de tamaño de la caliza iniciada en la trituración hasta diámetros bastante pequeños. La molienda también puede efectuarse en una sola etapa empleando molinos verticales en los cuales por medio de grandes rodillos se realiza la reducción de tamaño en una sola operación.

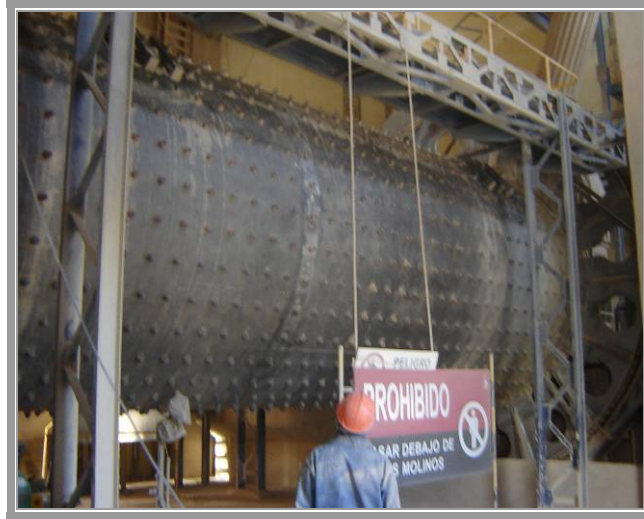


Figura 39. Molino de Crudo

2.5.5. Clinkerización

Este es un proceso de calcinación que se efectúa en hornos rotatorios inclinados; estos hornos son grandes cilindros de acero con diámetros entre los tres y cinco metros y una longitud que en ocasiones puede llegar a ser superior a 150 metros. El horno de Cementos Paz del Río, es de 4,20 metros de diámetro y 60 metros de longitud, en su interior está recubierto con materiales refractarios y aislantes. La pasta o harina se deposita en el extremo superior y se desliza lentamente, pasando por zonas en las cuales aumenta progresivamente la temperatura, la cual oscila entre los 800°C y 1500 °C; estas elevadas temperaturas se logran quemando un combustible que generalmente es carbón, petróleo o gas natural. A la salida del horno, el material es enfriado bruscamente con aire para formar el clinker material esencial del cemento.



Figura 40. Horno Rotatorio

2.5.6. Molienda de Cemento

La molienda del clinker es el proceso final de la fabricación del cemento. Para poder utilizar el cemento con todo su poder aglutinante es necesario que se encuentre en polvo fino, pues solo así puede efectuarse de modo eficiente la hidratación de sus partículas. Esta finura se obtiene en la molienda del clinker con yeso en una proporción del 3% al 6% con el fin de controlar el tiempo de endurecimiento o fraguado del cemento resultante. También se alimenta al molino las llamadas adiciones que básicamente están constituidas por calizas, puzolanas y escorias granuladas del alto horno proveniente de Acerías Paz del Río (APR).



Figura 41. Molino de Cemento

2.5.7. Empaque

Del molino de cemento se traslada el producto a los silos de almacenamiento en donde posteriormente pasa la empacadora automática de 10 boquillas (Rotopack) y finalmente los sacos de cemento empacado son transportados a la paletizadora en donde se arman los “ Palets “. De la paletizadora son transportados a la bodega de almacenamiento de cemento para su distribución final empacado en sacos de cemento de 50, 42.5 o 25 kilos. Este producto es despachado tanto en camiones como en tren. El cemento a granel es transportado por vehículos que enganchan las Pipas que cargan dicho material, cada pipa transporta aproximadamente 35 toneladas de cemento Tipo I o Tipo III.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la mayoría del proceso de trituración primaria esencial para la producción de cemento, se lleva a cabo en la planta de ACERÍAS PAZ DEL RÍO (APR) en la mina Belencito donde se encuentra instalada la trituradora Hazemag, la cual tiene una capacidad nominal de 400 TPH, la otra parte del proceso se realiza en la planta de CEMENTOS PAZ DEL RÍO (CPR) en la trituradora NEYRTEC con una capacidad de 60 TPH. Estas dos trituradoras suministran la totalidad de la caliza triturada necesaria para la producción de clinker, que para este año está calculada en 540.000 Ton.

El problema radica en que al tener instalada la trituradora Marca Hazemag en los predios de Acerías Paz del Río (APR) genera unos gastos adicionales a Cementos Paz del Río (CPR) en conceptos como transporte y consumo de energía, ya que en la actualidad APR es la encargada del transporte de la materia prima triturada por vía férrea hasta la planta de CPR y de suministrar la energía que la trituradora consume; además los costos por mano de obra y mantenimiento también son elevados por tener la trituradora en dicha ubicación.

El objetivo es trasladar por completo el proceso de trituración primaria bien sea a la planta de CPR o a la mina Firavitoba, reubicando la trituradora existente en la mina Belencito, o instalando un equipo nuevo. Al realizar el traslado y sabiendo que la capacidad de la trituradora Hazemag después de sus mejoras y los equipos nuevos debe ser cercana a los 400 a 700 TPH se presenta el inconveniente de que los equipos de transporte de caliza triturada existentes actualmente en el patio de apilado de la planta de CPR se

encuentran trabajando con una capacidad que no supera las 320 TPH, esta capacidad no es la óptima ya que al concluir el proyecto, el proceso de trituración se realizará de forma continua y se necesitará de una capacidad igual o superior a la de la trituradora instalada.



Figura 42. Banda 16112 y apilador a repotenciar



Figura 43. Alimentador de bandejas y de oruga a repotenciar

Según las alternativas de localización para la instalación de los equipos de trituración primaria bien sea en la planta de CPR o en la mina Firavitoba, se necesita diseñar los equipos de transporte de caliza triturada desde la trituradora hasta el sitio que corresponda a cada localización, si el montaje se realiza en la planta, la materia prima triturada se puede llevar hasta la tolva de recibo existente en la actualidad, la cual después la descarga a la banda de apilado 16112 con ayuda de otros equipos como un alimentador de oruga y un

transportador de cadena, o directamente sobre la banda de apilado 16112. Si el montaje se realiza en la mina Firavitoba la caliza se transportaría hasta los silos de almacenamiento para posteriormente ser trasladada a la planta de CPR en camiones. En estos dos casos la capacidad de los equipos de transporte tiene que ser de 700 TPH.

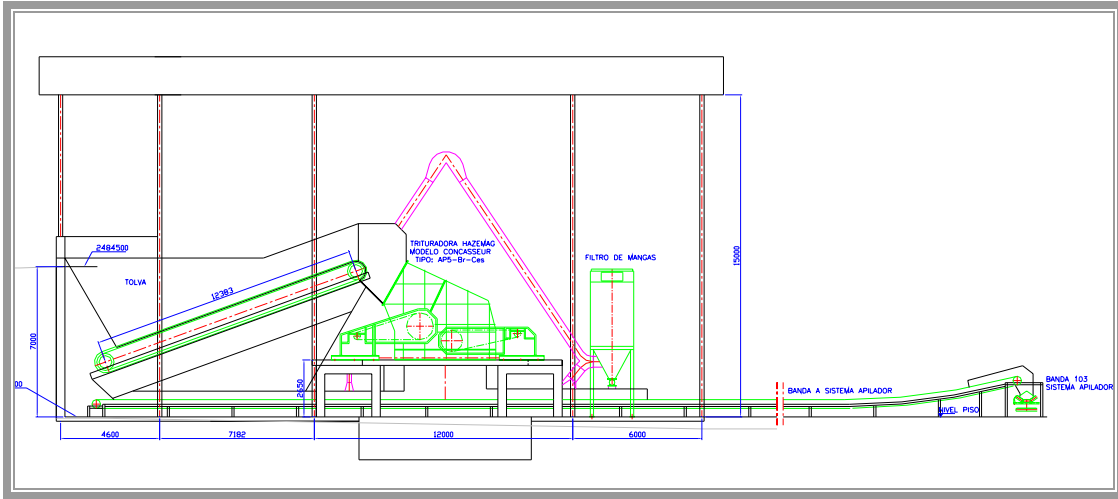


Figura 44. Sistema de transporte de caliza propuesto en planta CPR para trituradora de circuito abierto

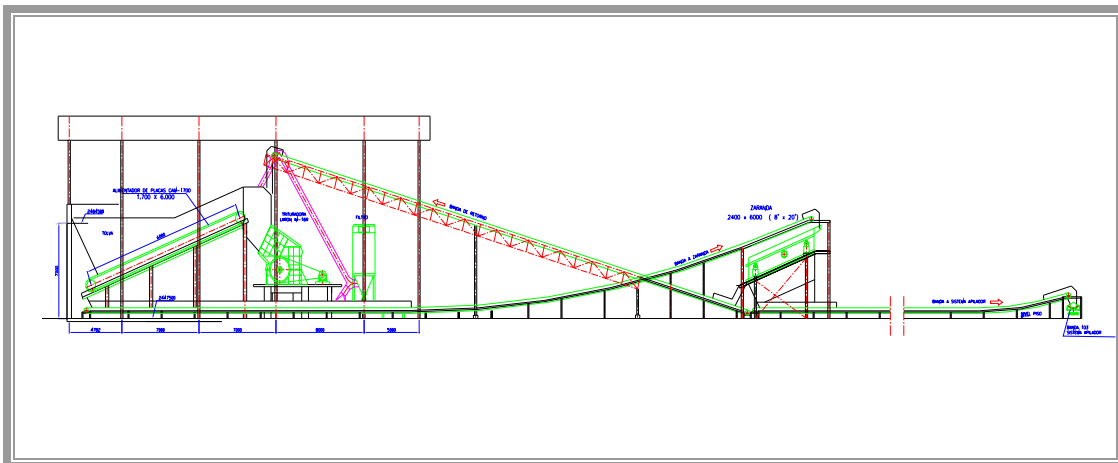


Figura 45. Sistema de transporte de caliza propuesto en planta CPR para trituradora de circuito cerrado

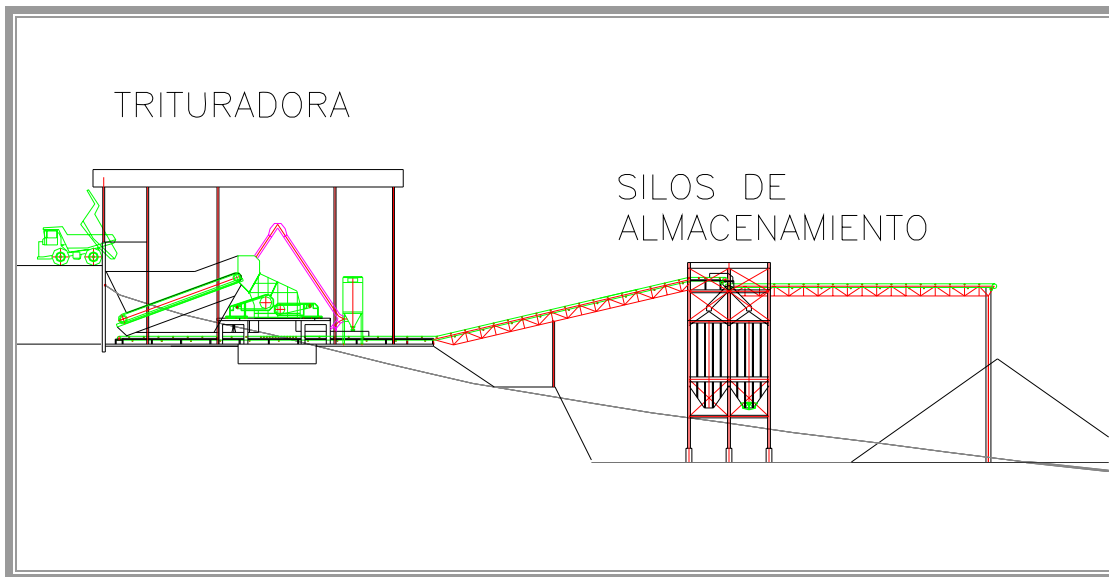


Figura 46. Sistema de transporte de caliza propuesto en mina Firavitoba para trituradora de circuito cerrado

3.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

3.2.1. Objetivo General

- Estrechar los vínculos universidad empresa, ayudando a solucionar problemas en la parte de diseño y teniendo la posibilidad de aplicar los conocimientos adquiridos en situaciones concretas, que pueden beneficiar a la empresa nacional buscando su mayor competitividad.

3.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño para mejorar el transporte de caliza triturada por medio de bandas transportadoras, como parte del proyecto “optimización de trituración primaria” que se está desarrollando en la empresa Cementos Paz del Río (CPR).
- Repotenciación del sistema de transporte de caliza triturada en el patio de apilado de Cementos paz del Río, de acuerdo a la capacidad de los nuevos equipos de trituración a instalar.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En la empresa CPR se desea instalar el proceso de trituración primaria en las instalaciones de la planta o en la mina Firavitoba ya que actualmente la gran parte de este proceso se lleva a cabo en la mina Belencito en predios de APR. Para esto se está trabajando en el proyecto “Optimización de trituración primaria”.

Con este proyecto se quiere eliminar la dependencia que existe con APR ya que ellos son los encargados del transporte de la caliza triturada vía férrea desde la mina Belencito (propiedad de APR) hasta las instalaciones de CPR y de esta forma eliminar el gasto generado por el transporte, reducir los gastos por mano de obra y consumo de energía (que también es suministrada por APR).

Además se desea realizar el proceso de trituración primaria de una forma continua y garantizar el abastecimiento permanente de caliza triturada en la planta. Debido a que la capacidad de transporte aumentará con la recuperación de la trituradora Hazemag o con la instalación de nuevos equipos, es necesario repotenciar los equipos de transporte y apilado para adecuarlos a la nueva capacidad requerida. Con la parte de diseño se pretende solucionar los problemas que se presentan para el transporte óptimo de la materia prima hasta su apilado.

Las opciones de solución para el proyecto de trituración primaria se pueden clasificar en dos, las alternativas de los equipos de trituración a utilizar y la localización de estos equipos.

4.1. EQUIPOS DE TRITURACIÓN

Los equipos a utilizarse como alternativas en este proyecto deben cumplir con los siguientes requisitos:

- La capacidad de trituración de los equipos tienen que ser de 700 TPH.
- La granulometría mínima no debe exceder del 15% de retenido en malla de 25 mm.

A continuación se hace una descripción de los posibles equipos a utilizar en este proyecto.

4.1.1. Trituradora Laron Estacionaria

La capacidad de esta trituradora debe ser del orden de las 700 TPH; con esta trituradora también se debe instalar los siguientes equipos:

- Alimentador metálico de placas articuladas tipo APRON modelo CAM – 2000 con dimensiones de 2000 x 7000 mm marca “LAU” y con una capacidad de 800 TPH a 1100 TPH.
- Trituradora de impacto IM - 16R con capacidad de 250 TPH a 700 TPH.
- Una criba vibrante modelo C – 24.60 2 con dimensiones de bandeja de 2.400 X 6.000 mm.

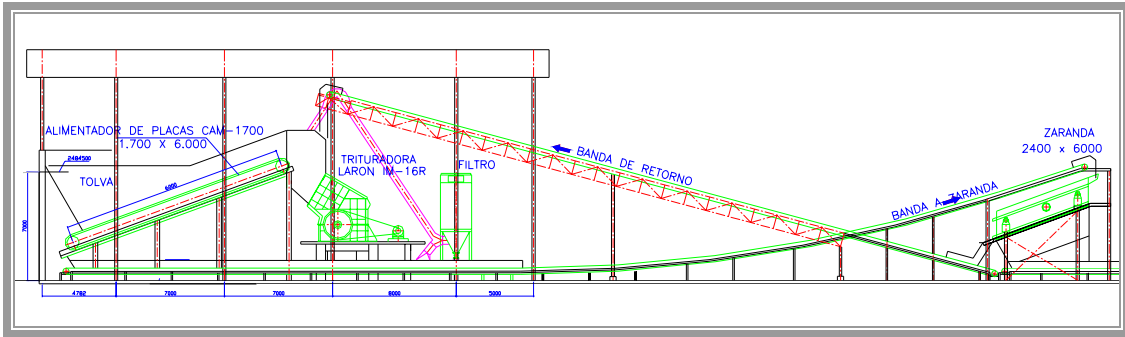


Figura 47. Trituradora Laron estacionaria

4.1.2. Trituradora Hazemag Recuperada

Esta trituradora Modelo CONCASSEUR Hazemag Tipo: AP5-Br-C, es la existente hoy en día y que esta operando en la mina Belencito. Este equipo se recuperaría (solamente la trituradora) y se pondría a punto para su ubicación en el sitio de mayor conveniencia.

La trituradora Hazemag tiene en la actualidad una capacidad de 400 TPH a 420 TPH, pero se espera que al realizar la recuperación y con la instalación de los equipos auxiliares, se aumente su capacidad a 700 TPH. Esta trituradora trabaja con circuito abierto de trituración.

Con esta trituradora se debe instalar los siguientes equipos nuevos:

- Un alimentador de bandejas tipo PBRK 20 / 178-D7G de 400 TPH a 800 TPH de capacidad y una distancia entre centros de 17,800 mm.
- Los filtros de polvo necesarios que serán fabricados por una empresa local al igual que la tolva de recibo de la materia prima.

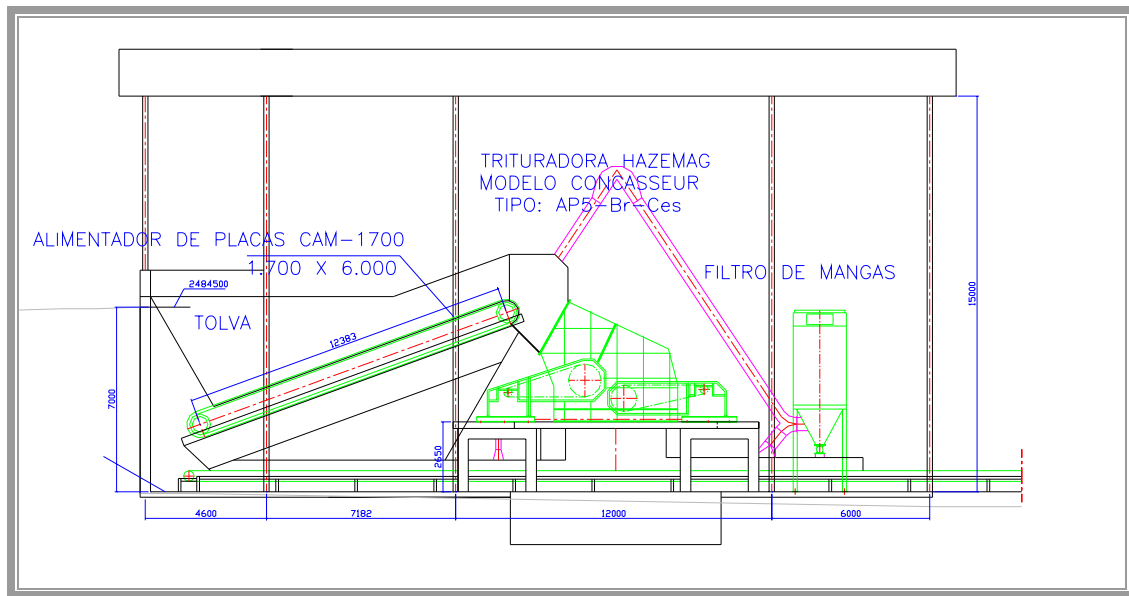


Figura 48. Trituradora Hazemag

4.2. LOCALIZACIÓN DE LOS EQUIPOS

A continuación se presenta una descripción de las posibles opciones de localización de cada uno de los equipos de trituración con sus respectivas ventajas y desventajas de su ubicación.

4.2.1. Localización Mina Firavitoba

Esta mina se encuentra localizada en el noreste de la cabecera municipal de Firavitoba, en las veredas Irboa, Las Monjas y Diravita Llano, distante alrededor de 9 kilómetros de la capital provincial de Sogamoso y aproximadamente 15 kilómetros de la planta de CPR. El área total de predios propiedad de CPR es de aproximadamente 4'135.771.67 m², de los cuales sólo el 28,63% (1'184.152,766 m²) se destinarán a la producción de minerales.

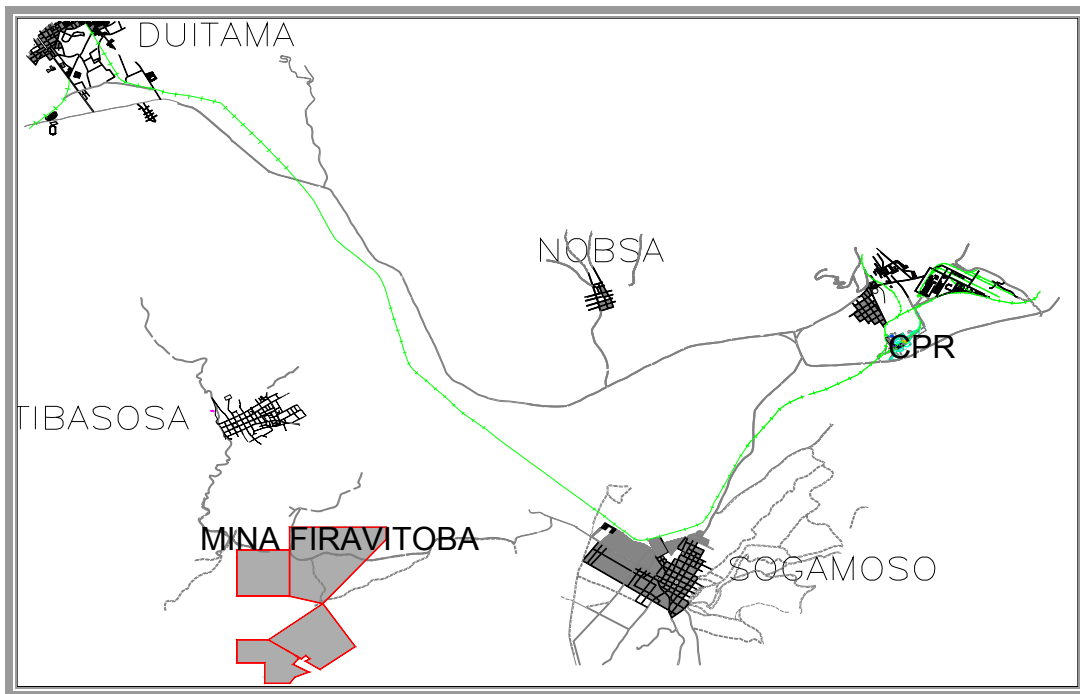


Figura 49. Localización mina Firavitoba

Ventajas:

- La trituración se realizaría directamente en la mina y los impactos ambientales se minimizarían debido a que no se encuentra población urbana en las cercanías.
- Habrá mayor maniobrabilidad en el proceso, lo cual permitirá realizar un control más exhaustivo en la calidad de la caliza triturada y de esta forma disminuir la variabilidad.
- Se reduce o elimina el patio de acopio de la caliza sin triturar.
- Se transporta material triturado desde la mina hasta la planta lo cual disminuye los costos de transporte.
- El futuro de la explotación minera, en esta localización representa el 95% del total de la caliza para la producción de cemento en los próximos 80 años.

Desventajas:

- Solo se tritura la caliza de esta mina sin tener en cuenta las calizas provenientes de las demás minas de propiedad de CPR.
- No existe infraestructura eléctrica en esta localización y la infraestructura civil es escasa.
- Se tienen problemas con la adquisición de predios de vital importancia para el desarrollo del proyecto en esta localización.
- Se deben realizar adecuaciones como ampliaciones de puentes, pavimentación y ampliación de las vías veredales que conducen a la mina.

4.2.2. Localización en patio Neyrtec

Este patio se encuentra localizado en la planta de CPR, junto al patio de apilado y al patio de yeso. En este patio se encuentra actualmente instalada la trituradora Neyrtec, la cual será desmontada para la instalación del nuevo equipo de trituración primaria.

Este lugar fue elegido para el montaje de la trituradora de materia prima en la planta porque:

- Es el más conveniente debido a su localización estratégica que hace más fácil el transporte del material triturado hasta el patio de prehomogeneización y posteriormente hasta el área de molienda primaria.
- La infraestructura existente en este patio facilita la instalación del equipo de trituración primaria.
- La cercanía con el patio de yeso es una ventaja ya que este se utilizara como patio de recibo y prehomogeneización de la caliza proveniente de las

diferentes minas, disminuyéndose considerablemente las distancias de transporte de la materia prima desde el patio de prehomogeneización hasta la trituradora, además las pendientes a vencer por los vehículos en esta localización son mucho menores comparadas con las que se encuentran en las minas, esto conlleva a un menor desgaste de los vehículos y por consiguiente a un menor costo de mantenimiento.

- Otra ventaja importante de la instalación de la trituradora primaria en esta localización es que la totalidad de la caliza triturada será pesada al ingresar a la planta y con esto se llevara un mejor registro y control de la cantidad de materia prima triturada.

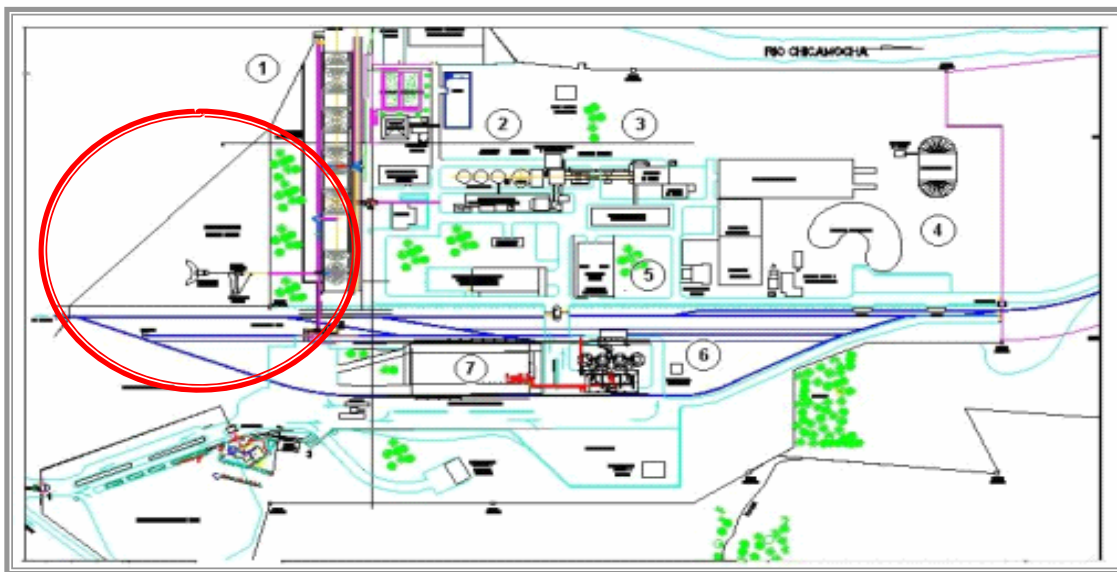


Figura 50. Localización Patio Neyrtec en Planta CPR

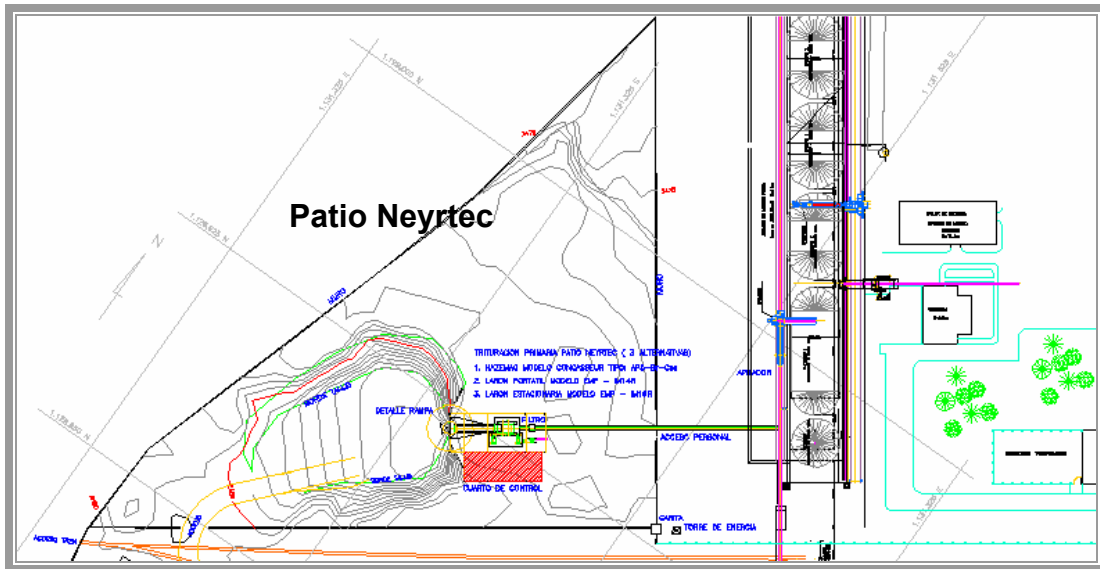


Figura 51. Patio Neyrtec Planta CPR

Ventajas:

- Se Puede triturar la caliza proveniente de las diferentes minas de propiedad de CPR.
- Se cuenta con gran parte de la infraestructura civil y eléctrica para el montaje del sistema de trituración en esta localización.

Desventajas:

- Debido a la poca maniobrabilidad, se presenta alta variabilidad en la caliza triturada, lo que provoca dificultad en el control de calidad del cemento.
- Es estrictamente necesario el montaje de un patio de acopio y prehomogeneización de caliza sin triturar, lo que genera sobre costos.
- Las vías de acceso a la planta de trituración se cruzan con la vía férrea, lo cual podría causar retrasos en la producción de triturado o accidentes.

- La logística del transporte en roca es más complicada y puede generar sobre costos comparado con el transporte y manejo de material ya triturado.
- Debido a la presencia de población urbana próxima a esta ubicación, se necesita instalar un edificio con protección acústica para mitigar el ruido producido en el proceso de trituración.
- El costo de la producción de triturado para el mantenimiento de las vías internas de la mina se incrementa debido a que hay que transportar el triturado desde la planta hasta la mina.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN DE UBICACIÓN

Después de estudiar las diferentes alternativas con sus diferentes ventajas y desventajas se llegó a la conclusión que la mejor localización es en la mina Las Monjas debido a que es la que presenta mayores ventajas tanto estratégicas como económicas para la empresa y el mejor equipo es la trituradora Hazemag mejorada.

Ya conociendo esta ubicación y el equipo a utilizar, se debe escoger la configuración que mejor se acople a las condiciones de operación tanto de la trituradora como de la mina, para esto se plantean las siguientes opciones:

4.3.1. Banda transportadora y tripper de apilado

Con este equipo se podría realizar un mejor manejo en las calidades de la caliza triturada y de esta forma controlar la variabilidad de porcentajes de óxido de calcio y sílice esenciales en la producción de cemento. Para realizar estos controles sería necesario un vehículo pesado (Cargador con capacidad no menor de 12 Ton) para realizar el cargue de los camiones que se encargarían del transporte de la caliza hacia la planta.

4.3.2. Banda transportadora y silos

Con este equipo no se necesitaría del cargador ya que los camiones se cargarían directamente de los silos; esta alternativa presenta el inconveniente que si se llega a presentar la eventualidad que el flujo de camiones transportadores no es el suficiente, se podría llenar los silos y esto implicaría la suspensión de la trituración, por lo tanto, se debe disponer de un patio auxiliar para almacenar la caliza triturada en el momento que se presente este incidente.

Considerando los inconvenientes ambientales y los costos del cargador que presenta la opción de instalar una banda transportadora con tripper, se decidió instalar la banda transportadora con silos de almacenamiento.

5. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DE LAS BANDAS

Estos cálculos están basados en el manual “Técnicas para el diseño y cálculo de transportadores de bandas” (Conveyor belt technique desing and calculation) de FENNER DUNLOP y de las normas CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association), las cual establece criterios claros y específicos del manejo de materiales por medio de bandas transportadoras.

5.1. CÁLCULOS PARA LA REPOTENCIACIÓN DE LA BANDA DE APILADO EN LA PLANTA CPR

5.1.1. Equipos con los que actualmente funciona la banda de apilado

La banda de apilado cuenta con los siguientes equipos y especificaciones actualmente que trabajan a una capacidad de 320 TPH:

- Rodillos:
 - Angulo de rodillos de carga: 30°
 - Diámetro rodillos de carga: 113 mm
 - Longitud rodillos de carga: 295 mm
 - Diámetro rodillos de impacto: 113 mm
 - Longitud rodillos de impacto: 295 mm
 - Diámetro rodillos de retorno: 113 mm
 - Longitud rodillos de retorno: 945 mm
 - Espaciamiento rodillos de carga: 1200 mm
 - Espaciamiento rodillos de impacto: 300 mm
 - Espaciamiento rodillos de retorno: 2400 mm

- Tambores:
 - Diámetro del tambor de cabeza: 630 mm
 - Diámetro tambor de cola: 500 mm
 - Diámetro tambor tensor: 520 mm

- Peso tensor:
 - Peso: 1600 Kg

- Banda:
 - Ancho de banda: 800 mm
 - Cantidad: 600 m
 - Velocidad: 1.3 m/seg
 - Tamaño: 800*5.0*1.5 mm

- Reductor:
 - Relación: (1 / 31.5)
 - Potencia mecánica nominal: 65 Kw
 - Velocidad de entrada 1800 R.P.M
 - Factor de servicio: 1.75
 - No reducciones (engranajes): 3

- Motor:
 - Potencia: 37 KW
 - Frecuencia: 60 Hz
 - Voltaje: 460 Volt.
 - Velocidad: 1780 R.P.M

5.1.2. Datos para la repotenciación de la banda de apilado

- Material a transportar: Caliza triturada
- Granulometría del material: 25 mm en la diagonal.
- Densidad p: 1,4 t/m³

- Angulo de sobrecarga β_{Dyn} : 15°
- Máxima inclinación de la banda: 14.5° a 15.5°
- Longitud de la banda: 275.2 mm.
- Capacidad: 700 Ton/hora.
- Ancho de banda: 800 mm
- Tipo de canal: 3 rodillos.
- Angulo de rodillos de carga: 30°

5.1.3. Velocidad de la banda

Con los datos conocidos y con ayuda de las ecuaciones planteadas a continuación, se halla la velocidad del transportador y se comprueba si se encuentra en el rango permitido de la velocidad para el material transportado.

Primero se debe hallar el área de la sección transversal de flujo de carga con ayuda de la grafica 52 y de las siguientes ecuaciones:

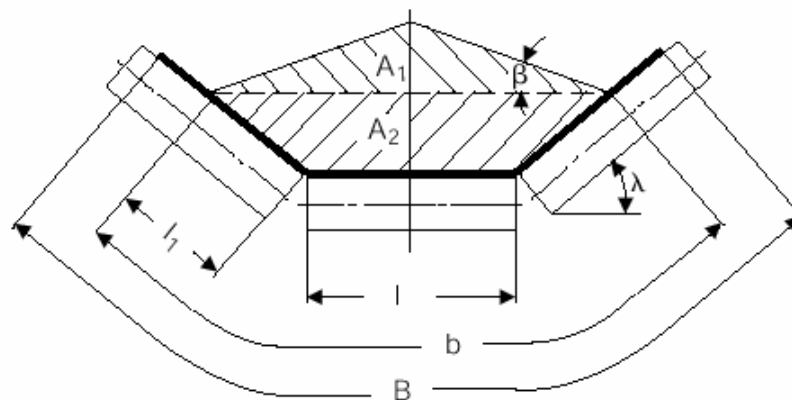


Figura 52. Área de la sección transversal del flujo de carga

$$A = A_1 * A_2 \quad (m^2)$$

$$A_1 = 0.25 * \tan(\beta) * [l + (b - l) * \cos(\lambda)]^2 \quad (m^2)$$

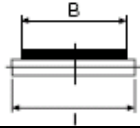
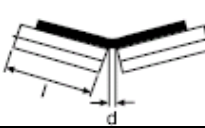

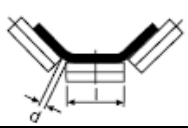
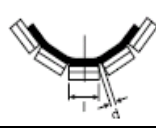
$$A_2 = l_1 * \sin(\lambda) * [l + l_1 * \cos(\lambda)] \quad (m^2)$$

Donde:

l = Longitud del rodillo de carga central (se toma de la tabla 13) (m)

Para este caso $l = 315$ mm o 0.315 m.

Tabla 13. Tabla de longitudes estándar de rodillos (L en mm)

Ancho de Banda (mm)	Tipo de canal				
	Planas	2 rodillos	3 rodillos	Canal profundo	colgante
					
300	380	200	-	-	-
400	500	250	160	-	-
500	600	315	200	-	-
600	700	340	250	-	-
650	750	380	250	-	-
800	950	465	315	200	165
1000	1150	600	380	250	205
1200	1400	700	465	315	250
1400	1600	800	530	380	290
1600	1800	900	600	465	340

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.3

l_1 = Ancho de la carga sobre los otros rodillos (m)

$$l_1 = 0.5 * (b - l) \quad (m)$$

Se tiene:

$$l_1 = 0.1775 \quad (m)$$

b = Ancho de banda utilizable (m)

$$b = 0.9 * B - 0.05$$

$$b = 0.67 \quad m$$

Para bandas $B \leq 2000$ mm

Después de remplazar los datos conocidos y los datos hallados, en las ecuaciones de las áreas se tienen los siguientes resultados:

$$A_1 = 0.0260$$

$$A_2 = 0.0416$$

$$A = 0.0676$$

Conociendo este valor se puede despejar la velocidad lineal de la banda de la ecuación de capacidad de carga y del volumen del flujo carga:

$$Q_V = A * v * 3600 * \varphi \quad (\text{m}^3 / \text{h}) \quad (\text{Volumen de flujo de carga})$$

El valor del volumen efectivo o nominal de flujo de carga es determinado por el grado efectivo de relleno (φ). Este tiene en cuenta las condiciones de trabajo y el grado de inclinación de la instalación.

$$\varphi = \varphi_1 * \varphi_2$$

Donde:

φ_1 es el grado de relleno el cual es dependiente de las características de la carga, por ejemplo el tamaño de los terrones, el ángulo de sobrecarga y las condiciones de trabajo.

$$\varphi_1 = 1 \quad \text{Para condiciones normales de trabajo.}$$

$$\varphi_1 = 0.8 - 0.95 \quad \text{Para condiciones adversas.}$$

φ_2 es el factor de corrección, este toma en consideración la reducción en parte del área de la sección transversal A1 como resultado de la inclinación de la carga, los valores para φ_2 se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 14. Valores de ϕ_2 para bandas planas y lisas

GRADIENTE	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°
ϕ_2	1.0	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.85	0.81	0.76

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.6

Tabla 15. Valores de ϕ_2 para bandas inclinadas

ANGULO DE INCLINACIÓN	15°	20°	25°	30°	35°	40°
MATERIAL ESFÉRICO GRUESO	0.89	0.81	0.70	0.56	-	-
MATERIAL PEGAJOSO	1.00	0.93	0.85	0.68	0.58	0.47

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.6

Para este caso:

$$\phi_1 = 0.9$$

$$\phi_2 = 0.93$$

Para el flujo de carga Q_m (t/h) se tiene:

$$Q_m = Q_v * \rho \quad (\text{t/h}) \quad \text{para valor teórico}$$

$$Q_m = Q_v * \rho * \phi \quad (\text{t/h}) \quad \text{para valor efectivo}$$

Conociendo el valor efectivo de flujo de carga y reemplazando la ecuación del volumen del flujo de carga en la expresión anterior se puede despejar la velocidad de la banda así:

$$Q_m = A * v * 3600 * \rho * \phi^2 \quad (\text{t/h})$$

$$v = \frac{Q_m}{A * 3600 * \rho * \phi^2} \quad (\text{m/s})$$

Reemplazando se tiene: $v = 2,934$ (m/s)

valor que al comparar con los valores permitidos de velocidad para este tipo de material (tabla 16) sobrepasa los límites

Tabla 16. Valores recomendados de velocidad de banda en (m/s)

Servicio	v (m/s)
Unidades de carga, líneas de ensamble	≤ 1.68
Transportadores móviles	0.5 – 1.68
Cargas muy polvorientas como harina o cemento	≤ 1.31
Cenizas y residuos	≤ 1.68
Granos, caliza triturada, Gravilla y arena mezcladas	1.05 – 2.09
Minerales, carbón bituminoso, almacenamiento en barcos de sinter, estaciones de poder	1.31 – 3.35
Transportadores de largas distancias, carbón en sobrecarga	2.62 – 6.60
Bandas de descargue	≥ 8.40
Bandas perfiladas	0.84 – 2.62

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.1

Por lo tanto se debe escoger un ancho de banda mayor y volver a realizar los cálculos.

Según la tabla de anchos de bandas estándar (tabla 17) el siguiente tamaño para la banda es de 1.000 mm pero por parámetros de Cementos Paz del Río se escoge una banda de 1.200 mm ya que los tamaños de ancho de banda utilizados en la planta son respectivamente 400, 650, 800, 1200 y 1600 mm.

Tabla 17. Anchos de banda estándar

300 1200	400 1400	500 1600	600 1800	800 2000	1000 2200
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.2

En este caso:

$$l = 465 \text{ mm o } 0.465 \text{ m.}$$

$$l_1 = 0.2825 \text{ (m).}$$

$$b = 1.03 \text{ (m).}$$

$$A_1 = 0.0610$$

$$A_2 = 0.1002$$

$$A = 0.1612$$

Con estos nuevos valores y manteniendo los demás constantes, se despeja nuevamente la velocidad:

$$v = \frac{Q_m}{A * 3600 * \rho * \varphi^2} \text{ (m/s)}$$

$$v = 1.23 \text{ (m/s)}$$

Este valor sí se encuentra entre el rango permitido de velocidades para este tipo de material, y según la tabla de velocidades estándar para bandas (tabla 18), la velocidad que más se aproxima a la hallada es de 1.31 m/s que es la velocidad que se utilizará para realizar los cálculos posteriores.

Tabla 18. Velocidades estándar para bandas

0.42	0.52	0.66	0.84	1.05	1.31	1.68
2.09	2.62	3.35	4.19	5.20	6.60	8.40

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.1

Teniendo esta velocidad, se recalcula la nueva capacidad máxima del transportador.

$$Q_m = A * v * 3600 * \rho * \psi^2$$

$$Q_m = 0.1612 * 1.31 * 3600 * 1.4 * 0.837^2 = 745.8(t / h)$$

5.1.4. Espaciamiento de los rodillos de impacto, carga y retorno

Esta distancia depende de la tensión de la banda y su deflexión entre los rodillos. Para empezar se recomiendan unas distancias de separación según la instalación, estos valores pueden ser corregidos al hallar la tensión de la banda y su deflexión.

El espacio entre los rodillos tiene que ser seleccionado de una manera tal que la deflexión de la banda cargada no sobrepase de 0.5% a 1.5% la distancia entre centros de los rodillos de carga; en los de retorno se puede permitir una deflexión 2% a 3% de la longitud entre centros.

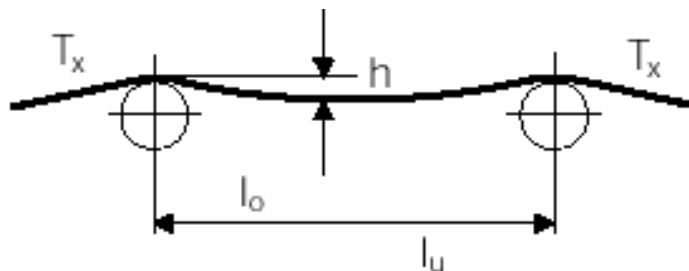


Figura 53. Distancia entre rodillos de carga

Valores recomendados para el espaciamiento entre rodillos:

- Lado carga:
 - $l_0 = 0.5$ a 1.0 m. Para pequeñas instalaciones o de alto impacto.
 - $l_0 = 1.2$ m. Para instalaciones normales.
 - $l_0 = 1.4$ a 4 m. Para instalaciones de alta tensión de banda.

- Lado retorno:

$$l_u = (2 - 3) * l_0$$

Máximo espaciamiento aproximado es de 6 m.

- Para el diseño se toma:

$$l_0 = 1.2 \text{ m.}$$

$$l_u = 2 * l_0 = 2.4 \text{ m.}$$

- Rodillos de impacto:

Estos se encuentran localizados debajo del punto de carga de la banda, protegiéndola de daños causados por el impacto del material al caer sobre ella. Son rodillos de caucho moldeado que absorbe los impactos del material cuando cae sobre la banda. El espaciamiento recomendado de los rodillos de impacto es aproximadamente la mitad de la distancia de espaciamiento de los rodillos de carga. Esto asegura la protección máxima de la banda y reduce las fugas de material por los cepillos en el punto de carga.

$$l_i = \frac{l_o}{2} \quad (m)$$

$$l_i = \frac{1.2}{2} = 0.6 \quad (m)$$

5.1.5. Revoluciones de los rodillos

Para realizar este cálculo se escoge un diámetro de la tabla de diámetros estándar (tabla 19), para nuestra instalación se toman rodillos de 133 mm que es el diámetro estándar que se utiliza en la planta de CPR, y su velocidad de rotación está dada por:

Tabla 19. Diámetros estándar de rodillos

IDLERS DE CARGA	51	63.5	88.9	108	133	159	193.7	219
IDLERS DE IMPACTO				156	180	215	250	290
DISCOS DE SOPORTE		120	138	150	180	215	250	290

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.3

$$n_R = \frac{60 * v}{\pi * D_R}$$

Donde:

D_R = diámetro del rodillo (m)

V = Velocidad de la banda (m/s)

$$n_R = \frac{60 * 1.31}{\pi * 0.133} = 188.11 \quad r.p.m$$

Para los rodillos de impacto se escoge un diámetro de rodillo de 156 mm por lo que tenemos:

$$n_R = \frac{60 * 1.31}{\pi * 0.156} = 160.34 \quad r.p.m$$

Como regla la velocidad de rotación de los rodillos no debe sobrepasar las 650 r.p.m., por consiguiente el diámetro de estos rodillos está dentro de los límites.

5.1.6. Requerimientos de potencia

Con la ayuda de las ecuaciones que se presentan a continuación se puede calcular los requerimientos de potencia.

5.1.6.1. Potencia para el transportador en vacío o con carga horizontal.

$$P_1 = \frac{C_B * v + Q_m}{C_L * K_f} \quad (KW)$$

Donde:

- Q_m = Capacidad del transportador (t/h)
- V = Velocidad del transportador (m/s)
- C_B = Factor de ancho de banda (ver tabla) (Kg/m)
- C_L = Factor de longitud (Ver tabla) (m⁻¹)
- K_f = Factor de servicio (-)

Para nuestro cálculo se tienen los siguientes datos:

- Q_m = 745.8 t/h
- V = 1.31 m/s

De la tabla 20 y con una condición de trabajo media, una densidad del material transportado entre 1 y 2 t/m³ y un ancho de banda de 1200 mm se tiene: C_B = 277

Tabla 20. Factor de ancho de banda C_B

Servicio	Densidad del material ρ (t/m ³)	Ancho de Banda B (mm)											
		300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Ligero	Debajo de 1.0	31	54	67	81	108	133	194	227	291			
Medio	Entre 1.0 y 2.0	36	59	76	92	126	187	277	320	468	554	691	745
Pesado	Sobre 2.0	65	86	103	144	241	360	414	644	727	957	1033	

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.7

Con la longitud del transportador $L = 275.2$ (m) y los valores de C_L obtenidos de la tabla 21, interpolando entre los valores más cercanos se halla el factor de longitud: $C_L = 50$.

Tabla 21. Factor de longitud C_L

L (m)	3	4	5	6	8	10	12.5	16	20
C_L	667	625	555	526	454	417	370	323	286
L (m)	25	32	40	50	63	80	90	100	150
C_L	250	222	192	167	145	119	109	103	77
L (m)	200	250	300	350	400	450	500	550	600
C_L	63	53	47	41	37	33	31	28	26
L (m)	700	800	900	1000	1500	2000			
C_L	23	20	18	17	12	9			

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.8

De la tabla de Factor de condiciones de trabajo (tabla 22) y contando con una condición de ambiente polvoriento posibles sobrecargas se tiene: $K_f = 0.87$

Tabla 22. Factor de condición de trabajo k_f

Condiciones de trabajo	k_f
Favorable, buena alineación, baja velocidad	1.17
Normal (condiciones estándar)	1
Desfavorables, polvoriento, baja temperatura, sobrecargas, alta velocidad	0.87 – 0.74
Temperatura extremadamente baja	0.57

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.8

Con estos datos se halla la Potencia para el transportador en vacío o con carga sobre la horizontal (P_1):

$$P_1 = \frac{277 * 1.31 + 745.8}{50 * 0.87} = 19.29 \quad Kw$$

5.1.6.2. Potencia para elevación de la carga.

$$P_2 = \frac{H * Q_m}{367} \quad (Kw)$$

Donde:

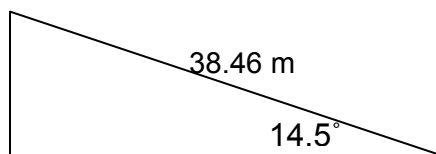
H = Elevación del transportador. H = Seno de δ * L. (m)

δ = Angulo de inclinación ($^{\circ}$)

L = Longitud de transporte en el plano inclinado (m)

En nuestro transportador existen dos elevaciones de carga con gradientes diferentes, uno a la salida del túnel y el otro el ascenso al apilador, por lo tanto hallaremos por separado la potencia requerida por estos dos desniveles y luego los sumaremos para hallar la P_2 total.

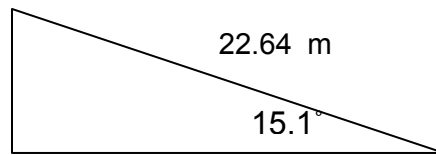
- P_{21} Potencia de elevación para la salida del túnel:



$$H_1 = \text{seno}(14.5) * 38.23 = 9.6 \text{ (m)}$$

$$P_{21} = \frac{9.6 * 745.8}{367} = 19.5 \quad Kw$$

- P_{22} Potencia de elevación para el ascenso al apilador:



$$H_2 = \text{seno}(15.1) * 22.64 = 5.9 \text{ (m)}$$

$$P_{22} = \frac{5.9 * 745.8}{367} = 11.98 \text{ Kw}$$

Entonces se tiene que:

$$P_2 = P_{12} + P_{22}$$

$$P_2 = 19.29 + 11.98 = 31.49 \text{ Kw}$$

5.1.6.3. Potencia en la polea conductora.

$$P_T = P_1 + P_2 \text{ (Kw)}$$

$$P_T = 19.29 + 31.49 = 50.78 \text{ (Kw)}$$

5.1.6.4. Potencia requerida por el motor.

$$P_M = \frac{P_T}{\eta}$$

Donde:

η = Eficiencia de la transmisión (-)

η = 0.9 Para transmisiones de engranajes

$$P_M = \frac{50.78}{0.9} = 56.43 \text{ (Kw)}$$

De la tabla de motores estándar (tabla 23) se escoge el motor que se adapte a nuestras necesidades de potencia, entonces:

$$P_N = 75 \text{ (Kw)}$$

Tabla 23. Motores estándar

1.5	2.2	3	4	5.5	7.5	11
15	18.5	22	30	37	45	55
75	90	110	132	160	200	250
315	400	500	630			

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.7

5.1.7. Tipo de banda

El tipo de banda se determina hallando el esfuerzo de rotura de la banda y con la ayuda de la tabla de peso y espesores de banda (anexo 4), donde con el valor del esfuerzo de rotura se escoge el tipo de banda que se ajuste a las necesidades específicas que se tienen. Mediante la ecuación que se presenta a continuación se calcula el esfuerzo de rotura de la banda y aplica para instalaciones con una sola polea conductora de cabeza.

$$k = \frac{C_R}{C_V} * \frac{P_T}{v}$$

Donde:

C_R = Factor de fricción

C_V = Factor de junta de bandas

El factor de fricción (C_R) se halla conociendo el tipo de superficie de la polea conductora y el ancho de la banda, los valores de este factor se encuentran tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 24. Factor de fricción C_R

Superficie de la polea conductora	Factor de fricción μ	Ancho de banda B (mm)											
		300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Descubierto, húmedo.	0.15	98	74	59	45	37	30	25	21	18	16	15	14
Revestido de caucho, húmedo y sucio.	0.25	69	52	41	32	26	21	17	15	13	12	10	9
	0.30	62	46	37	28	23	18	15	13	12	10	9	8
Descubierto, seco, Revestido, húmedo.	0.35	57	43	34	26	21	17	14	12	11	9	8	8
Revestido con caucho, seco.	0.4	53	40	32	25	20	16	13	11	10	9	8	7

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.9

El valor de junta de bandas (C_V) se toma de la tabla 25, suponiendo una banda de 4 capas de la referencia SUPERFORT.

Con estos dos datos se calcula el esfuerzo de rotura:

$$k = \frac{15}{0.75} * \frac{50.78}{1.31} = 775.40 \quad (N/mm)$$

Tabla 25. Factor de juntas C_v

Tipo de banda DUNLOP	Tipo de unión, clase de cubierta	Factor C _v
DUNLOFLEX	2 cubiertas traslapadas 100 %	1.0
	1 cubierta traslapada 50 %	0.5
TRIOFLEX	3 cubiertas traslapadas 100 %	1.0
	2 cubiertas traslapadas 67 %	0.67
SUPERFORT	Numero de capas 1	0.7
	2	0.5
	3	0.67
	4	0.75
	5	0.8
	6	0.83
FERROFLEX	Junta tipo Zig-Zag	0.90
DUNLOPLAST	Junta tipo dedo	0.90
Bandas con alambres metálicos	Tipo1 y 2 pasos	1.0
	3 pasos	0.95
	4 pasos	0.9

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.9

Con el valor del esfuerzo de rotura y la tabla de peso y espesores de bandas (anexo 4) se selecciona la banda a utilizar. Por recomendación el esfuerzo de rotura para la banda seleccionada se tiene que aproximar a un valor estándar por arriba del valor hallado, para nuestro caso el valor estándar es de 800 N/mm.

Banda: EP 800/4 4+2 mm capas.

Peso de banda $m''_G = 12.7 \text{ Kg/m}^2$

Espesor de la carcasa = 5.2 mm.

5.1.8. Fuerza Periférica

El transportador por sus condiciones de trabajo y su configuración topográfica, se divide en dos secciones para facilitar los cálculos de las tensiones principales de la banda.

La primera sección va desde el punto de cargue o tambor de cola, saliendo del túnel hasta la mitad de la longitud del transportador con las siguientes características:

L_1	=	137.6 (m)	Longitud del transportador.
H_1	=	9.6 (m)	Elevación del transportador.
δ	=	14.5°	Angulo de elevación.

La segunda sección va desde el punto medio del transportador hasta la polea conductora incluyendo el apilador con las siguientes características:

L_2	=	137.6 (m)	Longitud del transportador.
H_2	=	5.9 (m)	Elevación del transportador.
δ	=	15.1°	Angulo de elevación.

La suma de las todas las resistencias al movimiento es igual a la fuerza periférica F_U en la polea conductora. Para instalaciones con un solo punto de carga es regla la siguiente sumatoria de resistencias:

$$F_U = C * f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H * g * m'_L \quad (N)$$

Donde:

C	=	Factor de longitud (-)
f	=	Factor de fricción artificial (-)
L	=	Longitud del transportador (m)
g	=	Aceleración debido a la gravedad (m/s^2)
m'_R	=	Masa de los rodillos de carga y de retorno (Kg/m)
m'_G	=	Masa de la banda (Kg/m)
m'_L	=	Masa de la carga (Kg/m)
δ	=	Gradiente de la instalación (°)
H	=	Altura del transportador (m)

Como el transportador esta dividido en dos secciones la fuerza periférica total esta dada por:

$$F_U = F_{U1} + F_{U2}$$

Donde:

$$- F_{U1} = C_1 * f * L_1 * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H_1 * g * m'_L \quad (N)$$

Es la fuerza periférica en el primer sector.

$$- F_{U2} = C_2 * f * L_2 * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H_2 * g * m'_L \quad (N)$$

Es la fuerza periférica en el segundo sector.

5.1.8.1. Factor de longitud C.

Este factor deja un margen para resistencias secundarias. La influencia del factor C decrece con el grado de longitud del transportador. Para hallar los valores del factor de longitud de las dos secciones del transportador, se interpola en la tabla de factor de longitud o se busca el valor en la figura de longitud Vs factor de longitud C (anexo 5).

- Para la primera sección: $L_1 = 137.6$ $C_1 = 1.638$
- Para la segunda sección: $L_2 = 137.6$ $C_2 = 1.638$

Tabla 26. Factor de longitud C

L (m)	3	4	5	6	8	10	12.5	16	20
C _L	9.0	7.6	6.6	5.9	5.1	4.5	4.0	3.6	3.0
L (m)	25	32	40	50	63	80	90	100	120
C _L	2.9	2.6	2.4	2.2	2.0	1.92	1.86	1.78	1.70
L (m)	140	160	180	200	250	300	350	400	450
C _L	1.63	1.56	1.50	1.45	1.38	1.31	1.27	1.25	1.20
L (m)	500	550	600	700	800	900	1000	1500	2000
C _L	1.20	1.18	1.17	1.14	1.12	1.10	1.09	1.06	1.00

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 12.3

5.1.8.2. Factor de fricción artificial f .

Se utiliza para el cálculo de la resistencia al movimiento. Este proporciona un estimado de la resistencia a la rotación de los rodillos, la resistencia de la banda (flexión, e imprecisiones de los rodillos). El valor de este factor depende de las condiciones de trabajo y se determina de la siguiente tabla:

Tabla 27. Factor de fricción artificial f

Instalaciones horizontales, inclinadas o un poco declinadas – Motor conductor	
Condiciones favorables de trabajo, fácil rotación de los idlers, material con baja fricción interna, buena trayectoria, buen mantenimiento.	0.017
Instalación normal, material normal	0.020
Condiciones desfavorables, bajas temperaturas, material con alta fricción interna, sujeto a sobrecargas, mantenimiento pobre	0.023 – 0.027

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 12.4

Según las condiciones del transportador se toma una instalación normal con material normal, lo que da un factor de fricción de $f = 0.020$. Debido a que los valores de esta tabla son para bandas con velocidad de 5 m/s se debe realizar la siguiente corrección:

$$f = c * f_{5m/s}$$

El valor de c se toma de la siguiente tabla.

Tabla 28. Factor de corrección por velocidad para fricción artificial

V (m/s)	2	3	4	5	6
Factor C	0.80	0.85	0.90	1.00	1.10

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 12.4

Se toma el factor $c = 0.8$ por ser el más cercano a la velocidad de del transportador

$$f = 0.8 * 0.02 \Rightarrow f = 0.016$$

5.1.8.3. Masa de los rodillos m'_R .

Esta se calcula por el peso de los rodillos tanto de carga como de los de retorno.

$$m'_R = \frac{m_{R0}}{l_0} + \frac{m_{Ru}}{l_u} \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

Donde:

m_{R0} = Masa de un conjunto de rodillos de carga (Kg)

m_{Ru} = Masa de los rodillos de retorno (Kg)

l_0 = Distancia entre rodillos de carga (m)

l_u = Distancia entre rodillos de retorno (m)

Para nuestro transportador: $l_0 = 1.2$ y $l_u = 2.4$

Los valores de m_{R0} y m_{Ru} se pueden hallar conociendo el diámetro de los rodillos y el ancho de banda de la tabla de peso de rodillos (anexo 4).

En cálculos anteriores se tomó como diámetro de los rodillos 133 mm, con este dato se halla los pesos de los rodillos:

$$m_{R0} = 22.3 \text{ (Kg)}$$

$$m_{Ru} = 19.3 \text{ (kg)}$$

Ahora se puede hallar m'_R :

$$m'_R = \frac{22.3}{1.2} + \frac{19.3}{2.4} \Rightarrow m'_R = 26.63 \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

5.1.8.4. Masa de la banda m'_G .

La masa de la banda se determina así:

$$m'_G = m''_G * B \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

m''_G (Kg/m²) que para nuestra banda es 12.7 Kg/m² y el ancho de banda es de 1.2 m. Entonces se tiene:

$$m'_G = 12.7 * 1.2 \Rightarrow m'_G = 15.24 \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

5.1.8.5. Masa de la carga m'_L .

Se deriva del área de sección transversal y del flujo de carga Q_m , alternadamente en partes de carga. Para carga a granel que es nuestro caso se tiene:

$$m'_L = \frac{Q_m}{3.6 * v} \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

$$m'_L = \frac{745.8}{3.6 * 1.31} = 158.14 \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

Con estos datos y los datos anteriores podemos hallar los valores de F_U para el transportador.

$$F_{U1} = C_1 * f * L_1 * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H_1 * g * m'_L \quad (\text{N})$$

$$F_{U1} = 1.638 * 0.016 * 137.6 * 9.81 * [26.63 + (2 * 15.24 + 158.14) * \cos(14.5)] + 9.6 * 9.81 * 158.14$$

$$F_{U1} = 22295.5 \quad (\text{N})$$

$$F_{U2} = C_2 * f * L_2 * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H_2 * g * m'_L \quad (N)$$

$$F_{U2} = 1.638 * 0.016 * 137.6 * 9.81 * [26.63 + (2 * 15.24 + 158.14) * \cos(15.1)] + 5.9 * 9.81 * 158.14$$

$$F_{U2} = 16537.5 \quad (N)$$

La fuerza periférica total es:

$$F_U = F_{U1} + F_{U2}$$

$$F_U = 22295.5 + 16537.5$$

$$F_U = 38833 \quad (N)$$

Con la fuerza periférica F_U se puede hallar nuevamente la potencia requerida en la polea conductora y compararla con la hallada anteriormente:

$$P_T = \frac{F_U * v}{1000} \quad (Kw)$$

$$P_T = \frac{38833 * 1.31}{1000} = 50.87 \quad (Kw)$$

La potencia requerida por el motor es:

$$P_M = \frac{P_T}{\eta} \quad (Kw)$$

$$P_M = \frac{50.87}{0.9} = 56.52 \quad (Kw)$$

De la tabla de motores estándar (tabla 23,) se debe escoger un motor de 75 Kw., que es el mismo motor que se seleccionó anteriormente, esto es una forma de comprobar los cálculos realizados.

5.1.9. Fuerza periférica en el arranque F_A

En el arranque o encendido de un sistema o instalación de banda transportadora, se tiene que superar la resistencia inercial al movimiento de las masas. Los esfuerzos en la banda se deben mantener en un mínimo. La fuerza periférica inicial en la polea conductora, en el momento del arranque no puede exceder ciertos límites recomendados:

- La fuerza periférica máxima en el arranque F_A no puede ser mayor que aproximadamente $(1.3 \text{ a } 1.5) * F_U$, la fuerza periférica en estado estable.
- Para la aceleración de las masas sobre la longitud del transportador, una fuerza equivalente a un mínimo de 20% de la resistencia al movimiento debe estar disponible.

Entonces siguiendo estas reglas tenemos que la fuerza periférica en el arranque es:

$$F_A = 1.5 * F_U \quad (N)$$
$$F_A = 1.5 * 38833 = 58250 \quad (N)$$

Después de hallar la fuerza periférica en el arranque (F_A) se puede hallar los valores de la aceleración, el tiempo de arranque y la distancia de arranque del transportador.

5.1.9.1. Aceleración del transportador a_A .

$$a_A = \frac{F_A - F_U}{L * (m'_{Red} + 2 * m'_G + m'_L)} \quad (m/s^2)$$

Donde:

m'_{Red} = Masa reducida de los rodillos (Kg/m)

$$m'_{Red} = 0.9 * m'_R$$

$$m'_{Red} = 0.9 * 26.63 = 23.96 \quad (Kg / m)$$

Entonces:

$$a_A = \frac{58250 - 38833}{275.6 * (23.96 + 2 * 15.24 + 158.14)} = 0.33 \quad (m / s^2)$$

5.1.9.2. Tiempo de aceleración t_a .

Es el tiempo que dura en acelerarse la carga.

$$t_a = \frac{v}{a_a} \quad (s)$$

$$t_a = \frac{1.31}{0.33} = 3.94 \approx 4 \quad (s)$$

5.1.9.3. Distancia de aceleración s_A .

Es la distancia en la cual ocurre la aceleración.

$$s_A = v * \frac{t_A}{2} \quad (m)$$

$$s_A = 1.31 * \frac{3.94}{2} = 2.58 \quad (m)$$

5.1.10. Sistema conductor

Después de que la fuerza periférica F_U ha sido determinada y la potencia de conducción requerida P_T ha sido hallada, se establece el sistema conductor, posición y número de motores. Las siguientes son las configuraciones más comunes de sistemas conductores para transportadores:

5.1.10.1. Transportador con accionamiento de cabeza.

La polea conductora de cabeza es la más común de todos los sistemas de conducción. Con transportadores horizontales e inclinados este proporciona los esfuerzos más favorables de la banda.

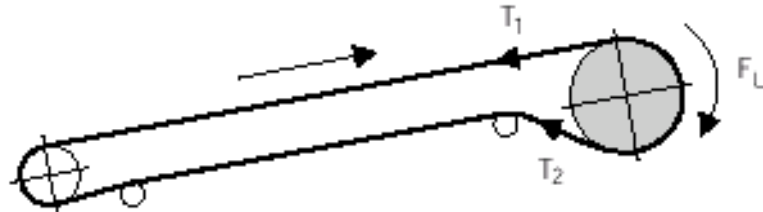


Figura 54. Transportador con accionamiento de cabeza

5.1.10.2. Transportador con accionamiento de cola.

La perfecta localización de la polea conductora en un transportador en descenso es en la parte final o cola. El accionamiento se vuelve un generador y actúa como freno.

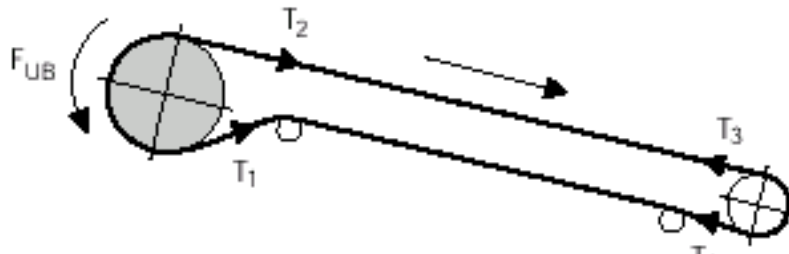


Figura 55. Transportador con accionamiento de cola

5.1.10.3. Accionamiento de cabeza y cola.

Cuando una proporción relativamente grande de la resistencia al movimiento es debido al recorrido de retorno, este sistema de accionamiento proporciona las condiciones más favorables de esfuerzos en la banda.

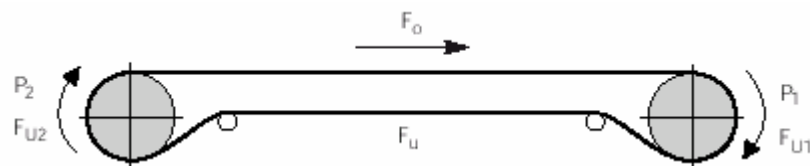


Figura 56. Transportador con accionamiento de cabeza y cola

Como nuestro transportador en gran parte de su longitud es horizontal y presenta inclinaciones, se escoge un accionamiento de cabeza por ser el más apropiado y con mejor distribución de esfuerzos en la banda.

5.1.11. Distribución de fuerzas

Las fuerzas que afectan la banda son determinadas de acuerdo al tamaño y dirección en la cual está operando. Las resistencias secundarias que pueden surgir en el punto de carga son: resistencia a la fricción, resistencia a la inclinación y la resistencia inercial en el arranque y en el frenado.

El diagrama de fuerzas puede ser aplicado tanto en el lado de carga como en el de retorno, así como en la polea conductora como en la de retorno.

Los puntos de tensión T1 a T4 pueden ser calculados de la condición $\sum F = 0$

- Lado carga: $0 = T_1 - T_4 - F_N - F_O - F_{sto} - F_{ao}$
- Lado retorno: $0 = T_3 - T_2 - F_u + F_{stu} - F_{au}$
- Con accionamiento de cabeza: $0 = T_1 - T_2 - F_U$
- Con accionamiento de cola: $0 = T_4 - T_3 + F_{UHeck}$

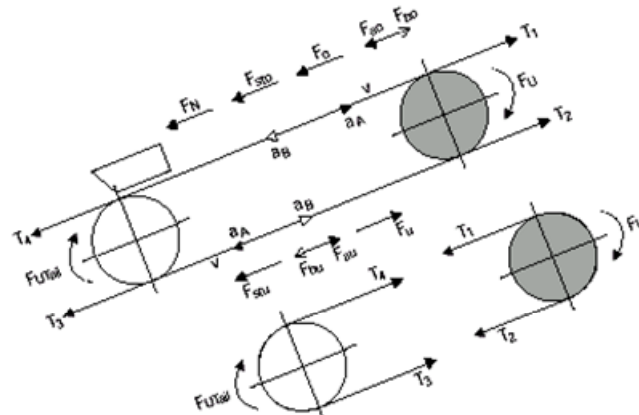


Figura 57. Distribución de fuerzas en las poleas

5.1.12. Resistencias individuales para cálculos secuenciales

Para estos cálculos se divide el transportador en dos secciones al igual que con los cálculos de potencia de accionamiento y tensión de la banda.

- Para la primera sección:

$L_1 = 137.6$ (m)	Longitud del transportador.
$H_1 = 9.6$ (m)	Elevación del transportador.
$\delta = 14.5^\circ$	Angulo de elevación.
$C_1 = 1.638$	Factor de longitud.

- Para la segunda sección:

$L_2 = 137.6$ (m)	Longitud del transportador.
$H_2 = 5.9$ (m)	Elevación del transportador.
$\delta = 15.5^\circ$	Angulo de elevación.
$C_2 = 1.638$	Factor de longitud.

5.1.12.1. Resistencia principal F_H .

Es la resistencia debido al movimiento de la masa de los rodillos de transporte, el material y la banda, en la carrera de carga y de retorno, al avance de los rodillos (Rodamientos y fricción en los sellos), debida a imprecisiones de fabricación en la banda y en los rodillos de carga como en los de retorno.

$$F_H = f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

Donde:

f	=	Factor de fricción artificial (-)
L	=	Longitud del transportador (m)
g	=	Aceleración debido a la gravedad (m/s^2)
m'_R	=	Masa de los rodillos de carga y de retorno (Kg/m)

- m'_G = Masa de la banda (Kg/m)
- m'_L = Masa de la carga (Kg/m)
- δ = Gradiente de la instalación ($^\circ$)

- Para la primera sección se tiene:

$$F_{H1} = 0.016 * 137.6 * 9.81 * [26.63 + (2 * 15.24 + 158.14) * \cos(14.5)] \quad (N)$$

$$F_{H1} = 4519 \quad (N)$$

- Para la segunda sección se tiene:

$$F_{H2} = 0.016 * 137.6 * 9.81 * [26.63 + (2 * 15.24 + 158.14) * \cos(15.5)] \quad (N)$$

$$F_{H2} = 4536 \quad (N)$$

- La resistencia primaria total es:

$$F_H = F_{H1} + F_{H2} \quad (N)$$

$$F_H = 4519 + 4536 = 9055 \quad (N)$$

5.1.12.2. Resistencia secundaria F_N .

Ocurre principalmente en el área de carga del a banda transportadora y es la resistencia del material al ser acelerado.

$$F_N = (C - 1) * F_H \quad (N)$$

- Para la primera sección del transportador es tiene:

$$F_{N1} = (C_1 - 1) * F_{H1} \quad (N)$$

$$F_{N1} = (1.638 - 1) * 4519 = 2883.17 \quad (N)$$

- Para la segunda sección del transportador se tiene:

$$F_{N2} = (C_2 - 1) * F_{H2} \quad (N)$$

$$F_{N2} = (1.638 - 1) * 4536.2 = 2894.15 \quad (N)$$

- La resistencia secundaria total es:

$$F_N = F_{N1} + F_{N2} \quad (N)$$

$$F_N = 2883.17 + 2894.15 = 5777 \quad (N)$$

5.1.12.3. Resistencia de fricción.

Lado carga F_o :

$$F_o = f * L * g * [m'_{Ro} + (m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

Donde:

- f = Factor de fricción artificial (-)
- L = Longitud del transportador (m)
- g = Aceleración debido a la gravedad (m/s^2)
- m'_{Ro} = Masa reducida de rodillos de carga ($m'_{Ro} = m_{Ro}/l_o$) (Kg/m)
- l_o = Distancia entre rodillos de carga (m)
- m'_G = Masa de la banda (Kg/m)
- m'_L = Masa de la carga (Kg/m)
- δ = Gradiente de la instalación ($^\circ$)

- Para la primera sección se tiene:

$$F_{o1} = f * L * g * [m'_{Ro} + (m'_G + m'_L) * \cos(\delta_1)] \quad (N)$$

$$F_{o1} = 0.016 * 137.6 * 9.81 * [18.58 + (15.24 + 158.14) * \cos(14.5)] = 4026.74 \quad (N)$$

- Para la segunda sección se tiene:

$$F_{o2} = f * L * g * [m'_{Ro} + (m'_G + m'_L) * \cos(\delta_2)] \quad (N)$$

$$F_{o2} = 0.016 * 137.6 * 9.81 * [18.58 + (15.24 + 158.14) * \cos(15.5)] = 4042.5 \quad (N)$$

- La resistencia de fricción lado carga total es:

$$F_o = F_{o1} + F_{o2} \quad (N)$$

$$F_o = 4026.74 + 4042.5 = 8069 \quad (N)$$

Lado retorno:

$$F_u = f * L * g * [m'_{Ru} + (m'_G) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

Donde:

- f = Factor de fricción artificial (-)
- L = Longitud del transportador (m)
- g = Aceleración debido a la gravedad (m/s²)
- m'_{Ru} = Masa reducida de rodillos de retorno (m'_{Ru} = m_{Ru}/l_u) (Kg/m)
- l_u = Distancia entre rodillos de retorno (m)
- m'_G = Masa de la banda (Kg/m)
- δ = Gradiente de la instalación (°)

- Para la primera sección se tiene:

$$F_{u1} = f * L * g * [m'_{Ru} + (m'_G) * \cos(\delta_1)] \quad (N)$$

$$F_{u1} = 0.016 * 137.6 * 9.81 * [8.04 + (15.24) * \cos(14.5)] = 486.8 \quad (N)$$

- Para la segunda sección se tiene:

$$F_{u2} = f * L * g * [m'_{Ru} + (m'_G) * \cos(\delta_2)] \quad (N)$$

$$F_{u2} = 0.016 * 137.6 * 9.81 * [8.04 + (15.24) * \cos(15.5)] = 488.9 \quad (N)$$

- La resistencia de fricción lado retorno total es:

$$F_u = F_{u1} + F_{u2} \quad (N)$$

$$F_u = 486.8 + 488.9 = 976 \quad (N)$$

5.1.12.4. Resistencia a la inclinación

Lado carga F_{sto}:

$$F_{sto} = H * g * (m'_G + m'_L) \quad (N)$$

Donde:

- H = Altura del transportador (m)

g = Aceleración debido a la gravedad (m/s^2)

m'_G = Masa de la banda (Kg/m)

m'_L = Masa de la carga (Kg/m)

- Para la primera sección se tiene:

$$F_{sto1} = H_1 * g * (m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$F_{sto1} = 9.6 * 9.81 * (15.24 + 158.14) = 16328.5 \quad (N)$$

- Para la segunda sección se tiene:

$$F_{sto2} = H_2 * g * (m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$F_{sto2} = 5.9 * 9.81 * (15.24 + 158.14) = 10035.2 \quad (N)$$

- La resistencia a la inclinación lado carga total es:

$$F_{sto} = F_{sto1} + F_{sto2} \quad (N)$$

$$F_{sto} = 16328.5 + 10035.2 = 26364 \quad (N)$$

Lado retorno F_{stu} :

$$F_{stu} = H * g * m'_G \quad (N)$$

Donde:

H = Altura del transportador (m)

g = Aceleración debido a la gravedad (m/s^2)

m'_G = Masa de la banda (Kg/m)

- Para la primera sección se tiene:

$$F_{stu1} = H_1 * g * m'_G \quad (N)$$

$$F_{stu1} = 9.6 * 9.81 * 15.24 = 1435.24 \quad (N)$$

- Para la segunda sección se tiene:

$$F_{stu2} = H_2 * g * m'_G \quad (N)$$

$$F_{stu2} = 5.9 * 9.81 * 15.24 = 882.075 \quad (N)$$

- La resistencia a la inclinación lado retorno total es:

$$F_{stu} = F_{stu1} + F_{stu2} \quad (N)$$

$$F_{stu} = 1435.24 + 882.075 = 2317 \quad (N)$$

5.1.12.5. Resistencia inercial.

Lado carga F_{ao}

$$F_{ao} = L_T * a * (m'_{Redo} + m'_G + m'_L) \quad (N)$$

Donde:

L_T = Longitud total del transportador (m)

a = Aceleración de la banda (m/s^2)

m'_{Redo} = Masa reducida de los rodillos de carga (Kg/m)

m'_{Redo} = $0.9 * m'_{Ro}$

m'_G = Masa de la banda (Kg/m)

m'_L = Masa de la carga (Kg/m)

La resistencia inercial en el transportador lado carga es:

$$F_{ao} = L_T * a * (m'_{Redo} + m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$F_{ao} = 275.2 * 0.33 * (16.7 + 15.24 + 158.14) = 17384 \quad (N)$$

Lado retorno F_{au}

$$F_{au} = L_T * a * (m'_{Redu} + m'_G) \quad (N)$$

Donde:

L_T = Longitud total del transportador (m)

a = Aceleración de la banda (m/s^2)

m'_{Redu} = Masa reducida de los rodillos de retorno (Kg/m)

$$m'_{Redu} = 0.9 * m'_{Ro}$$

$$m'_G = \text{Masa de la banda (Kg/m)}$$

La resistencia inercial en el transportador lado retorno es:

$$F_{au} = L_T * a * (m'_{Redu} + m'_G) \quad (N)$$

$$F_{au} = 275.2 * 0.33 * (7.23 + 15.24) = 2055 \quad (N)$$

5.1.13. Cálculos secuenciales

Las tensiones T1 a T4 se determinan mejor con el principio de cálculos secuenciales. Este método permite verificar la tensión en cualquier punto de la instalación así como también bajo ciertas condiciones de trabajo como los arranques y frenadas.

5.1.14. Cálculos secuenciales para T₁ a T₄

Para una instalación con polea conductora de cabeza se tiene la determinación de las tensiones (T₁ a T₄ y T_{A1} a T_{A4}) con la ayuda de las resistencias individuales (Para fuerzas periféricas F_U ≥ 0).

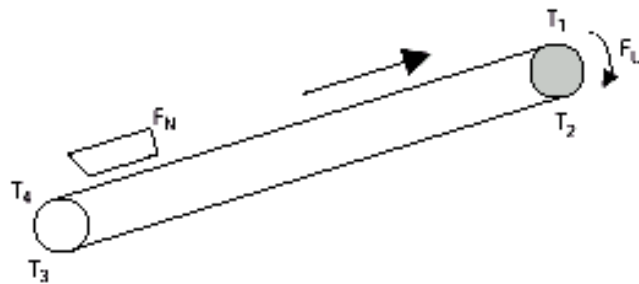


Figura 58. Instalación con polea conductora de cabeza

5.1.14.1. Funcionamiento en estado estable.

$$T_2 = F_U * c_2 \quad (N)$$

Donde:

c_2 = Factor de accionamiento lado flojo (-)

Este factor se evalúa con la siguiente ecuación:

$$c_2 = \frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1}$$

Donde:

μ = Coeficiente de fricción (tabla 29) (-)

α = Angulo de abrase polea conductora (°)

Para el transportador $\alpha = 200^\circ = 3.49063$ rad.

Entonces:

$$c_2 = \frac{1}{e^{0.35 \cdot 3.490} - 1} = 0.41$$

Tabla 29. Coeficientes de fricción para diferentes condiciones de operación

Condiciones de operación	Superficie de la polea			
	Acero (liso)	Recubrimiento de poliuretano (Acanalado)	Recubrimiento de caucho (Acanalado)	Recubrimiento cerámico (Poroso)
Seco	0.35 a .4	0.35 a 0.4	0.4 a 0.45	0.4 a 0.45
Húmedo (limpio)	0.1	0.35	0.35	0.35 a 0.4
Húmedo (sucio, barro, arcilla)	0.05 a 0.1	0.2	0.25 a 0.3	0.35

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 5.2

También el factor c_2 se puede hallar con ayuda de la tabla en el anexo 4.

Con estos datos se halla T_2 :

$$T_2 = F_U * c_2 \quad (N)$$

$$T_2 = 38879 * 0.41 = 16247 \quad (N)$$

$$T_3 = T_2 + F_u - F_{stu} \quad (N)$$

$$T_3 = 16247 + 976 - 2317 = 14906 \quad (N)$$

$$T_4 = T_3 \quad (N)$$

$$T_4 = 14906 \quad (N)$$

$$T_1 = T_4 + F_N + F_o + F_{sto} \quad (N)$$

$$T_1 = 14906 + 5777 + 8069 + 26364 = 55116 \quad (N)$$

La sumatoria de todas las tensiones es:

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 101172 \quad (N)$$

Se comprueban los cálculos con la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 - F_U \quad (N)$$

$$T_2 = 55116 - 38879 = 16237 \quad (N)$$

Esto permite verificar que los cálculos se están realizando correctamente.

5.1.14.2. Funcionamiento en estado no estable.

$$T_{A2} = F_A * c_{2A} \quad (N)$$

Donde:

C_{2A} = Factor de accionamiento lado flojo para funcionamiento en estado no estable (-)

Este factor se evalúa con la siguiente ecuación:

$$c_{2A} = \frac{1}{e^{\mu_A * \alpha} - 1}$$

Donde:

μ_A = Coeficiente de fricción para estado no estable (-)

μ_A = $\mu * 0.05 = 0.35 * 0.05 = 0.4$

α = Angulo de abraze polea conductora (°)

α = $200^\circ = 3.490$ rad (Para el transportador)

Entonces:

$$c_{2A} = \frac{1}{e^{0.4 * 3.490} - 1} = 0.32$$

Con estos datos se halla T_{A2} :

$$T_{A2} = F_A * c_{2A} \quad (N)$$

$$T_{A2} = 58319 * 0.32 = 19183 \quad (N)$$

$$T_{A3} = T_{A2} + F_u - F_{stu} + F_{au} \quad (N)$$

$$T_{A3} = 19183 + 976 - 2317 + 2055 = 19897 \quad (N)$$

$$T_{A4} = T_{A3} \quad (N)$$

$$T_{A4} = 19897 \quad (N)$$

$$T_{A1} = T_{A4} + F_N + F_o + F_{sto} + F_{ao} \quad (N)$$

$$T_{A1} = 19897 + 5777 + 8069 + 26364 + 17384 = 77492 \quad (N)$$

La sumatoria de todas las tensiones es:

$$T_{A1} + T_{A2} + T_{A3} + T_{A4} = 136469 \quad (N)$$

Se comprueban los cálculos con la siguiente ecuación:

$$T_{A2} = T_{A1} - F_A \quad (N)$$

$$T_{A2} = 77492 - 58319 = 19173 \quad (N)$$

Esto permite verificar que los cálculos se están realizando correctamente.

5.1.15. Corrección de la tensión de la banda

Las tensiones T_1 a T_4 y T_{A1} a T_{A4} deben ser incrementadas por un valor de ΔT si aplican las siguientes condiciones:

- Con tensor fijo si $\Sigma T_A > \Sigma T$.
- Con tensor móvil si $T_{A2} > T_2$.
- Con tensión mínima de banda si $T_{\min} > T_4$.

Para este transportador se utiliza un tensor de peso móvil (peso tensor) por lo tanto solo se hará la corrección de la tensión por el factor de peso tensor y por el de tensión mínima T_{\min} .

5.1.15.1. Corrección por peso tensor.

Con estos tensores la longitud de la banda no es constante. Con los cambios de esfuerzos en la banda, el tensor de peso se ajusta a los cambios de elongación de la banda. La tensión de la banda en la localización del tensor es siempre la misma.

El tensor tiene que calcularse para cumplir con las necesidades y condiciones de funcionamiento en estado estable y no estable como las condiciones de arranque y frenado. La tensión de la banda en el sitio del compensador siempre es mayor que la necesaria para las condiciones de funcionamiento en estado estable.

Una de las grandes ventajas de este tensor es que se puede instalar en cualquier localización a todo lo largo de de la carrera de retorno de la banda o en la polea de cola, ya que el peso del tensor es efectivo tanto en reposo como en funcionamiento, toda la tensión de la banda en estado estable se incrementa por el valor de la corrección ΔT para que se cumpla la condición $T_{A2} = T_2$.

$$T_{A2} = T_2 \quad (\text{Tención constante})$$

$$\Delta T = T_{A2} - T_2 \quad (N)$$

$$\Delta T = 19183 - 16247 = 2937 \quad (N)$$

Después de realizar el incremento de todas las tensiones en estado estable por el factor de corrección ΔT se tienen las tensiones ajustadas:

$$T_1 = 58052 \quad (N) \quad T_{A1} = 77492 \quad (N)$$

$$T_2 = 19183 \quad (N) \leftrightarrow T_{A2} = 19183 \quad (N)$$

$$T_3 = 17842 \quad (N) \quad T_{A3} = 19897 \quad (N)$$

$$T_4 = 17842 \quad (N) \quad T_{A4} = 19897 \quad (N)$$

5.1.15.2. Corrección por control de la mínima tensión de banda T_{\min} .

Es necesario realizar esta corrección para que la deflexión entre los rodillos de carga no exceda ciertos límites. Para que no se excedan estos límites se tiene que cumplir que:

Si la tensión $T_4 < T_{\min}$ la banda se flexa entre los rodillos de carga. Para evitar esta deflexión se tiene que cumplir que $T_4 \geq T_{\min}$ y para esto todas las tensiones de la banda tanto las de estado estable como las de estado no estable tienen que ser incrementadas por el valor de la corrección ΔT_{\min} .

Para ello se tiene que hallar el valor de la tensión mínima T_{\min} .

$$T_{min} = \frac{(m'_L + m'_G) * l_o * g}{8 * h_{rel}} \quad (N)$$

Donde:

$h_{rel} = h / l_o$	Radio de deflexión
$h_{rel} = 0.005$ a 0.015	Para el lado de carga
$h_{rel} = 0.020$ a 0.030	Para el lado de retorno
l_o (mm)	Distancia entre los rodillos de carga

Esta deflexión tiene que estar entre 0.5% y el 1.5% de la distancia entre centros de los rodillos de carga y entre 2% y el 3% de la distancia entre centros de los rodillos de retorno, para este caso se toma $h_{rel} = 1\% = 0.01$.

$$T_{min} = \frac{(m'_L + m'_G) * l_o * g}{8 * h_{rel}} \quad (N)$$

$$T_{min} = \frac{(158.14 + 15.24) * 1.2 * 9.81}{8 * 0.01} = 25513 \quad (N)$$

$$\Delta T_{min} = T_{min} - T_4$$

$$\Delta T_{min} = 25513 - 17842 = 7672$$

Con esto se hallan las tensiones aumentadas o incrementadas:

$$\begin{array}{llll} T_1 = 65724 & (N) & T_{A1} = 85163 & (N) \\ T_2 = 26855 & (N) \leftrightarrow & T_{A2} = 26855 & (N) \\ T_3 = 25513 & (N) & T_{A3} = 27569 & (N) \\ T_4 = 25513 & (N) & T_{A4} = 27569 & (N) \end{array}$$

De esta forma se tienen los valores de las tensiones que soportará la banda transportadora, las cuales cumplen con los dos requisitos estipulados para este tipo de transportador:

$$T_{A2} = T_2 \quad T_4 \geq T_{min}$$

Después de hallar las tensiones de la banda se halla la pre-tensión y el peso del tensor móvil.

5.1.15.3. Peso y tensión necesaria para el tensor.

El tamaño del tensor por peso depende de la localización del sistema tensor.

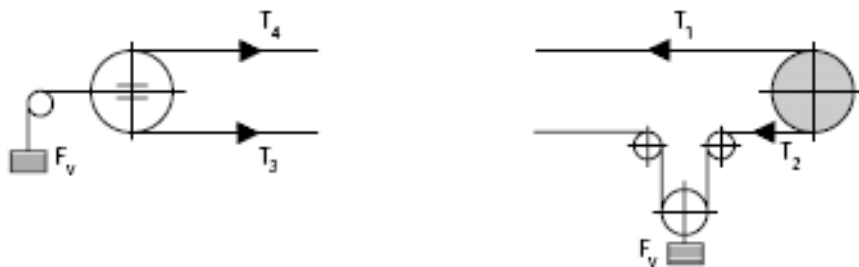


Figura 59. Localización de peso tensor

$F_V = T_3 + T_4$ (N) Si el peso tensor se encuentra en la polea de cola.

$F_V = 2 * T_2$ (N) Si el peso tensor está en la carrera de retorno de la banda.

Para este diseño se cumple la segunda alternativa por lo tanto la tensión y el peso del dispositivo son:

- Tensión del sistema tensor

$$F_V = 2 * T_2 \quad (N)$$

$$F_V = 2 * 26855 = 53709.6 \quad (N)$$

- Peso del sistema tensor

$$G_V = \frac{F_V}{g} \quad (Kg)$$

$$G_V = \frac{53709.6}{9.81} = 5475 \quad (Kg)$$

5.1.16. Factor de seguridad

Ahora se debe determinar el factor de seguridad de la banda seleccionada. Para ciertas condiciones de funcionamiento se han fijado valores mínimos de seguridad.

$$S_B = \frac{K_N * B * C_V}{T_{\max}}$$

Estado estable

$$S_A = \frac{K_N * B * C_V}{T_{A\max}}$$

Estado no estable

Donde:

C_V = Factor de pérdida de esfuerzo de rotura en juntas.

Para este tipo de banda $C_V = 0.75$ (tabla 25).

B = Ancho de banda (mm)

T_{\max} = Tensión máxima de la banda en estado estable (N)

$T_{A\max}$ = Tensión máxima de la banda en estado no estable (N)

K_N = Esfuerzo nominal de rotura (N/mm).

Es obtenido redondeando por arriba el esfuerzo de rotura (k) hallado anteriormente, (tabla 11).

Para este diseño y el tipo de banda escogido, $k = 777.58$ (N/mm) y según la tabla de esfuerzos de rotura estándar, el próximo valor es de 800 (N/mm). Por lo tanto $k_N = 800$ (N/mm).

Ahora se hallan los factores de seguridad par la banda escogida:

$$S_B = \frac{K_N * B * C_V}{T_{\max}}$$

$$S_B = \frac{800 * 1200 * 0.75}{65724} = 10.9$$

$$S_A = \frac{K_N * B * C_V}{T_{A\max}}$$

$$S_B = \frac{800 * 1200 * 0.75}{85163} = 8.4$$

Según las recomendaciones para un trabajo normal y una banda textil (ver tabla de valores mínimos para el factor de seguridad según las condiciones de trabajo, anexo 8) se tiene:

$$S_B \geq 8.0$$

$$S_A \geq 5.4$$

Lo que indica que los valores de los factores de seguridad están dentro de los límites permitidos para una instalación como la que se tiene.

5.1.17. Recorrido del tensor

Este recorrido se tiene que calcular teniendo en cuenta los cambios de tensión que ocurren en el arranque, funcionamiento con carga y en reposo.

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (m)$$

ΣT (N) = Sumatoria de las tensiones.

- Para transportador en reposo

$$\sum T = 4 * T_2 \quad (N)$$

$$\sum T = 4 * 26855 = 107420 \quad (N)$$

- Para transportador en funcionamiento en estado estable

$$\sum T = 143605 \quad (N)$$

- Para transportador en funcionamiento en estado no estable

$$\sum T_A = 167155 \quad (N)$$

Donde:

L = Longitud total del transportador (m)

- B = Ancho de banda (m)
- k_N = Esfuerzo nominal de rotura (N/mm)
- k_D = Valor de elongación.

Este valor se obtiene de la gráfica de valores de elongación conociendo el esfuerzo nominal de rotura (Ver anexo 9):

Para un esfuerzo nominal de rotura

$k_N = 800$ (N/mm) se tiene

$k_D = 10.2$

Con estos datos se puede hallar los diferentes valores del recorrido del tensor según las diferentes condiciones de trabajo:

- Transportador en reposo:

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{107420 * 275.2}{2 * 1.2 * 10.2 * 800} = 1509.5 \quad (mm)$$

- Transportador en estado estable de funcionamiento

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{143605 * 275.2}{2 * 1.2 * 10.2 * 800} = 2018 \quad (mm)$$

- Transportador en estado no estable de funcionamiento

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{167155 * 275.2}{2 * 1.2 * 10.2 * 800} = 2348 \quad (mm)$$

La instalación del peso tensor se tiene que diseñar basándose en estos datos de recorrido.

5.1.18. Diámetro de las poleas del transportador

Los diámetros de las poleas de una banda transportadora dependen principalmente de la construcción de la banda el material de la carcasa, el espesor, el servicio y el método de empalme. Las poleas se clasifican en 3 grupos según su posición y el ángulo de abrase α

Tabla 30. Clasificación de los tipos de poleas

Grupo	Aplicación
A	Poleas en áreas de alta tensión de banda Polea conductora
B	Poleas en áreas de baja tensión de banda Polea de cola
C	Poleas con angulote abraze $\alpha \leq 90^\circ$ Poleas deflectoras o tensoras

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.10

Para determinar los diámetros de las poleas primero se calcula el diámetro de la polea conductora con tensión máxima.

$$D_{Tr} = C_{Tr} * d \quad (mm)$$

Donde:

C_{Tr} = Valor de la deformación del material de la carcasa

Para el diseño se tiene una banda SUPERFORT multi-capas; de acuerdo a este parámetro se tiene que $C_{Tr} = 108$.

Este valor se halla de la siguiente tabla conociendo el tipo de banda a utilizar.

Tabla 31. Valores de la deformación del material de la carcasa

C_{Tr}	Material de la carcasa o tipo de banda	
90	Polyamide (P)	
80	DUNLOFLEX	Banda de 2 capas
95	TRIOFLEX	Banda de 3 capas
108	SUPERFORT	Bandas multicapas (EP)
138	FERROFLEX	Bandas con tejido metálico
145	SILVERCORD	Bandas con cordones metálicos
100	DUNLOPLAST	Banda monocapa

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.10

d = Espesor de la carcasa (mm) (anexo 4)

Para la banda escogida SUPRFORT S 800/4 se tiene un espesor de carcasa de $d = 5.2$ (mm)

Con estos datos se calcula el diámetro de la polea conductora con tensión máxima:

$$D_{Tr} = C_{Tr} * d \quad (mm)$$

$$D_{Tr} = 108 * 5.2 = 561.6 \quad (mm)$$

El valor del diámetro final de la polea se halla redondeando por arriba hasta el siguiente diámetro estándar de poleas (tabla 32) o si se trabaja en condiciones favorables se puede redondear por abajo. Para este caso se toma el siguiente valor (por encima) de diámetro para la polea.

$$D_{Tr} = 630 \quad (mm)$$

Tabla 32. Valores estándar de diámetros de poleas

100	125	160	200	250	315	400	500
630	800	1000	1250	1400	1600	1800	2000

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.10

Una vez establecido el diámetro de la polea más grande, el diámetro del grupo de poleas A, B, C, puede ser obtenido de la siguiente tabla:

Tabla 33. Diámetros de los grupos de poleas

Diámetro de polea C _{Tr} (mm)	Diametro de grupo de poles (mm)		
	A	B	C
100	100	-	-
125	125	100	-
160	160	125	100
200	200	160	125
250	250	200	160
315	315	250	200
400	400	315	250
500	500	400	315
630	630	500	400
800	800	630	500
1000	1000	800	630

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.11

Para una polea conductora (grupo A) con un diámetro D_{TrA} = 630 mm se tiene:

- Diámetro polea de cola (grupo B) D_{TrB}= 500 mm
- Diámetro poleas tensoras (grupo C) D_{TrC}= 400 mm

5.1.18.1. Porcentaje de utilización.

$$k_A = \frac{T_{\max} * S}{B * k_N} * 100 \quad (\%)$$

Donde:

- S = Factor de seguridad en estado estable
- B = Ancho de banda (mm)
- k_N = Esfuerzo nominal de rotura
- T_{max} = Tensión máxima en estado estable

$$k_A = \frac{T_{\max} * S}{B * k_N} * 100 \quad (\%)$$

$$k_A = \frac{65724 * 10.9}{1200 * 800} * 100 = 75(\%)$$

Este valor quiere decir que la rata de tensión de utilización de la banda es totalmente empleada; si no se cumplen con estos valores se tienen que realizar las correcciones señaladas en la siguiente tabla.

Tabla 34. Valores límites del porcentaje de utilización de las poleas

Grado de utilización	Diámetro de polea
$k_A > 0.6$ a 1	Diámetro de tabla
$k_A > 0.3$ a 0.6	Grupo A, B, C Un tamaño menor
$k_A < 0.3$	Grupo A y B 2 tamaños menores
	Grupo C Un tamaño menor

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.11

5.1.18.2. Revoluciones de la polea conductora.

Con este cálculo se halla la velocidad de salida del sistema de transmisión que se va a utilizar en la instalación.

$$n_T = \frac{v * 60}{\pi * D_{Tr}} \quad (rpm)$$

Donde:

V = Velocidad de la banda (m/s)

D_{Tr} = Diámetro de la polea conductora (m)

$$n_T = \frac{v * 60}{\pi * D_{Tr}} \quad (rpm)$$

$$n_T = \frac{1.31 * 60}{\pi * 0.63} = 39.7 \quad (rpm)$$

5.1.18.3. Torque máximo en el arranque.

Se refiere al torque máximo alcanzado por el transportador en el momento del arranque de la instalación.

$$M_A = \frac{F_A * D_{Tr}}{2} \quad (Nm)$$

Donde:

F_A = Fuerza periférica en el arranque (N)

D_{Tr} = Diámetro de la polea conductora (m)

$$M_A = \frac{F_A * D_{Tr}}{2} \quad (Nm)$$

$$M_A = \frac{58319 * 0.63}{2} = 18370.4 \quad (Nm)$$

5.1.18.4. Carga de la polea conductora.

$$F_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{9.81} \quad (Kg)$$

$$F_T = \frac{85163 + 26855}{9.81} = 11418.74 \quad (Kg)$$

5.1.18.5. Presión de superficie.

Con poleas recubiertas de caucho, la presión límite promedio de la superficie es aproximadamente 70 N/cm². Estos límites solo son alcanzados en condiciones de trabajo pesado y con diámetros pequeños de poleas.

$$p_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{D_{TR} * B} \quad (N/cm^2)$$

Donde:

D_{Tr} = Diámetro de la polea conductora (cm)

B = Ancho de banda (cm)

$$p_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{D_{TR} * B} \quad (N/cm^2)$$

$$p_T = \frac{85163 + 26855}{63 * 120} = 14.8 \quad (N/cm^2)$$

5.1.19. Transición de canales

La distancia entre una polea terminal y el juego adyacente de rodillos acanalados en cualquiera de los extremos de un transportador es conocida como distancia de transición, en esta distancia la banda cambia de un acanalado completo a un perfil plano o viceversa; la banda adicionalmente se estira en la zona del borde y se comba en el centro.

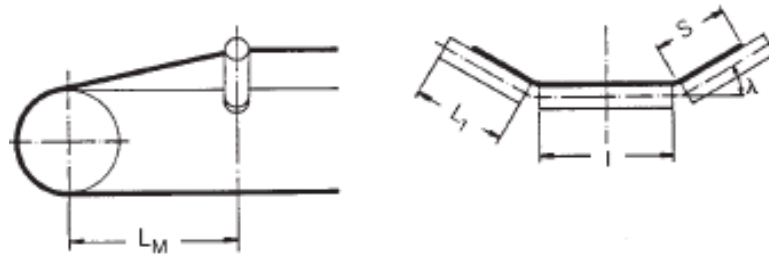


Figura 60. Distancia de transición

$$L_M = x * s * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

Donde:

x = Factor de carcasa

x = 8 Para bandas textiles

x = 16 Para bandas ST

λ = Angulo de acanalado (°)

s = Porción de la banda en contacto con los rodillos de carga laterales (mm)

$$s = 0.5 * (B - l) \quad (mm)$$

l = Longitud rodillo de carga central (mm)

B = Ancho de banda (mm)

$$s = 0.5 * (1200 - 465) = 367.5(mm)$$

$$L_M = x * s * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

$$L_M = 8 * 367.5 * \text{sen}(30) = 1470 \quad (mm)$$

5.1.20. Elevación de la polea

Para aliviar la banda de los esfuerzos de borde la polea puede ser levantada ligeramente el valor h .



Figura 61. Elevación de polea

$$h = \frac{s^2}{B} * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

$$h = \frac{367.5^2}{1200} * \text{sen}(30) = 56.3 \quad (mm)$$

También se tiene la distancia reducida de transición:

$$L_{red} = x * (s * \text{sen}(\lambda) - h) \quad (mm)$$

$$L_{red} = 8 * (367.5 * \text{sen}(30) - 56.3) = 1019.6 \quad (mm)$$

Esta distancia se puede utilizar cuando el valor de la elevación de la polea no difiere con los valores de la siguiente tabla para el ancho de la banda y el ángulo de acanalado.

Tabla 35. Valores de elevación de la polea

Ancho de banda (mm)	Angulo de acanalado λ		
	30°	40°	45°
800	37	47	52
1000	48	62	68
1200	56	72	80
1400	68	87	96
1600	78	100	110
1800	89	114	125
2000	98	126	138
2200	112	143	158

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 11.13

5.1.21. Curva vertical convexa

En la transición de un plano inclinado a uno horizontal la zona del borde de la banda esta sujeto a estiramientos adicionales, para no exceder ciertos limites (como por ejemplo y para tomarlo como regla, 0.8% de estiramiento adicional) el radio de transición tiene que ser dimensionado consecutivamente.

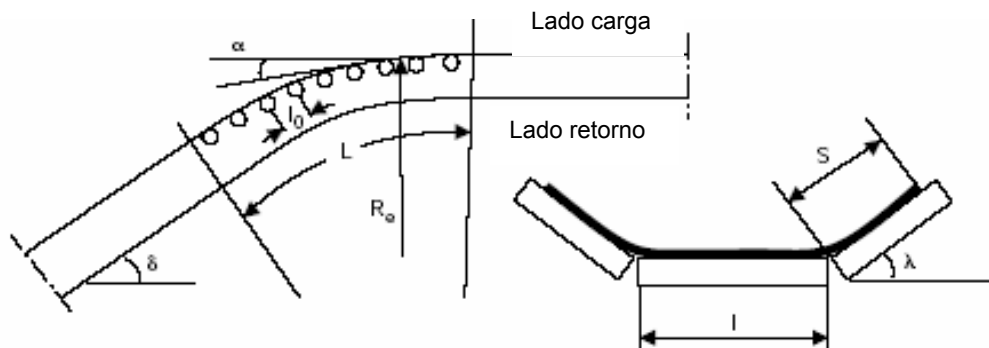


Figura 62. Transición de un plano inclinado a un horizontal.

5.1.21.1. Radio de la curva vertical convexa.

$$R_e = x * s * \text{sen}(\lambda) \quad (\text{mm})$$

Donde:

S = Porción de la banda en contacto col los rodillos de carga laterales (mm)

X = Factor de carcasa

x = 125 Para bandas textiles

x = 400 Para bandas con cordones metálicos.

λ = Angulo de acanalado ($^{\circ}$)

$$R_e = x * s * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

$$R_e = 125 * 367.5 * \text{sen}(30) = 22968 \quad (mm)$$

5.1.21.2. Longitud de la curva.

$$L = \frac{\pi * \delta * R_e}{180} \quad (m)$$

Donde:

δ = Gradiente de la instalación ($^{\circ}$)

$$L = \frac{\pi * 14.5 * 22.96}{180} = 5.8 \quad (m)$$

5.1.21.3. Número de rodillos en la curva.

$$z = \frac{\delta}{\alpha} \quad (\text{Piezas})$$

Donde:

α = Desviación por rodillo ($^{\circ}$)

$\alpha \approx 2^{\circ}$ para ángulo de acanalado de 30°

$\alpha \approx 3^{\circ}$ para ángulo de acanalado de 20°

$$z = \frac{\delta}{\alpha} \quad (\text{Piezas})$$

$$z = \frac{14.5}{2} = 7.25 = 8 \quad (\text{Piezas})$$

5.1.21.4. Separación de los rodillos de carga en la curva.

$$l_0 = \frac{L}{z} \quad (m)$$

$$l_0 = \frac{5.8}{8} = 0.725 \quad (m)$$

5.1.22. Curva vertical cóncava

En una curva cóncava vertical la banda va de horizontal a inclinada. En el arranque o en el cambio de carga existe la probabilidad de que la banda se despegue de los rodillos de carga en esta región. Esto puede conducir a una disminución de la pretensión de la banda. En condiciones especiales se permite un pequeño levantamiento. Una forma de controlar este efecto es con rodillos por encima de los rodillos de carga, esto con el fin de que la banda no pierda material de carga durante el funcionamiento.

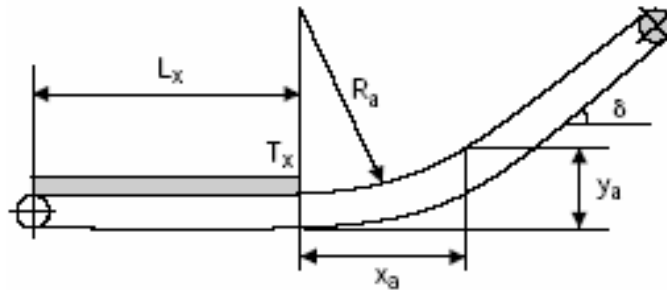


Figura 63. Transición de un plano horizontal a un inclinado.

5.1.22.1. Radio de concavidad.

$$R_a = \frac{T_x}{m'_G * \cos(\delta) * g} \quad (m)$$

Donde:

T_x = Tensión al comienzo de la curva cuando la banda va con carga plena. (N)

$$T_x = T_4 + f * L_x * g * (m'_{R0} + m'_G + m'_L) \quad (N)$$

T_4 = Tensión de la banda en funcionamiento(N)

- F = Factor de fricción artificial
- L_x = Longitud horizontal de la banda antes de la curva (m). Para este caso se toma el punto mas extremo cuando el apilador se encuentra más cerca de la polea conductora. $L_x = 230$ (m) aproximadamente.
- m'_{Ro} = Masa del conjunto de rodillos de carga (Kg)
- m'_G = Masa de la banda (Kg/m)
- m'_L = Masa de la carga (Kg/m)

Entonces:

$$T_x = T_4 + f * L_x * g * (m'_{Ro} + m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$T_x = 25513 + 0.016 * 230 * 9.81 * (22.3 + 15.24 + 158.14) = 32577.5 \quad (N)$$

Y el radio de concavidad es:

$$R_a = \frac{T_x}{m'_G * \cos(\delta) * g} \quad (m)$$

$$R_a = \frac{32577.5}{15.24 * \cos(13.5) * 9.81} = 224 \quad (m)$$

5.1.23. Ajuste adicional de banda

En regiones donde la banda llega de la parte acanalada a plana, canal vertical y curva horizontal o si es volteada o girada, tensiones y esfuerzos adicionales ocurren en los bordes y en le centro de la banda. Esto resulta en la reducción de la seguridad mínima permisible en estos sectores de la banda. La tensión puede llega a ser negativa creando deformaciones en el centro o sacudidas en los bordes.

5.1.23.1. Seguridad en la zona de bordes.

- Promedio de elongación

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_B}$$

Donde:

K_D = Valor de la elongación de la banda

S_B = Factor de seguridad en estado estable

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_B}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{10.2 * 10.96} = 0.0089$$

- Longitud de la curva

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * \lambda$$

Donde:

λ = Angulo de acanalado

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * \lambda$$

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * 30 = 0.5235$$

- Elongación adicional

$$\varepsilon_K = \frac{s^2 * \hat{\lambda}^2}{L^2} * \frac{s^2}{B^2} * \left(0.5 - \frac{s}{3 * B}\right)$$

Donde:

s = Longitud de banda en contacto con rodillos laterales de carga (mm)

B = Ancho de banda (mm)

L = Longitud de transición (mm)

$$\varepsilon_K = \frac{s^2 * \lambda^2}{L^2} * \frac{s^2}{B^2} * (0.5 - \frac{s}{3 * B})$$

$$\varepsilon_K = \frac{367.5^2 * 0.5235^2}{1470^2} * \frac{367.5^2}{1200^2} * (0.5 - \frac{367.5}{3 * 1200}) = 0.0084$$

- Elongación total

$$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_0 + \varepsilon_K$$

$$\varepsilon_{ges} = 0.0089 + 0.0084 = 0.01734$$

- Factor mínimo de seguridad

$$S_{min} = \frac{1}{K_D * \varepsilon_{ges}}$$

$$S_{min} = \frac{1}{10.2 * 0.01734} = 5.65$$

Y según la tabla de valores del factor de seguridad mínimo (anexo 11) para una banda textil y una condición normal de funcionamiento, el factor mínimo de seguridad $S_{min} \geq 3.5$. Por lo tanto en los bordes de la banda en la zona de transición no se presentarán sacudidas.

5.1.23.2. Elongación en el centro de la banda del punto de descarga

- Factor de seguridad mínimo en el punto de descarga del transportador

$$S_{min} = \frac{k_N * B * C_V}{T_2}$$

$$S_{min} = \frac{800 * 1200 * 0.75}{26858} = 26.8$$

Donde:

k_N = Esfuerzo nominal de rotura (N / mm)

C_V = Factor de junta

T_2 = Tensión en la zona de descarga

- Promedio de elongación

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_{min}}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{10.2 * 26.8} = 0.0036$$

- Elongación adicional

$$\varepsilon_M = \frac{s^3 * \bar{\lambda}^2}{3 * B * L^2}$$

$$\varepsilon_M = \frac{367.5^3 * 0.5235^2}{3 * 1200 * 1470^2} = 0.00175$$

- Elongación total

Para que no se presenten deformaciones en el centro de la banda se tiene que cumplir que: $\varepsilon_{min} \geq 0$

$$\varepsilon_{min} = \varepsilon_0 + \varepsilon_M$$

$$\varepsilon_{min} = 0.0036 - 0.00175 = 0.0019$$

Por lo tanto en la mitad de la banda del punto de descargue no se presentaran deformaciones.

5.1.23.3. Elongación en el centro de la banda en la polea de cola

- Factor de seguridad mínimo en la polea de cola

$$S_{min} = \frac{k_N * B * C_V}{T_3}$$

$$S_{min} = \frac{800 * 1200 * 0.75}{25513} = 28.22$$

Donde:

k_N = Esfuerzo nominal de rotura (N / mm)

C_V = Factor de junta

T_2 = Tensión en la zona de descarga

- Promedio de elongación

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_{min}}$$
$$\varepsilon_0 = \frac{1}{10.2 * 28.22} = 0.0034$$

- Elongación adicional

$$\varepsilon_M = \frac{s^3 * \hat{\lambda}^2}{3 * B * L^2}$$
$$\varepsilon_M = \frac{367.5^3 * 0.5235^2}{3 * 1200 * 1470^2} = 0.00175$$

- Elongación total

Para que no se presenten deformaciones en el centro de la banda se tiene que cumplir que: $\varepsilon_{min} \geq 0$

$$\varepsilon_{min} = \varepsilon_0 + \varepsilon_M$$
$$\varepsilon_{min} = 0.0034 - 0.00175 = 0.0017$$

Por lo tanto en la mitad de la banda de la polea de cola no se presentarán deformaciones.

5.2. CÁLCULOS PARA LA REPOTENCIACIÓN DE LA BANDA DEL APILADOR EN LA PLANTA DE CPR

Para la banda del apilador y debido a que esta le recibe material a la banda 16112 a la cual anteriormente se realizaron los cálculos de repotenciación se tienen los siguientes datos:

5.2.1. Equipos con los que actualmente funciona la banda del apilador

El transportador de banda del apilador cuenta con los siguientes equipos y especificaciones actualmente que trabajan a una capacidad de 320 TPH:

– Rodillos:

Angulo de rodillos de carga:	30°
Diámetro rodillos de carga:	113 mm
Longitud rodillos de carga:	295 mm
Diámetro rodillos de impacto:	113 mm
Longitud rodillos de impacto:	295 mm
Diámetro rodillos de retorno:	113 mm
Longitud rodillos de retorno:	945 mm
Espaciamiento rodillos de carga:	1200 mm
Espaciamiento rodillos de impacto:	300 mm
Espaciamiento rodillos de retorno:	2400 mm

– Tambores:

Diámetro del tambor de cabeza:	400 mm
Diámetro tambor de cola:	380 mm
Diámetro tambor tensor:	250 mm

– Banda:

Ancho de banda:	800 mm
Cantidad:	35.5 m
Velocidad:	1.3 m/seg
Tamaño:	800*5.0*1.5 mm (4 Capas)

– Reductor:

Relación:	(1 / 20)
Potencia mecánica nominal:	56 Kw

Velocidad de entrada	1750 R.P.M
Factor de servicio:	2.33
No reducciones (engranajes):	3
- Motor:	
Potencia:	15 KW
Frecuencia:	60 Hz
Voltaje:	460 Volt.
Velocidad:	1755 R.P.M

5.2.2. Datos para la repotenciación de la banda del apilador

- Material a transportar:	Caliza triturada
- Granulometría del material:	25 mm en la diagonal.
- Densidad ρ :	1,4 t/m ³
- Angulo de sobrecarga β_{Dyn} :	15°
- Máxima inclinación de la banda:	18°
- Longitud de la banda:	16500 mm.
- Capacidad:	745.8 Ton/hora.
- Ancho de banda:	1200 mm
- Tipo de canal:	3 rodillos.
- Angulo de rodillos de carga:	30°
- Velocidad de banda:	1.31 m/s.
- Distancia entre rodillos de carga:	$l_o = 1.2$ m
- Distancia entre rodillos de retorno:	$l_u = 2.4$ m
- Distancia entre rodillos de impacto:	$l_i = 0.6$ m
- Diámetro de rodillos de carga y retorno:	$D_R = 133$ mm
- Diámetro de rodillos de impacto:	$D_R = 156$ mm
- Masa conjunto rodillos de carga:	$m_{Ro} = 22.3$ (Kg)
- Masa rodillos de retorno:	$m_{Ru0} = 19.3$ (Kg)
- Masa de los rodillos:	$m'_R = 26.63$ (Kg/m)
- Masa de la carga:	$m'_L = 158.14$ (Kg/m)

- Factor de fricción artificial: $f = 0.016$

Con estos datos se puede hallar:

5.2.3. Requerimientos de potencia

Los requerimientos de potencia para esta banda se pueden hallar de la siguiente manera:

5.2.3.1. Potencia para el transportador en vacío o con carga horizontal.

$$P_1 = \frac{C_B * v + Q_m}{C_L * K_f} \quad (Kw)$$

Para los cálculos se tienen los siguientes datos:

- De la tabla 20 y con una condición de trabajo media, una densidad del material transportado entre 1 y 2 t/m³ y un ancho de banda de 1200 mm se tiene: $C_B = 277$
- Con la longitud del transportador $L = 16.5$ (m) y los valores de C_L obtenidos de la tabla 21, interpolando entre los valores más cercanos se halla el factor de longitud: $C_L = 318.375$.
- De la tabla 22 de Factor de condiciones de trabajo y contando con una condición de ambiente polvoriento y posibles sobrecargas se tiene: $K_f = 0.87$

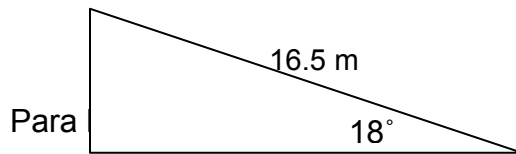
Con estos datos se halla la potencia para el transportador en vacío o con carga sobre la horizontal (P_1):

$$P_1 = \frac{277 * 1.31 + 745.8}{318.375 * 0.87} = 3 \quad (Kw)$$

5.2.3.2. Potencia para elevación de la carga.

$$P_2 = \frac{H * Q_m}{367} \quad (Kw)$$

Para esta banda se tiene una altura de elevación de:



$$H = \text{seno}(18) * 16.5 = 5.1 \text{ (m)}$$

$$P_2 = \frac{5.1 * 745.8}{367} = 10.36 \quad Kw$$

5.2.3.3. Potencia en la polea conductora.

$$P_T = P_1 + P_2 \quad (Kw)$$

$$P_T = 3 + 10.36 = 13.36 \quad (Kw)$$

5.2.3.4. Potencia requerida por el motor.

$$P_M = \frac{P_T}{\eta}$$

$$P_M = \frac{13.36}{0.9} = 14.8 \quad (Kw)$$

De la tabla de motores estándar (tabla 23) se escoge el que se adapte a nuestras necesidades de potencia, entonces:

$$P_N = 15 \text{ (Kw)}$$

5.2.4. Tipo de banda

El tipo de banda se determina hallando el esfuerzo de rotura de la banda y con la ayuda de la tabla de peso y espesores de banda, donde, con el valor del esfuerzo de rotura se escoge el tipo de banda que se ajuste a las necesidades específicas que se tienen.

$$k = \frac{C_R}{C_V} * \frac{P_T}{V} \quad (\text{Esfuerzo de rotura})$$

Para este cálculo se tienen los siguientes datos:

- El factor de fricción (C_R) se halla conociendo el tipo de superficie de la polea conductora y el ancho de la banda, los valores de este factor se encuentran tabulados en la tabla donde: $C_R = 15$
- El valor de junta de bandas (C_V) se toma de la tabla 25, suponiendo una banda de 4 capas de la referencia SUPERFORT se tiene: $C_V = 0.75$

Entonces se calcula el esfuerzo de rotura:

$$k = \frac{15}{0.75} * \frac{13.36}{1.31} = 204. \quad (N / mm)$$

Como se enunció anteriormente, con el valor del esfuerzo de rotura y la tabla de peso y espesores de bandas (anexo 4) se selecciona la banda a utilizar. Por recomendación el esfuerzo de rotura para la banda seleccionada se tiene que aproximar a un valor estándar por arriba del valor hallado, para este caso es de 250 (N/mm) y según la tabla de peso y espesores de bandas, la banda apropiada para esta aplicación es la S 250/3, pero como anteriormente se utilizó una banda de 4 capas, se busca la siguiente banda que cumpla con esta característica; para este caso la banda a utilizar será:

Banda: EP 315/4 4+2 mm capas.

Peso de banda $m''_G = 11.2 \text{ Kg/m}^2$

Espesor de la carcasa = 3.7mm.

5.2.5. Fuerza Periférica

La suma de las todas las resistencias al movimiento es igual a la fuerza periférica F_U en la polea conductora. Para instalaciones con un solo punto de carga es regla la siguiente sumatoria de resistencias:

$$F_U = C * f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H * g * m'_L \quad (N)$$

5.2.5.1. Factor de longitud C.

Para hallar los valores del factor de longitud de las dos secciones del transportador, se interpola en la tabla 26 de factor de longitud o se busca el valor en la figura de longitud Vs factor de longitud C (anexo 5).

$$L_1 = 16.5 \quad C_1 = 3.525$$

5.2.5.2. Masa de la banda m'_G .

La masa de la banda se determina así:

$$m'_G = m''_G * B \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

Donde:

$$m''_G = 11.2 \text{ Kg/m}^2$$

$$B = 1.2 \text{ m}$$

Entonces se tiene:

$$m'_G = 11.2 * 1.2 \Rightarrow m'_G = 13.44 \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

Con estos datos y los datos anteriores se puede hallar el valor de F_U para el transportador.

$$F_U = C * f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H * g * m'_L \quad (N)$$

$$F_U = 3.525 * 0.016 * 16.5 * 9.81 * [26.63 + (2 * 13.44 + 158.14) * \cos(18)] + 5.1 * 9.81 * 158.14$$

$$F_U = 9762 \quad (N)$$

Con la fuerza periférica F_U se puede hallar nuevamente la potencia requerida en la polea conductora y compararla con la hallada anteriormente:

$$P_T = \frac{F_U * v}{1000} \quad (Kw)$$

$$P_T = \frac{9762 * 1.31}{1000} = 12.8 \quad (Kw)$$

La potencia requerida por el motor es:

$$P_M = \frac{P_T}{\eta} \quad (Kw)$$

$$P_M = \frac{12.8}{0.9} = 14.22 \quad (Kw)$$

De la tabla de motores estándar (tabla 23) se debe escoger un motor de 15Kw., que es el mismo motor que se seleccionó anteriormente, esto es una forma de comprobar los cálculos realizados.

5.2.6. Fuerza periférica en el arranque F_A

Según las reglas antes mencionadas para el cálculo de la fuerza periférica en el arranque entonces se tiene:

$$F_A = 1.5 * F_U \quad (N)$$

$$F_A = 1.5 * 9762 = 14643 \quad (N)$$

5.2.6.1. Aceleración del transportador a_A .

$$a_A = \frac{F_A - F_U}{L * (m'_{Red} + 2 * m'_G + m'_L)} \quad (m / s^2)$$

Donde:

$$m'_{Red} = 0.9 * m'_R$$

$$m'_{Red} = 0.9 * 26.63 = 23.96 \quad (Kg / m)$$

$$a_A = \frac{14343 - 9762}{16.5 * (23.96 + 2 * 13.44 + 158.14)} = 1.4 \quad (m / s^2)$$

5.2.6.2. Tiempo de aceleración t_a .

$$t_a = \frac{v}{a_a} \quad (s)$$

$$t_a = \frac{1.31}{1.41} = 0.9 \quad (s)$$

5.2.6.3. Distancia de aceleración s_A .

Es la distancia en la cual ocurre la aceleración.

$$s_A = v * \frac{t_A}{2} \quad (m)$$

$$s_A = 1.31 * \frac{0.9}{2} = 0.6 \quad (m)$$

5.2.7. Resistencias individuales para cálculos secuenciales

5.2.7.1. Resistencia principal F_H .

$$F_H = f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

$$F_H = 0.016 * 16.5 * 9.81 * [26.63 + (2 * 13.44 + 158.14) * \cos(18)] \quad (N)$$

$$F_H = 525 \quad (N)$$

5.2.7.2. Resistencia secundaria F_N .

$$F_N = (C - 1) * F_H \quad (N)$$

$$F_N = (3.525 - 1) * 525 = 1325 \quad (N)$$

5.2.7.3. Resistencia de fricción.

- Lado carga F_o :

$$F_o = f * L * g * [m'_{Ro} + (m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

$$F_o = 0.016 * 16.5 * 9.81 * [18.58 + (13.44 + 158.14) * \cos(18)] = 468 \quad (N)$$

- Lado retorno:

$$F_u = f * L * g * [m'_{Ru} + (m'_G) * \cos(\delta_1)] \quad (N)$$

$$F_u = 0.016 * 16.5 * 9.81 * [8.04 + (13.44) * \cos(18)] = 53 \quad (N)$$

5.2.7.4. Resistencia a la inclinación.

- Lado carga F_{sto}

$$F_{sto} = H * g * (m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$F_{sto} = 5.1 * 9.81 * (13.44 + 158.14) = 8585 \quad (N)$$

- Lado retorno F_{stu}

$$F_{stu} = H * g * m'_G \quad (N)$$

$$F_{stu} = 5.1 * 9.81 * 13.44 = 672 \quad (N)$$

5.2.7.5. Resistencia inercial.

– Lado carga F_{ao}

$$F_{ao} = L * a * (m'_{Redo} + m'_G + m'_L) \quad (N)$$
$$F_{ao} = 16.5 * 1.4 * (16.7 + 13.44 + 158.14) = 4398 \quad (N)$$

– Lado retorno F_{au}

$$F_{au} = L * a * (m'_{Redu} + m'_G) \quad (N)$$
$$F_{au} = 16.5 * 0.4 * (7.23 + 13.44) = 483 \quad (N)$$

5.2.8. Cálculos secuenciales para T_1 a T_4

Se utiliza una banda con polea de accionamiento de cabeza.

5.2.8.1. Funcionamiento en estado estable.

$$T_2 = F_U * c_2 \quad (N)$$

Donde:

$$c_2 = \frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1}$$

$$c_2 = \frac{1}{e^{0.35 * 3.490} - 1} = 0.41$$

Entonces se tiene:

$$T_2 = F_U * c_2 \quad (N)$$

$$T_2 = 9762 * 0.41 = 4079 \quad (N)$$

$$T_3 = T_2 + F_u - F_{stu} \quad (N)$$

$$T_3 = 4079 + 53 - 672 = 3460 \quad (N)$$

$$T_4 = T_3 \quad (N)$$

$$T_4 = 3460 \quad (N)$$

$$T_1 = T_4 + F_N + F_o + F_{sto} \quad (N)$$

$$T_1 = 3460 + 1325 + 468 + 8585 = 13838 \quad (N)$$

La sumatoria de todas las tensiones es:

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 24836 \quad (N)$$

Se comprueban los cálculos con la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 - F_U \quad (N)$$

$$T_2 = 13838 - 9762 = 4076 \quad (N)$$

Esto permite verificar que los cálculos se están realizando correctamente.

5.2.8.2. Funcionamiento en estado no estable.

$$T_{A2} = F_A * c_{2A} \quad (N)$$

Donde:

$$c_{2A} = \frac{1}{e^{\mu_A * \alpha} - 1}$$

$$c_{2A} = \frac{1}{e^{0.4 * 3.490} - 1} = 0.32$$

Con estos datos se halla T_{A2} :

$$T_{A2} = F_A * c_{2A} \quad (N)$$

$$T_{A2} = 14643 * 0.32 = 4817 \quad (N)$$

$$T_{A3} = T_{A2} + F_u - F_{stu} + F_{au} \quad (N)$$

$$T_{A3} = 4817 + 53 - 672 + 483 = 4680 \quad (N)$$

$$T_{A4} = T_{A3} \quad (N)$$

$$T_{A4} = 4680 \quad (N)$$

$$T_{A1} = T_{A4} + F_N + F_o + F_{sto} + F_{ao} \quad (N)$$

$$T_{A1} = 4680 + 1325 + 468 + 8585 + 4398 = 19456 \quad (N)$$

La sumatoria de todas las tensiones es:

$$T_{A1} + T_{A2} + T_{A3} + T_{A4} = 33632 \quad (N)$$

Se comprueban los cálculos con la siguiente ecuación:

$$T_{A2} = T_{A1} - F_A \quad (N)$$

$$T_{A2} = 19456 - 14643 = 4813 \quad (N)$$

Esto permite verificar que los cálculos se están realizando correctamente.

5.2.9. Corrección de la tensión de a banda

Para este transportador se utiliza un tensor fijo por lo tanto solo se hará la corrección de la tensión por el factor de tensor fijo y por el de tensión mínima T_{min} .

5.2.9.1. Corrección por tensor fijo.

Con un tensor fijo la polea tensora se encuentra en una posición fija después de tensionarse; la distancia de centro a centro no cambia. Dependiendo de las cargas variables, la banda se estira y se encoje dentro de los límites elásticos. La elongación total es constante para todas las condiciones de trabajo, la suma de todas las tensiones tiene que ser constante.

$$\sum T_{trabajo} = \sum T_{Arranque} = Constante$$

La localización de la polea tensora no importa, esta puede estar al final de la descarga, en el tambor de cola o en la mitad el transportador.

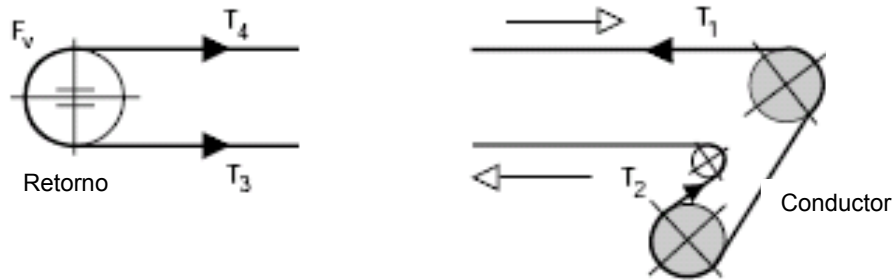


Figura 64. Ubicación polea tensora fija.

El valor de la corrección para tensores fijos es:

$$\Delta T = \frac{\sum T_A - \sum T_B}{4} \quad (N)$$

$$\Delta T = \frac{33632 - 24836}{4} = 2199 \quad (N)$$

Después de realizar el incremento de todas las tensiones en estado estable por el factor de corrección ΔT se tienen las tensiones ajustadas:

$T_1 = 16037$	(N)	$T_{A1} = 19456$	(N)
$T_2 = 6278$	(N)	$T_{A2} = 4817$	(N)
$T_3 = 5659$	(N)	$T_{A3} = 4680$	(N)
$T_4 = 5659$	(N)	$T_{A4} = 4680$	(N)
33632	←	→	33632

5.2.9.2. Corrección por control de la mínima tensión de banda T_{min} .

Se tiene que cumplir que:

Si la tensión $T_4 < T_{min}$ la banda se flexa entre los rodillos de carga. Para evitar esta deflexión se tiene que cumplir que $T_4 \geq T_{min}$ y para esto todas las tensiones de la banda tanto las de estado estable como las de estado no estable tienen que ser incrementadas por el valor de la corrección ΔT_{min} . Para ello se tiene que hallar el valor de la tensión mínima T_{min} .

$$T_{min} = \frac{(m'_L + m'_G) * l_o * g}{8 * h_{rel}} \quad (N)$$

$$T_{min} = \frac{(158.14 + 13.44) * 1.2 * 9.81}{8 * 0.01} = 25249 \quad (N)$$

$$\Delta T_{min} = T_{min} - T_4$$

$$\Delta T_{min} = 25249 - 5659 = 19590$$

Con esto se hallan las tensiones aumentadas:

$$\begin{array}{ll} T_1 = 35627 & (N) \quad T_{A1} = 39046 & (N) \\ T_2 = 25869 & (N) \quad T_{A2} = 24407 & (N) \\ T_3 = 25249 & (N) \quad T_{A3} = 24270 & (N) \\ T_4 = 25249 & (N) \quad T_{A4} = 24270 & (N) \\ & 111994 \quad \longleftrightarrow \quad 111994 \end{array}$$

De esta forma se tienen los valores de las tensiones que soportará la banda transportadora, las cuales cumplen con los dos requisitos estipulados para este tipo de transportador: $T_{A2} = T_2$ $T_4 \geq T_{min}$

Después de hallar las tensiones de la banda se halla la pre-tensión del tensor fijo.

$$F_V = \frac{\sum T}{4 * g} * 2 \quad (Kg)$$

$$F_V = \frac{111994}{4 * 9.81} * 2 = 5708 \quad (Kg)$$

5.2.10. Factor de seguridad

Para ciertas condiciones de funcionamiento se han fijado valores mínimos de seguridad.

$$S_B = \frac{K_N * B * C_V}{T_{max}}$$

Estado estable

$$S_A = \frac{K_N * B * C_V}{T_{Amax}}$$

Estado no estable

Ahora se hallan los factores de seguridad par la banda escogida:

$$S_B = \frac{K_N * B * C_V}{T_{max}}$$

$$S_B = \frac{315 * 1200 * 0.75}{35627} = 8$$

$$S_A = \frac{K_N * B * C_V}{T_{Amax}}$$

$$S_B = \frac{315 * 1200 * 0.75}{39046} = 7.3$$

Según las recomendaciones para un trabajo normal y una banda textil según la tabla de valores mínimos para el factor de seguridad según las condiciones de trabajo (anexo 8) se tiene:

$$S_B \geq 8.0$$

$$S_A \geq 5.4$$

Lo que indica que los valores de los factores de seguridad están dentro de los límites permitidos para una instalación como la que se tiene.

5.2.11. Recorrido del tensor

Para un tensor fijo el recorrido se da al tensionar la banda.

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{111994 * 16.5}{2 * 1.2 * 14 * 315} = 174.6 \quad (mm)$$

5.2.12. Diámetro de las poleas del transportador

Para determinar los diámetros de las poleas primero se averigua el diámetro de la polea conductora con tensión máxima.

$$D_{Tr} = C_{Tr} * d \quad (mm)$$

$$D_{Tr} = 108 * 3.7 = 399.6 \quad (mm)$$

El valor del diámetro final de la polea se halla redondeando por arriba hasta el siguiente diámetro estándar de poleas (tabla 32) o si se trabaja en condiciones favorables se puede redondear por abajo. Para este caso se toma el siguiente más alto valor de diámetro para la polea.

$$D_{Tr} = 400 \quad (mm)$$

Después de que el diámetro de la polea más grande ha sido determinado, el diámetro del grupo de poleas A, B, C, puede ser obtenido de la tabla:

Para una polea conductora (grupo A) con un diámetro $D_{TrA} = 400$ mm se tiene:

Diámetro polea de cola (grupo B) $D_{TrB} = 315$ mm

Diámetro poleas tensoras (grupo C) $D_{TrC} = 250$ mm

5.2.13. Porcentaje de utilización

$$k_A = \frac{T_{max} * S}{B * k_N} * 100 \quad (\%)$$

$$k_A = \frac{35627 * 8}{1200 * 315} * 100 = 75.4(\%)$$

Este valor quiere decir que la rata de tensión de utilización de la banda es totalmente empleada, según la tabla 34 donde se muestran los valores limites de este porcentaje. Si no se cumple con estos valores se tienen que realizar las correcciones señaladas en esta.

5.2.14. Revoluciones de la polea conductora

Con este cálculo se halla la velocidad de salida del sistema de transmisión que se va a utilizar en la instalación.

$$n_T = \frac{v * 60}{\pi * D_{Tr}} \quad (rpm)$$

$$n_T = \frac{1.31 * 60}{\pi * 0.4} = 62.5 \quad (rpm)$$

5.2.15. Torque máximo en el arranque

Es el torque máximo alcanzado por el transportador en el momento del arranque de la instalación.

$$M_A = \frac{F_A * D_{Tr}}{2} \quad (Nm)$$

$$M_A = \frac{14643 * 0.4}{2} = 2928.5 \quad (Nm)$$

5.2.16. Carga de la polea conductora

$$F_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{9.81} \quad (\text{Kg})$$

$$F_T = \frac{39046 + 24407}{9.81} = 6468.2 \quad (\text{Kg})$$

5.2.17. Presión de superficie

Con poleas recubiertas de caucho, la presión límite promedio de la superficie es aproximadamente 70 N/cm². Estos límites solo son alcanzados en condiciones de trabajo pesado y con diámetros pequeños de poleas.

$$p_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{D_{TR} * B} \quad (\text{N/cm}^2)$$

$$p_T = \frac{39046 + 24407}{40 * 120} = 13.21 \quad (\text{N/cm}^2)$$

5.2.18. Transición de canales

$$L_M = x * s * \text{sen}(\lambda) \quad (\text{mm})$$

$$L_M = 8 * 367.5 * \text{sen}(30) = 1470 \quad (\text{mm})$$

5.2.19. Elevación de la polea

Para aliviar la banda de los esfuerzos de borde la polea puede ser levantada ligeramente el valor h.

$$h = \frac{s^2}{B} * \text{sen}(\lambda) \quad (\text{mm})$$

$$h = \frac{367.5^2}{1200} * \text{sen}(30) = 56.3 \quad (\text{mm})$$

También se tiene la distancia reducida de transición:

$$L_{red} = x * (s * \text{sen}(\lambda) - h) \quad (mm)$$

$$L_{red} = 8 * (367.5 * \text{sen}(30) - 56.3) = 1019.6 \quad (mm)$$

Esta distancia se puede utilizar cuando el valor de la elevación de la polea no difiere con los valores de la tabla de valores de elevación de la polea (tabla 35) para el ancho de la banda y el ángulo de acanalado.

5.2.20. Ajuste adicional de banda

5.2.20.1. Seguridad en la zona de bordes:

- Promedio de elongación

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_B}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{14 * 8} = 0.00897$$

- Longitud de la curva

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * \lambda$$

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * 30 = 0.5235$$

- Elongación adicional

$$\varepsilon_K = \frac{s^2 * \hat{\lambda}^2}{L^2} * \frac{s^2}{B^2} * (0.5 - \frac{s}{3 * B})$$

$$\varepsilon_K = \frac{367.5^2 * 0.5235^2}{1470^2} * \frac{367.5^2}{1200^2} * (0.5 - \frac{367.5}{3 * 1200}) = 0.0084$$

- Elongación total

$$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_0 + \varepsilon_K$$

$$\varepsilon_{ges} = 0.00897 + 0.0084 = 0.01738$$

- Factor mínimo de seguridad

$$S_{min} = \frac{1}{K_D * \varepsilon_{ges}}$$

$$S_{min} = \frac{1}{14 * 0.01738} = 4.1$$

Y según la tabla de valores del factor de seguridad mínimo (ver anexo 11) para una banda textil y una condición normal de funcionamiento, el factor mínimo de seguridad $S_{min} \geq 3.5$. Por lo tanto en los bordes de la banda en la zona de transición no se presentaran sacudidas.

5.2.20.2. Elongación en el centro de la banda del punto de descarga

- Factor de seguridad mínimo en le punto de descarga del transportador

$$S_{min} = \frac{k_N * B * C_V}{T_2}$$

$$S_{min} = \frac{315 * 1200 * 0.75}{25869} = 10.95$$

- Promedio de elongación

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_{min}}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{14 * 10.95} = 0.0065$$

- Elongación adicional

$$\varepsilon_M = \frac{s^3 * \hat{\lambda}^2}{3 * B * L^2}$$

$$\varepsilon_M = \frac{367.5^3 * 0.5235^2}{3 * 1200 * 1470^2} = 0.00175$$

- Elongación total

Para que no se presenten deformaciones en el centro de la banda se tiene que cumplir que: $\varepsilon_{\min} \geq 0$

$$\varepsilon_{\min} = \varepsilon_0 + \varepsilon_M$$

$$\varepsilon_{\min} = 0.0065 - 0.00175 = 0.0047$$

Por lo tanto en la mitad de la banda del punto de descargue no se presentarán deformaciones.

5.2.20.3. Elongación en el centro de la banda en la polea de cola

- Factor de seguridad mínimo en la polea de cola

$$S_{\min} = \frac{k_N * B * C_V}{T_3}$$

$$S_{\min} = \frac{315 * 1200 * 0.75}{25249} = 11.22$$

- Promedio de elongación

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_{\min}}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{14 * 11.22} = 0.0063$$

- Elongación adicional

$$\varepsilon_M = \frac{s^3 * \hat{\lambda}^2}{3 * B * L^2}$$

$$\varepsilon_M = \frac{367.5^3 * 0.5235^2}{3 * 1200 * 1470^2} = 0.00175$$

- Elongación total

Para que no se presenten deformaciones en el centro de la banda se tiene que cumplir que: $\varepsilon_{min} \geq 0$

$$\varepsilon_{min} = \varepsilon_0 + \varepsilon_M$$

$$\varepsilon_{min} = 0.0062 - 0.00175 = 0.0046$$

Por lo tanto en la mitad de la banda de la polea de cola no se presentarán deformaciones.

5.3. CALCULOS PARA EL DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA PRINCIPAL EN MINA

Como se ve en la siguiente grafica y según la localización y la configuración más apropiada para la instalación de la trituradora es la mina Las Monjas, esta instalación contará con dos bandas transportadoras, la principal que es la encargada de llevar la caliza triturada hasta los silos, y una secundaria que es la que transporta la caliza triturada al patio de reservas cuando los silos se llenan.

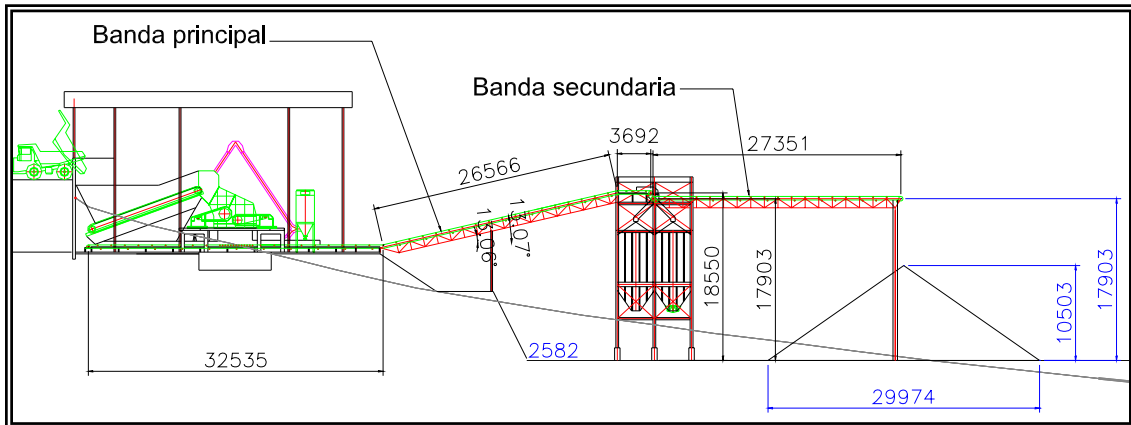


Figura 65. Bandas transportadoras por la trituradora Hazemag en mina las monjas

5.3.1. Datos para el diseño de la banda transportadora principal en mina

Para el diseño de estas bandas ya no es necesario realizar todos los cálculos, debido a que el material a transportar es el mismo que se transporta en la banda del apilado, se pueden tomar algunos datos que serán los mismos para este diseño y que no vale la pena realizarlos de nuevo.

- Material a transportar: Caliza triturada
- Granulometría del material: 25 mm en la diagonal.
- Densidad ρ : 1,4 t/m³
- Angulo de sobrecarga β_{Dyn} : 15°
- Capacidad: 745.8 Ton/hora.
- Ancho de banda: 1200 mm.
- Tipo de canal: 3 rodillos.
- Angulo de rodillos de carga: 30°
- Velocidad: 1.31 m/s
- Distancia entre rodillos de carga: $l_o = 1.2$ m
- Distancia entre rodillos de retorno: $l_u = 2.4$ m
- Distancia entre rodillos de impacto: $l_i = 0.6$ m

- Diámetro de rodillos de carga y retorno: $D_R = 133 \text{ mm}$
- Diámetro de rodillos de impacto: $D_R = 156 \text{ mm}$
- Masa conjunto rodillos de carga: $m_{R0} = 22.3 \text{ (Kg)}$
- Masa rodillos de retorno: $m_{Ru0} = 19.3 \text{ (Kg)}$
- Masa de los rodillos: $m'_R = 26.63 \text{ (Kg/m)}$
- Masa de la carga: $m'_L = 158.14 \text{ (Kg/m)}$
- Factor de fricción artificial: $f = 0.016$

5.3.2. Requerimientos de potencia

Los requerimientos de potencia para esta banda se pueden hallar de la siguiente manera:

5.3.2.1. Potencia para el transportador en vacío o con carga horizontal.

$$P_1 = \frac{C_B * v + Q_m}{C_L * K_f} \quad (Kw)$$

Para los cálculos se tienen los siguientes datos:

- De la tabla 20 y con una condición de trabajo media, una densidad del material transportado entre 1 y 2 t/m³ y un ancho de banda de 1200 mm se determina el factor de ancho de banda: $C_B = 277$
- Con la longitud del transportador $L = 16.5 \text{ (m)}$ y los valores de C_L obtenidos de la tabla 21 interpolando entre los valores más cercanos se halla el factor de longitud: $C_L = 145.3$.
- De la tabla 22 de Factor de condiciones de trabajo y contando con una condición de ambiente polvoriento y posibles sobrecargas se tiene: $K_f = 0.87$

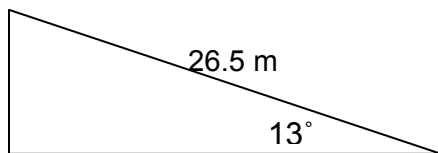
Con estos datos se halla la Potencia para el transportador en vacío o con carga sobre la horizontal (P_1):

$$P_1 = \frac{277 * 1.31 + 745.8}{145.3 * 0.87} = 6.64 \quad (Kw)$$

5.3.2.2. Potencia para elevación de la carga.

$$P_2 = \frac{H * Q_m}{367} \quad (Kw)$$

Para esta banda se tiene una altura de elevación de:



Para lo cual se tiene:

$$H = \text{sen} (13) * 26.5 = 5.9 \quad (m)$$

$$P_2 = \frac{5.9 * 745.8}{367} = 11.25 \quad Kw$$

5.3.2.3. Potencia en la polea conductora.

$$P_T = P_1 + P_2 \quad (Kw)$$

$$P_T = 6.64 + 11.25 = 17.9 \quad (Kw)$$

5.3.2.4. Potencia requerida por el motor.

$$P_M = \frac{P_T}{\eta}$$

$$P_M = \frac{17.9}{0.9} = 19.8 \quad (Kw)$$

De la tabla de motores estándar (tabla 23) se escoge el que se adapte a nuestras necesidades de potencia, entonces:

$$P_N = 22 \text{ (Kw)}$$

5.3.3. Tipo de banda

Mediante la ecuación que se presenta a continuación se calcula el esfuerzo de rotura de la banda para posteriormente determinar el tipo de banda a emplear:

$$k = \frac{C_R}{C_V} * \frac{P_T}{V}$$

C_R = Factor de fricción

C_V = Factor de junta de bandas

Para los cálculos se tienen los siguientes datos:

- El factor de fricción (C_R) se halla conociendo el tipo de superficie de la polea conductora y el ancho de la banda, los valores de este factor se encuentran tabulados en la tabla 24 donde: $C_R = 15$
- El valor de junta de bandas (C_V) lo tomamos se halla de la tabla 25 que se presenta a continuación, suponiendo una banda de 4 capas de la referencia SUPERFORT se tiene: $C_V = 0.75$

Con estos dos datos se calcula el esfuerzo de rotura:

$$k = \frac{15}{0.75} * \frac{17.9}{1.31} = 273.15. \quad (N / mm)$$

Igualmente que para la repotenciación de la banda de apilado y la del apilador, con el valor del esfuerzo de rotura y la tabla de peso y espesores de bandas (anexo 4) se selecciona la banda a utilizar. Por recomendación el esfuerzo de rotura para la banda seleccionada se tiene que aproximar a un valor estándar por arriba del valor hallado, para este caso sería de 315 (N/mm) y según la tabla de peso y espesores de banda, la banda apropiada para esta aplicación es:

Banda: EP 315/4 4+2 mm capas.

Peso de banda $m''_G = 11.2 \text{ Kg/m}^2$

Espesor de la carcasa = 3.7mm.

5.3.4. Fuerza Periférica

La suma de las todas las resistencias al movimiento es igual a la fuerza periférica F_U en la polea conductora. Para instalaciones con un solo punto de carga es regla la siguiente sumatoria de resistencias:

$$F_U = C * f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H * g * m'_L \quad (N)$$

5.3.4.1. Factor de longitud C.

Para hallar los valores del factor de longitud del transportador, se interpola en la tabla 26 de factor de longitud o se busca el valor en la figura de longitud Vs factor de longitud C (anexo 5).

$$L = 62.8 \quad C = 2$$

5.3.4.2. Masa de la banda m'_G (Kg/m)

La masa de la banda se determina así:

$$m'_G = m''_G * B \quad (Kg / m)$$

Donde:

$$m'_G = 11.2 \text{ Kg/m}^2$$

$$B = 1.2 \text{ m}$$

$$m'_G = 11.2 * 1.2 \Rightarrow m'_G = 13.44 \quad (\text{Kg} / \text{m})$$

Con estos datos y los datos anteriores podemos hallar los valores de F_U para el transportador.

$$F_U = C * f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] + H * g * m'_L \quad (N)$$

$$F_U = 2 * 0.016 * 62.8 * 9.81 * [26.63 + (2 * 13.44 + 158.14) * \cos(13)] + 5.9 * 9.81 * 158.14$$

$$F_U = 13387 \quad (N)$$

Con la fuerza periférica F_U se puede hallar nuevamente la potencia requerida en la polea conductora y compararla con la hallada anteriormente:

$$P_T = \frac{F_U * v}{1000} \quad (\text{Kw})$$

$$P_T = \frac{13387 * 1.31}{1000} = 17.5 \quad (\text{Kw})$$

La potencia requerida por el motor es:

$$P_M = \frac{P_T}{\eta} \quad (\text{Kw})$$

$$P_M = \frac{17.5}{0.9} = 19.5 \quad (\text{Kw})$$

De la tabla de motores estándar (tabla 23) se debe escoger un motor de 22Kw, que es el mismo motor que se seleccionó anteriormente, esto es una forma de comprobar los cálculos realizados.

5.3.5. Fuerza periférica en el arranque F_A

Según las reglas antes mencionadas para el cálculo de la fuerza periférica en el arranque se tiene:

$$F_A = 1.5 * F_U \quad (N)$$
$$F_A = 1.5 * 13387 = 20081 \quad (N)$$

Después de hallar la fuerza periférica en el arranque (F_A) se puede hallar los valores de la aceleración, el tiempo de arranque y la distancia de arranque del transportador.

5.3.5.1. Aceleración del transportador a_A .

$$a_A = \frac{F_A - F_U}{L * (m'_{Red} + 2 * m'_G + m'_L)} \quad (m/s^2)$$

Donde:

$$m'_{Red} = 0.9 * m'_R$$
$$m'_{Red} = 0.9 * 26.63 = 23.96 \quad (Kg / m)$$

$$a_A = \frac{20081 - 13387}{62.8 * (23.96 + 2 * 13.44 + 158.14)} = 0.51 \quad (m/s^2)$$

5.3.5.2. Tiempo de aceleración t_a .

Es el tiempo que dura en acelerarse la carga.

$$t_a = \frac{v}{a_a} \quad (s)$$
$$t_a = \frac{1.31}{0.51} = 2.56 \quad (s)$$

5.3.5.3. Distancia de aceleración s_A .

Es la distancia en la cual ocurre la aceleración.

$$s_A = v * \frac{t_A}{2} \quad (m)$$

$$s_A = 1.31 * \frac{2.56}{2} = 1.68 \quad (m)$$

5.3.6. Resistencias individuales para cálculos secuenciales

5.3.6.1. Resistencia principal F_H .

$$F_H = f * L * g * [m'_{R} + (2 * m'_{G} + m'_{L}) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

$$F_H = 0.016 * 62.8 * 9.81 * [26.63 + (2 * 13.44 + 158.14) * \cos(13)] \quad (N)$$

$$F_H = 2039 \quad (N)$$

5.3.6.2. Resistencia secundaria F_N .

$$F_N = (C - 1) * F_H \quad (N)$$

$$F_N = (2 - 1) * 2039 = 2039 \quad (N)$$

5.3.6.3. Resistencia de fricción.

- Lado carga F_o :

$$F_o = f * L * g * [m'_{Ro} + (m'_{G} + m'_{L}) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

$$F_o = 0.016 * 62.8 * 9.81 * [18.58 + (13.44 + 158.14) * \cos(13)] = 1826 \quad (N)$$

- Lado retorno:

$$F_u = f * L * g * [m'_{Ru} + (m'_{G}) * \cos(\delta_1)] \quad (N)$$

$$F_u = 0.016 * 62.8 * 9.81 * [8.04 + (13.44) * \cos(13)] = 206 \quad (N)$$

5.3.6.4. Resistencia a la inclinación.

- **Lado carga F_{sto}**

$$F_{sto} = H * g * (m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$F_{sto} = 5.9 * 9.81 * (13.44 + 158.14) = 10099 \quad (N)$$

- **Lado retorno F_{stu}**

$$F_{stu} = H * g * m'_G \quad (N)$$

$$F_{stu} = 5.9 * 9.81 * 13.44 = 791 \quad (N)$$

5.3.6.5. Resistencia inercial.

- **Lado carga F_{ao}**

$$F_{ao} = L * a * (m'_{Redo} + m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$F_{ao} = 62.8 * 0.51 * (16.7 + 13.44 + 158.14) = 6031 \quad (N)$$

- **Lado retorno F_{au}**

$$F_{au} = L * a * (m'_{Redu} + m'_G) \quad (N)$$

$$F_{au} = 62.8 * 0.51 * (7.23 + 13.44) = 662 \quad (N)$$

5.3.7. Cálculos secuenciales para T_1 a T_4

Se utiliza una banda con patea de accionamiento de cabeza.

5.3.7.1. Funcionamiento en estado estable.

$$T_2 = F_U * c_2 \quad (N)$$

Donde:

$$c_2 = \frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1}$$

$$c_2 = \frac{1}{e^{0.35 \cdot 3.490} - 1} = 0.41$$

Con estos datos se halla T_2 :

$$T_2 = F_U \cdot c_2 \quad (N)$$

$$T_2 = 13387 \cdot 0.41 = 5594 \quad (N)$$

$$T_3 = T_2 + F_u - F_{stu} \quad (N)$$

$$T_3 = 5594 + 206 - 761 = 5009 \quad (N)$$

$$T_4 = T_3 \quad (N)$$

$$T_4 = 5009 \quad (N)$$

$$T_1 = T_4 + F_N + F_o + F_{sto} \quad (N)$$

$$T_1 = 5009 + 2039 + 1826 + 10099 = 18975 \quad (N)$$

La sumatoria de todas las tensiones es:

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 34588 \quad (N)$$

Se comprueban los cálculos con la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 - F_U \quad (N)$$

$$T_2 = 18975 - 13387 = 5587 \quad (N)$$

Esto permite verificar que los cálculos se están realizando correctamente.

5.3.7.2. Funcionamiento en estado no estable.

$$T_{A2} = F_A \cdot c_{2A} \quad (N)$$

Donde:

$$c_{2A} = \frac{1}{e^{\mu_A * \alpha} - 1}$$

$$c_{2A} = \frac{1}{e^{0.4 * 3.490} - 1} = 0.32$$

Con estos datos se halla T_{A2} :

$$T_{A2} = F_A * c_{2A} \quad (N)$$

$$T_{A2} = 20081 * 0.32 = 6605 \quad (N)$$

$$T_{A3} = T_{A2} + F_u - F_{stu} + F_{au} \quad (N)$$

$$T_{A3} = 6605 + 206 - 791 + 662 = 6683 \quad (N)$$

$$T_{A4} = T_{A3} \quad (N)$$

$$T_{A4} = 6683 \quad (N)$$

$$T_{A1} = T_{A4} + F_N + F_o + F_{sto} + F_{ao} \quad (N)$$

$$T_{A1} = 6683 + 2039 + 1826 + 10099 + 6031 = 26680 \quad (N)$$

La sumatoria de todas las tensiones es:

$$T_{A1} + T_{A2} + T_{A3} + T_{A4} = 46651 \quad (N)$$

Se comprueban los cálculos con la siguiente ecuación:

$$T_{A2} = T_{A1} - F_A \quad (N)$$

$$T_{A2} = 26680 - 20081 = 6599 \quad (N)$$

Esto permite verificar que los cálculos se están realizando correctamente.

5.3.8. Corrección de la tensión de a banda

Para este transportador se utiliza un tensor de peso móvil (peso tensor) por lo tanto solo se hará la corrección de la tensión por el factor de peso tensor y por el de tensión mínima T_{\min} .

5.3.8.1. Corrección por peso tensor.

Todo el peso del tensor es efectivo tanto en reposo como en funcionamiento, toda la tensión de la banda en estado estable se incrementa por el valor de la corrección ΔT para que se cumpla la condición $T_{A2} = T_2$.

$$T_{A2} = T_2 \quad (\text{Tención constante})$$

$$\Delta T = T_{A2} - T_2 \quad (N)$$

$$\Delta T = 6605 - 5594 = 1011 \quad (N)$$

Después de realizar el incremento de todas las tensiones en estado estable por el factor de corrección ΔT se tienen las tensiones ajustadas:

$$T_1 = 19986 \quad (N) \quad T_{A1} = 26680 \quad (N)$$

$$T_2 = 6605 \quad (N) \quad \leftrightarrow \quad T_{A2} = 6605 \quad (N)$$

$$T_3 = 6021 \quad (N) \quad T_{A3} = 6683 \quad (N)$$

$$T_4 = 6021 \quad (N) \quad T_{A4} = 6683 \quad (N)$$

5.3.8.2. Corrección por control de la mínima tensión de banda T_{\min} .

Se tiene que cumplir que:

Si la tensión $T_4 < T_{\min}$ la banda se flecta entre los rodillos de carga. Para evitar esta deflexión se tiene que cumplir que $T_4 \geq T_{\min}$ y para esto todas las tensiones de la banda tanto las de estado estable como las de estado no estable tienen que ser incrementadas por el valor de la corrección ΔT_{\min} .

Para ello se tiene que hallar el valor de la tensión mínima T_{\min} .

$$T_{min} = \frac{(m'_L + m'_G) * l_o * g}{8 * h_{rel}} \quad (N)$$

Esta deflexión tiene que estar entre 0.5% y el 1.5% de la distancia entre centros de los rodillos de carga y entre 2% y el 3% de la distancia entre centros de los rodillos de retorno, para este caso se toma $h_{rel} = 1\% = 0.01$.

$$T_{min} = \frac{(m'_L + m'_G) * l_o * g}{8 * h_{rel}} \quad (N)$$

$$T_{min} = \frac{(158.14 + 13.44) * 1.2 * 9.81}{8 * 0.01} = 25248 \quad (N)$$

$$\Delta T_{min} = T_{min} - T_4$$

$$\Delta T_{min} = 25248 - 6021 = 19228$$

Con esto se hallan las tensiones aumentadas:

$$T_1 = 39214 \quad (N) \quad T_{A1} = 45907 \quad (N)$$

$$T_2 = 25833 \quad (N) \leftrightarrow T_{A2} = 25833 \quad (N)$$

$$T_3 = 25248 \quad (N) \quad T_{A3} = 25911 \quad (N)$$

$$T_4 = 25248 \quad (N) \quad T_{A4} = 25911 \quad (N)$$

De esta forma se tienen los valores de las tensiones que soportara la banda transportadora, las cuales cumplen con los dos requisitos estipulados para este tipo de transportador: $T_{A2} = T_2$ $T_4 \geq T_{min}$

Después de hallar las tensiones de la banda se halla la pre-tensión y el peso del tensor móvil.

5.3.8.3. Peso y tensión necesaria para el tensor.

El tamaño del tensor depende de la localización del sistema (ver figura).

$F_V = T_3 + T_4$ (N) Si el peso tensor se encuentra en la polea de cola.

$F_V = 2 * T_2$ (N) Si el peso tensor esta en la carrera de retorno de la banda.

Para este diseño se toma la segunda alternativa por lo tanto la tensión y el peso del dispositivo son:

- **Tensión del sistema tensor**

$$F_V = 2 * T_2 \quad (N)$$

$$F_V = 2 * 25833 = 51666 \quad (N)$$

- **Peso del sistema tensor**

$$G_V = \frac{F_V}{g} \quad (Kg)$$

$$G_V = \frac{51666}{9.81} = 5266.6 \quad (Kg)$$

5.3.9. Factor de seguridad

El factor de seguridad de la banda seleccionada se determina y se verifica. Para ciertas condiciones de funcionamiento se han fijado valores mínimos de seguridad.

$$S_B = \frac{K_N * B * C_V}{T_{max}}$$

Estado estable

$$S_A = \frac{K_N * B * C_V}{T_{Amax}}$$

Estado no estable

Ahora se hallan los factores de seguridad par la banda escogida:

$$S_B = \frac{K_N * B * C_V}{T_{max}}$$

$$S_B = \frac{315 * 1200 * 0.75}{39214} = 7.23$$

$$S_A = \frac{K_N * B * C_V}{T_{Amax}}$$

$$S_B = \frac{315 * 1200 * 0.75}{45907} = 6.1$$

Según las recomendaciones para un trabajo confiable con pocos cambios de carga y una banda textil (anexo 8) se tiene:

$$S_B \geq 6.7$$

$$S_A \geq 4.8$$

Lo que indica que los valores de los factores de seguridad están dentro de los límites permitidos para una instalación como la que se tiene.

5.3.10. Recorrido del tensor

Este recorrido se tiene que calcular teniendo en cuenta los cambios de tensión que ocurren en el arranque, funcionamiento con carga y en reposo.

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (m)$$

Donde:

ΣT (N) Sumatoria de las tensiones.

- Para transportador en reposo

$$\sum T = 4 * T_2 \quad (N)$$

$$\sum T = 4 * 25833 = 103332 \quad (N)$$

- Para transportador en funcionamiento en estado estable

$$\sum T = 115543 \quad (N)$$

- Para transportador en funcionamiento en estado no estable

$$\sum T_A = 123562 \quad (N)$$

Donde:

L = Longitud total del transportador (m)

B = Ancho de banda (m)

k_N = Esfuerzo nominal de rotura (N/mm)

k_D = Valor de elongación.

Este valor se obtiene de la gráfica de valores de elongación conociendo el esfuerzo nominal de rotura (anexo 9).

Par un esfuerzo nominal de rotura $k_N = 315$ (N/mm) se tiene: $k_D = 14$

Con estos datos se puede hallar los diferentes valores del recorrido del tensor según las diferentes condiciones de trabajo:

- Transportador en reposo:

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{103332 * 62.8}{2 * 1.2 * 14 * 315} = 599 \quad (mm)$$

- Transportador en estado estable de funcionamiento

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{115543 * 62.8}{2 * 1.2 * 14 * 315} = 685.5 \quad (mm)$$

- Transportador en estado no estable de funcionamiento

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{123562 * 62.8}{2 * 1.2 * 14 * 315} = 733.15 \quad (mm)$$

La instalación del peso tensor se tiene que diseñar basándose en estos datos de recorrido.

5.3.11. Diámetro de las poleas del transportador

Para determinar los diámetros de las poleas primero se averigua el diámetro de la polea conductora con tensión máxima.

$$D_{Tr} = C_{Tr} * d \quad (mm)$$

Donde:

C_{Tr} = Valor de la deformación del material de la carcasa

Este valor se halla de la tabla 31 conociendo el tipo de banda utilizar. Para el diseño se tiene una banda SUPERFORT multi-capas con esto se tiene que $C_{Tr} = 108$.

d = Espesor de la carcasa (anexo 4) (mm)

Para la banda escogida SUPRFORT S 315/4 se tiene un espesor de carcadas de $d = 3.7$ (mm)

Con estos datos se calcula el diámetro de la polea conductora con tensión máxima:

$$D_{Tr} = C_{Tr} * d \quad (mm)$$

$$D_{Tr} = 108 * 3.7 = 399.6 \quad (mm)$$

El valor del diámetro final de la polea se halla redondeando por arriba hasta el siguiente diámetro estándar de poleas (tabla 32) o si se trabaja en condiciones favorables se puede redondear por abajo. Para este caso se toma el siguiente más alto valor de diámetro para la polea.

$$D_{Tr} = 400 \quad (mm)$$

Después de que el diámetro de la polea más grande ha sido determinado, el diámetro del grupo de poleas A, B, C, puede ser obtenido de la tabla 33:

Para una polea conductora (grupo A) con un diámetro $D_{TrA} = 400$ mm se tiene:

Diámetro polea de cola (grupo B) $D_{TrB} = 315$ mm

Diámetro poleas tensoras (grupo C) $D_{TrC} = 250$ mm

5.3.11.1. Porcentaje de utilización

$$k_A = \frac{T_{max} * S}{B * k_N} * 100 \quad (\%)$$

$$k_A = \frac{39214 * 7.23}{1200 * 315} * 100 = 75(\%)$$

Este valor quiere decir que la rata de tensión de utilización de la banda es totalmente utilizada, según la tabla 34 donde se muestran los valores limites de este porcentaje. Si no se cumplen con estos valores se tienen que realizar las correcciones señaladas en esta.

5.3.11.2. Revoluciones de la polea conductora.

Con este cálculo se halla la velocidad de salida del sistema de transmisión que se va a utilizar en la instalación.

$$n_T = \frac{v * 60}{\pi * D_{Tr}} \quad (rpm)$$

$$n_T = \frac{1.31 * 60}{\pi * 0.4} = 62.5 \quad (rpm)$$

5.3.11.3. Torque máximo en el arranque.

Es el torque máximo alcanzado por el transportador en el momento del arranque de la instalación.

$$M_A = \frac{F_A * D_{Tr}}{2} \quad (Nm)$$

$$M_A = \frac{20081 * 0.4}{2} = 4016.17 \quad (Nm)$$

5.3.11.4. Carga de la polea conductora.

$$F_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{9.81} \quad (Kg)$$

$$F_T = \frac{45907 + 25833}{9.81} = 7312.9 \quad (Kg)$$

5.3.11.5. Presión de superficie.

Con poleas recubiertas de caucho, la presión límite promedio de la superficie es aproximadamente 70 N/cm². Estos límites solo son alcanzados en condiciones de trabajo pesado y con diámetros pequeños de poleas.

$$p_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{D_{TR} * B} \quad (N / cm^2)$$

$$p_T = \frac{45907 + 25833}{40 * 120} = 14.94 \quad (N / cm^2)$$

5.3.12. Transición de canales

$$L_M = x * s * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

$$L_M = 8 * 367.5 * \text{sen}(30) = 1470 \quad (mm)$$

5.3.13. Elevación de la polea

Para aliviar la banda de los esfuerzos de borde la polea puede ser levantada ligeramente el valor h.

$$h = \frac{s^2}{B} * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

$$h = \frac{367.5^2}{1200} * \text{sen}(30) = 56.3 \quad (mm)$$

También se tiene la distancia reducida de transición:

$$L_{red} = x * (s * \text{sen}(\lambda) - h) \quad (mm)$$

$$L_{red} = 8 * (367.5 * \text{sen}(30) - 56.3) = 1019.6 \quad (mm)$$

Esta distancia se puede utilizar cuando el valor de la elevación de la polea no difiere con los valores de la tabla 35 para el ancho de la banda y el ángulo de acanalado.

5.3.14. Curva vertical convexa

En la transición de un plano inclinado a uno horizontal la zona del borde de la banda esta sujeto a estiramientos adicionales.

5.3.14.1. Radio de la curva vertical convexa.

$$R_e = x * s * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

$$R_e = 125 * 367.5 * \text{sen}(30) = 22968 \quad (mm)$$

5.3.14.2. Longitud de la curva.

$$L = \frac{\pi * \delta * R_e}{180} \quad (m)$$

$$L = \frac{\pi * 13 * 22.96}{180} = 5.21 \quad (m)$$

5.3.14.3. Número de rodillos en la curva.

$$z = \frac{\delta}{\alpha} \quad (\text{Piezas})$$

$$z = \frac{13}{2} = 6.5 \approx 7 \quad (\text{Piezas})$$

5.3.14.4. Separación de los rodillos de carga en la curva.

$$l_0 = \frac{L}{z} \quad (m)$$

$$l_0 = \frac{5.21}{7} = 0.75 \quad (m)$$

5.3.15. Curva vertical cóncava

En una curva cóncava vertical la banda va de horizontal a inclinada. En el arranque o en el cambio de carga existe la probabilidad de que la banda se despegue de los rodillos de carga en esta región. Esto puede conducir a una disminución de la pretensión de la banda.

5.3.15.1. Radio de concavidad.

$$R_a = \frac{T_x}{m'_G * \cos(\delta) * g} \quad (m)$$

T_x = Tensión al comienzo de la curva cuando la banda va con carga plena. (N)

Entonces:

$$T_x = T_4 + f * L_x * g * (m'_{R0} + m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$T_x = 25248 + 0.016 * 62.8 * 9.81 * (22.3 + 13.44 + 158.14) = 26238.6 \quad (N)$$

Y el radio de concavidad es:

$$R_a = \frac{T_x}{m'_G * \cos(\delta) * g} \quad (m)$$

$$R_a = \frac{26238.6}{13.44 * \cos(13) * 9.81} = 204 \quad (m)$$

5.3.16. Ajuste adicional de banda

5.3.16.1. Seguridad en la zona de bordes

- Promedio de elongación

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_B}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{14 * 7.23} = 0.00988$$

- Longitud de la curva

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * \lambda$$

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * 30 = 0.5235$$

- Elongación adicional

$$\varepsilon_K = \frac{s^2 * \hat{\lambda}^2}{L^2} * \frac{s^2}{B^2} * \left(0.5 - \frac{s}{3 * B}\right)$$

$$\varepsilon_K = \frac{367.5^2 * 0.5235^2}{1470^2} * \frac{367.5^2}{1200^2} * \left(0.5 - \frac{367.5}{3 * 1200}\right) = 0.0084$$

- Elongación total

$$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_0 + \varepsilon_K$$

$$\varepsilon_{ges} = 0.00988 + 0.0084 = 0.01828$$

- Factor mínimo de seguridad

$$S_{min} = \frac{1}{K_D * \epsilon_{ges}}$$

$$S_{min} = \frac{1}{14 * 0.01828} = 3.9$$

Y según la tabla de valores del factor de seguridad mínimo (ver anexo 11) para una banda textil y una condición normal de funcionamiento, el factor mínimo de seguridad $S_{min} \geq 3.5$. Por lo tanto en los bordes de la banda en la zona de transición no se presentaran sacudidas.

5.3.16.2. Elongación en el centro de la banda del punto de descarga

- Factor de seguridad mínimo en le punto de descarga del transportador

$$S_{min} = \frac{k_N * B * C_V}{T_2}$$

$$S_{min} = \frac{315 * 1200 * 0.75}{25833} = 10.97$$

- Promedio de elongación

$$\epsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_{min}}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{14 * 10.97} = 0.0065$$

- Elongación adicional

$$\epsilon_M = \frac{s^3 * \hat{\lambda}^2}{3 * B * L^2}$$

$$\epsilon_M = \frac{367.5^3 * 0.5235^2}{3 * 1200 * 1470^2} = 0.00175$$

- Elongación total

Para que no se presenten deformaciones en el centro de la banda se tiene

que cumplir que: $\epsilon_{min} \geq 0$

$$\epsilon_{min} = \epsilon_0 + \epsilon_M$$

$$\epsilon_{min} = 0.0065 - 0.00175 = 0.0047$$

Por lo tanto en la mitad de la banda del punto de descargue no se presentaran deformaciones.

5.3.16.3. Elongación en el centro de la banda en la polea de cola

- Factor de seguridad mínimo en la polea de cola

$$S_{min} = \frac{k_N * B * C_V}{T_3}$$

$$S_{min} = \frac{315 * 1200 * 0.75}{25248} = 11.22$$

- Promedio de elongación

$$\epsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_{min}}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{14 * 11.22} = 0.0063$$

- Elongación adicional

$$\epsilon_M = \frac{s^3 * \bar{\lambda}^2}{3 * B * L^2}$$

$$\epsilon_M = \frac{367.5^3 * 0.5235^2}{3 * 1200 * 1470^2} = 0.00175$$

- Elongación total

Para que no se presenten deformaciones en el centro de la banda se tiene

que cumplir que: $\epsilon_{min} \geq 0$

$$\varepsilon_{min} = \varepsilon_0 + \varepsilon_M$$

$$\varepsilon_{min} = 0.0062 - 0.00175 = 0.0046$$

Por lo tanto en la mitad de la banda de la pulea de cola no se presentarán deformaciones.

5.4. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA SECUNDARIA EN MINA

Para el diseño de estas bandas, se toman los datos iniciales que se emplearon en el diseño anterior, aunque algunos no se utilizarán debido a que esta banda no tiene gradiente de elevación.

5.4.1. Datos para el diseño de la banda transportadora secundaria para en mina

- Material a transportar: Caliza triturada
- Granulometría del material: 25 mm en la diagonal.
- Densidad ρ : 1,4 t/m³
- Angulo de sobrecarga β_{Dyn} : 15°
- Capacidad: 745.8 Ton/hora.
- Ancho de banda: 1200 mm.
- Tipo de canal: 3 rodillos.
- Angulo de rodillos de carga: 30°
- Velocidad: 1.31 m/s
- Distancia entre rodillos de carga: $l_o = 1.2$ m
- Distancia entre rodillos de retorno: $l_u = 2.4$ m
- Distancia entre rodillos de impacto: $l_i = 0.6$ m
- Diámetro de rodillos de carga y retorno: $D_R = 133$ mm
- Diámetro de rodillos de impacto: $D_R = 156$ mm
- Masa conjunto rodillos de carga: $m_{R0} = 22.3$ (Kg)
- Masa rodillos de retorno: $m_{Ru0} = 19.3$ (Kg)

- Masa de los rodillos: $m'_R = 26.63 \text{ (Kg/m)}$
- Masa de la carga: $m'_L = 158.14 \text{ (Kg/m)}$
- Factor de fricción artificial: $f = 0.016$

5.4.2. Requerimientos de potencia

Los requerimientos de potencia para esta banda se pueden hallar de la siguiente manera:

5.4.2.1. Potencia para el transportador en vacío o con carga horizontal.

$$P_1 = \frac{C_B * v + Q_m}{C_L * K_f} \quad (\text{Kw})$$

Para los cálculos se tienen los siguientes datos:

- De la tabla 20 y con una condición de trabajo media, una densidad del material transportado entre 1 y 2 t/m³ y un ancho de banda de 1200 mm se tiene: $C_B = 277$
- Con la longitud del transportador $L = 27.5 \text{ (m)}$ y los valores de C_L obtenidos de la tabla 21, interpolando entre los valores más cercanos se halla el factor de longitud: $C_L = 240$.
- De la tabla 22 de Factor de condiciones de trabajo y contando con una condición de ambiente polvoriento posibles sobrecargas se tiene: $K_f = 0.74$

Con estos datos se halla la Potencia para el transportador en vacío o con carga sobre la horizontal (P_1):

$$P_1 = \frac{277 * 1.31 + 745.8}{240 * 0.74} = 3.42 \quad (\text{Kw})$$

5.4.2.2. Potencia para elevación de la carga.

Debido a que este es una banda totalmente horizontal esta potencia no es relevante para los cálculos.

5.4.2.3. Potencia en la polea conductora.

$$P_T = P_1 \quad (Kw)$$

$$P_T = 3.42 \quad (Kw)$$

5.4.2.4. Potencia requerida por el motor.

$$P_M = \frac{P_T}{\eta}$$

$$P_M = \frac{3.42}{0.9} = 3.8 \quad (Kw)$$

De la tabla de motores estándar (tabla 23) escogemos el que se adapte a nuestras necesidades de potencia, entonces:

$$P_N = 4 \quad (Kw)$$

5.4.3. Tipo de banda

Mediante la ecuación que se presenta a continuación se calcula el esfuerzo de rotura de la banda y posteriormente se determina con este valor el tipo de banda a emplear:

$$k = \frac{C_R}{C_V} * \frac{P_T}{v}$$

Para los cálculos se tienen los siguientes datos:

- El factor de fricción (C_R) se halla conociendo el tipo de superficie de la polea conductora y el ancho de la banda, los valores de este factor se encuentran tabulados en la tabla 24 donde: $C_R = 15$
- El valor de junta de bandas (C_V) lo tomamos se halla de la tabla 25 que se presenta a continuación, suponiendo una banda de 4 capas de la referencia SUPERFORT se tiene: $C_V = 0.75$

Entonces se tiene que:

$$k = \frac{15}{0.75} * \frac{3.42}{1.31} = 52.2. \quad (N/mm)$$

Como se enunció anteriormente, con el valor del esfuerzo de rotura y la tabla de peso y espesores de bandas (anexo 4) se selecciona la banda a utilizar. Por recomendación el esfuerzo de rotura para la banda seleccionada se tiene que aproximar a un valor estándar por arriba del valor hallado, para este caso sería de 200 (N/mm) y según la tabla de peso y espesores de banda, la banda apropiada para esta aplicación sería la s 200/3, pero al igual de lo que pasó con la banda del apilador, se está trabajando con una banda de 4 capas por lo que se recomienda utilizar la siguiente banda:

Banda: EP 315/4 4+2 mm capas.

Peso de banda $m''_G = 11.2 \text{ Kg/m}^2$

Espesor de la carcasa = 3.7mm.

5.4.4. Fuerza Periférica

La suma de las todas las resistencias al movimiento es igual a la fuerza periférica F_U en la polea conductora. Para instalaciones con un solo punto de carga es regla la siguiente sumatoria de resistencias:

$$F_U = C * f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

5.4.4.1. Factor de longitud C.

Para hallar los valores del factor de longitud del transportador, se interpola en la tabla 26 de factor de longitud o se busca el valor en la figura de longitud Vs factor de longitud C (anexo 5).

$$L = 27.35 \quad C = 2.8$$

5.4.4.2. Masa de la banda m'_G .

$$m'_G = m''_G * B \quad (Kg / m)$$

Donde:

$$m''_G = 11.2 \text{ Kg/m}^2$$

$$B = 1.2 \text{ m}$$

Entonces se tiene:

$$m'_G = 11.2 * 1.2 \Rightarrow m'_G = 13.44 \quad (Kg / m)$$

Con estos datos y los datos anteriores se puede hallar los valores de F_U para el transportador.

$$F_U = C * f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

$$F_U = 2.8 * 0.016 * 27.35 * 9.81 * [26.63 + (2 * 13.44 + 158.14)]$$

$$F_U = 2544 \quad (N)$$

Con la fuerza periférica F_U se puede hallar nuevamente la potencia requerida en la polea conductora y compararla con la hallada anteriormente:

$$P_T = \frac{F_U * v}{1000} \quad (Kw)$$

$$P_T = \frac{2544 * 1.31}{1000} = 3.33 \quad (Kw)$$

La potencia requerida por el motor es:

$$P_M = \frac{P_T}{\eta} \quad (Kw)$$

$$P_M = \frac{3.33}{0.9} = 3.7 \quad (Kw)$$

De la tabla de motores estándar (tabla 23) se debe escoger un motor de 4 Kw, que es el mismo motor que se seleccionó anteriormente, esto es una forma de comprobar los cálculos realizados.

5.4.5. Fuerza periférica en el arranque F_A

$$F_A = 1.5 * F_U \quad (N)$$

$$F_A = 1.5 * 2544 = 3816 \quad (N)$$

Después de hallar la fuerza periférica en el arranque (F_A) se puede hallar los valores de la aceleración, el tiempo de arranque y la distancia de arranque del transportador.

5.4.5.1. Aceleración del transportador a_A .

$$a_A = \frac{F_A - F_U}{L * (m'_{Red} + 2 * m'_G + m'_L)} \quad (m/s^2)$$

$$a_A = \frac{3816 - 2544}{27.35 * (23.96 + 2 * 13.44 + 158.14)} = 0.22 \quad (m/s^2)$$

5.4.5.2. Tiempo de aceleración t_a .

$$t_a = \frac{v}{a_a} \quad (s)$$

$$t_a = \frac{1.31}{0.22} = 5.88 \quad (s)$$

5.4.5.3. Distancia de aceleración s_A .

$$s_A = v * \frac{t_A}{2} \quad (m)$$

$$s_A = 1.31 * \frac{2.88}{2} = 3.8 \quad (m)$$

5.4.6. Resistencias individuales para cálculos secuenciales

5.4.6.1. Resistencia principal F_H .

$$F_H = f * L * g * [m'_R + (2 * m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

$$F_H = 0.016 * 27.35 * 9.81 * [26.63 + (2 * 13.44 + 158.14)] \quad (N)$$

$$F_H = 909 \quad (N)$$

5.4.6.2. Resistencia secundaria F_N .

$$F_N = (C - 1) * F_H \quad (N)$$

$$F_N = (2.8 - 1) * 909 = 1635 \quad (N)$$

5.4.6.3. Resistencia de fricción.

- Lado carga F_o :

$$F_o = f * L * g * [m'_{R_o} + (m'_G + m'_L) * \cos(\delta)] \quad (N)$$

$$F_o = 0.016 * 27.35 * 9.81 * [18.58 + (13.44 + 158.14)] = 816 \quad (N)$$

- **Lado retorno:**

$$F_u = f * L * g * [m'_{Ru} + (m'_G) * \cos(\delta_1)] \quad (N)$$

$$F_u = 0.016 * 27.35 * 9.81 * [8.04 + 13.44] = 92 \quad (N)$$

5.4.6.4. Resistencia a la inclinación.

Como ya se dijo antes este transportador es totalmente horizontal y la resistencia a la inclinación no se presenta.

5.4.6.5. Resistencia inercial.

- **Lado carga F_{ao}**

$$F_{ao} = L * a * (m'_{Redo} + m'_G + m'_L) \quad (N)$$

$$F_{ao} = 27.35 * 0.22 * (16.7 + 13.44 + 158.14) = 1146 \quad (N)$$

- **Lado retorno F_{au}**

$$F_{au} = L * a * (m'_{Redu} + m'_G) \quad (N)$$

$$F_{au} = 27.35 * 0.22 * (7.23 + 13.44) = 126 \quad (N)$$

5.4.7. Cálculos secuenciales para T_1 a T_4

Se utiliza una banda con polea de accionamiento de cabeza.

5.4.7.1. Funcionamiento en estado estable.

$$T_2 = F_U * c_2 \quad (N)$$

Donde:

$$c_2 = \frac{1}{e^{\mu * \alpha} - 1}$$

$$c_2 = \frac{1}{e^{0.35 * 3.490} - 1} = 0.41$$

Entonces se tiene:

$$T_2 = F_U * c_2 \quad (N)$$

$$T_2 = 2544 * 0.41 = 1063 \quad (N)$$

$$T_3 = T_2 + F_u - F_{stu} \quad (N)$$

$$T_3 = 1063 + 92 = 1155 \quad (N)$$

$$T_4 = T_3 \quad (N)$$

$$T_4 = 1155 \quad (N)$$

$$T_1 = T_4 + F_N + F_o + F_{sto} \quad (N)$$

$$T_1 = 1155 + 1635 + 816 = 3607 \quad (N)$$

La sumatoria de todas las tensiones es:

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 6981 \quad (N)$$

Se comprueban los cálculos con la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 - F_U \quad (N)$$

$$T_2 = 3607 - 2544 = 1063 \quad (N)$$

Esto permite verificar que los cálculos se están realizando correctamente.

5.4.7.2. Funcionamiento en estado no estable.

$$T_{A2} = F_A * c_{2A} \quad (N)$$

Donde:

$$c_{2A} = \frac{1}{e^{\mu_A * \alpha} - 1}$$

$$c_{2A} = \frac{1}{e^{0.4 \cdot 3.490} - 1} = 0.32$$

Con estos datos se halla T_{A2} :

$$T_{A2} = F_A \cdot c_{2A} \quad (N)$$

$$T_{A2} = 3816 \cdot 0.32 = 1255 \quad (N)$$

$$T_{A3} = T_{A2} + F_u - F_{stu} + F_{au} \quad (N)$$

$$T_{A3} = 1255 + 92 + 126 = 7473 \quad (N)$$

$$T_{A4} = T_{A3} \quad (N)$$

$$T_{A4} = 1473 \quad (N)$$

$$T_{A1} = T_{A4} + F_N + F_o + F_{sto} + F_{ao} \quad (N)$$

$$T_{A1} = 1473 + 1635 + 816 + 1146 = 5071 \quad (N)$$

La sumatoria de todas las tensiones es:

$$T_{A1} + T_{A2} + T_{A3} + T_{A4} = 9273 \quad (N)$$

Se comprueban los cálculos con la siguiente ecuación:

$$T_{A2} = T_{A1} - F_A \quad (N)$$

$$T_{A2} = 5071 - 3816 = 1255 \quad (N)$$

Esto permite verificar que los cálculos se están realizando correctamente.

5.4.8. Corrección de la tensión de a banda

Para este transportador se utiliza un tensor de peso móvil (peso tensor) por lo tanto solo se hará la corrección de la tensión por el factor de peso tensor y por el de tensión mínima T_{\min} .

5.4.8.1. Corrección por peso tensor.

Todo el peso del tensor es efectivo tanto en reposo como en funcionamiento, toda la tensión de la banda en estado estable se incrementa por el valor de la corrección ΔT para que se cumpla la condición $T_{A2} = T_2$.

$$T_{A2} = T_2 \quad (\text{Tensión constante})$$

$$\Delta T = T_{A2} - T_2 \quad (N)$$

$$\Delta T = 1255 - 1063 = 192 \quad (N)$$

Después de realizar el incremento de todas las tensiones en estado estable por el factor de corrección ΔT se tienen las tensiones ajustadas:

$$T_1 = 3799 \quad (N) \quad T_{A1} = 5071 \quad (N)$$

$$T_2 = 1255 \quad (N) \quad \leftrightarrow \quad T_{A2} = 1255 \quad (N)$$

$$T_3 = 1347 \quad (N) \quad T_{A3} = 1473 \quad (N)$$

$$T_4 = 1347 \quad (N) \quad T_{A4} = 1473 \quad (N)$$

5.4.8.2. Corrección por control de la mínima tensión de banda T_{\min} .

Se debe cumplir que:

Si la tensión $T_4 < T_{\min}$ la banda se flexa entre los rodillos de carga. Para evitar esta deflexión se tiene que cumplir que $T_4 \geq T_{\min}$ y para esto todas las tensiones de la banda tanto las de estado estable como las de estado no estable tienen que ser incrementadas por el valor de la corrección ΔT_{\min} .

Para ello se tiene que hallar el valor de la tensión mínima T_{\min} .

$$T_{min} = \frac{(m'_L + m'_G) * l_o * g}{8 * h_{rel}} \quad (N)$$

Esta deflexión tiene que estar entre 0.5% y el 1.5% de la distancia entre centros de los rodillos de carga y entre 2% y el 3% de la distancia entre centros de los rodillos de retorno, para este caso se toma $h_{rel} = 1\% = 0.01$.

$$T_{min} = \frac{(m'_L + m'_G) * l_o * g}{8 * h_{rel}} \quad (N)$$

$$T_{min} = \frac{(158.14 + 13.44) * 1.2 * 9.81}{8 * 0.01} = 25249 \quad (N)$$

$$\Delta T_{min} = T_{min} - T_4$$

$$\Delta T_{min} = 25249 - 1347 = 23902$$

Con esto se hallan las tensiones aumentadas:

$$T_1 = 27701 \quad (N) \quad T_{A1} = 28975 \quad (N)$$

$$T_2 = 25157 \quad (N) \leftrightarrow T_{A2} = 25157 \quad (N)$$

$$T_3 = 25249 \quad (N) \quad T_{A3} = 25375 \quad (N)$$

$$T_4 = 25249 \quad (N) \quad T_{A4} = 25375 \quad (N)$$

De esta forma se tienen los valores de las tensiones que soportará la banda transportadora, las cuales cumplen con los dos requisitos estipulados para este tipo de transportador:

$$T_{A2} = T_2 \quad T_4 \geq T_{min}$$

Después de hallar las tensiones de la banda se halla la pre-tensión y el peso del tensor móvil.

5.4.8.3. Peso y tensión necesaria para el tensor.

El tamaño del tensor por peso depende de la localización del sistema tensor (figura 59).

$$F_V = T_3 + T_4 \quad (N) \quad \text{Si el peso tensor se encuentra en la polea de cola.}$$

$$F_V = 2 * T_2 \quad (N) \quad \text{Si el peso tensor está en la carrera de retorno de la banda.}$$

Para este diseño se toma la segunda alternativa por lo tanto la tensión y el peso del dispositivo son:

- Tensión del sistema tensor

$$F_V = 2 * T_2 \quad (N)$$

$$F_V = 2 * 25157 = 50313 \quad (N)$$

- Peso del sistema tensor

$$G_V = \frac{F_V}{g} \quad (Kg)$$

$$G_V = \frac{50313}{9.81} = 5128 \quad (Kg)$$

5.4.9. Factor de seguridad

El factor de seguridad de la banda seleccionada se determina y se verifica. Para ciertas condiciones de funcionamiento se han fijado valores mínimos de seguridad.

$$S_B = \frac{K_N * B * C_V}{T_{max}}$$

Estado estable

$$S_A = \frac{K_N * B * C_V}{T_{Amax}}$$

Estado no estable

Ahora se hallan los factores de seguridad por la banda escogida:

$$S_B = \frac{K_N * B * C_V}{T_{max}}$$

$$S_B = \frac{315 * 1200 * 0.75}{27701} = 10.23$$

$$S_A = \frac{K_N * B * C_V}{T_{Amax}}$$

$$S_A = \frac{315 * 1200 * 0.75}{28975} = 9.78$$

Según las recomendaciones para un trabajo confiable con pocos cambios de carga y una banda textil (tabla valores mínimos para el factor de seguridad según las condiciones de trabajo, anexo 8) se tiene:

$$S_B \geq 6.7$$

$$S_A \geq 4.8$$

Lo que indica que los valores de los factores de seguridad están dentro de los límites permitidos para una instalación como la que se tiene.

5.4.10. Recorrido del tensor

Este recorrido se tiene que calcular teniendo en cuenta los cambios de tensión que ocurren en el arranque, funcionamiento con carga y en reposo.

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (m)$$

- Para transportador en reposo

$$\sum T = 4 * T_2 \quad (N)$$

$$\sum T = 4 * 25157 = 100628 \quad (N)$$

- Para transportador en funcionamiento en estado estable

$$\sum T = 103357 \quad (N)$$

- Para transportador en funcionamiento en estado no estable

$$\sum T_A = 104880 \quad (N)$$

Donde:

$k_N = 315$ (N/mm) se tiene

$k_D = 14$

Este valor se obtiene de la grafica de valores de elongación (anexo 9) conociendo el esfuerzo nominal de rotura.

Con estos datos se puede hallar los diferentes valores del recorrido del tensor según las diferentes condiciones de trabajo:

- Transportador en reposo:

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{100628 * 627.35}{2 * 1.2 * 14 * 315} = 260.98 \quad (mm)$$

- Transportador en estado estable de funcionamiento

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{103357 * 27.35}{2 * 1.2 * 14 * 315} = 267 \quad (mm)$$

- Transportador en estado no estable de funcionamiento

$$S_p = \frac{\sum T * L}{2 * B * k_D * k_N} \quad (mm)$$

$$S_p = \frac{104880 * 27.35}{2 * 1.2 * 14 * 315} = 271 \quad (mm)$$

La instalación del peso tensor se tiene que diseñar basándose en estos datos de recorrido.

5.4.11. Diámetro de las poleas del transportador

Para determinar los diámetros de las poleas primero se averigua el diámetro de la polea conductora con tensión máxima.

$$D_{Tr} = C_{Tr} * d \quad (mm)$$
$$D_{Tr} = 108 * 3.7 = 399.6 \quad (mm)$$

El valor del diámetro final de la polea se halla redondeando por arriba hasta el siguiente diámetro estándar de poleas (tabla 32) o si se trabaja en condiciones favorables se puede redondear por abajo. Para este caso se toma el siguiente más alto valor de diámetro para la polea.

$$D_{Tr} = 400 \quad (mm)$$

Después de que el diámetro de la polea más grande ha sido determinado, el diámetro del grupo de poleas A, B, C, puede ser obtenido de la tabla 33:

Para una polea conductora (grupo A) con un diámetro $D_{TrA} = 400$ mm tenemos:

Diámetro polea de cola (grupo B) $D_{TrB} = 315$ mm

Diámetro poleas tensoras (grupo C) $D_{TrC} = 250$ mm

5.4.12. Porcentaje de utilización

$$k_A = \frac{T_{max} * S}{B * k_N} * 100 \quad (\%)$$
$$k_A = \frac{27701 * 10.23}{1200 * 315} * 100 = 75(\%)$$

Este valor quiere decir que la rata de tensión de utilización de la banda es totalmente utilizada, según la tabla 34 donde se muestran los valores limites

de este porcentaje. Si no se cumplen con estos valores se tienen que realizar las correcciones señaladas en esta.

5.4.13. Revoluciones de la polea conductora

Con este cálculo se halla la velocidad de salida del sistema de transmisión que se va a utilizar en la instalación.

$$n_T = \frac{v * 60}{\pi * D_{Tr}} \quad (rpm)$$
$$n_T = \frac{1.31 * 60}{\pi * 0.4} = 62.5 \quad (rpm)$$

5.4.14. Torque máximo en el arranque

Es el torque máximo alcanzado por el transportador en el momento del arranque de la instalación.

$$M_A = \frac{F_A * D_{Tr}}{2} \quad (Nm)$$
$$M_A = \frac{3816 * 0.4}{2} = 763.2 \quad (Nm)$$

5.4.15. Carga de la polea conductora

$$F_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{9.81} \quad (Kg)$$
$$F_T = \frac{28975 + 25157}{9.81} = 5517.8 \quad (Kg)$$

5.4.16. Presión de superficie

Con poleas recubiertas de caucho, la presión límite promedio de la superficie es aproximadamente 70 N/cm². Estos límites solo son alcanzados en condiciones de trabajo pesado y con diámetros pequeños de poleas.

$$p_T = \frac{T_{A1} + T_{A2}}{D_{TR} * B} \quad (N / cm^2)$$

$$p_T = \frac{28975 + 25157}{40 * 120} = 11.27 \quad (N / cm^2)$$

5.4.17. Transición de canales

$$L_M = x * s * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

$$L_M = 8 * 367.5 * \text{sen}(30) = 1470 \quad (mm)$$

5.4.18. Elevación de la polea

Para aliviar la banda de los esfuerzos de borde la polea puede ser levantada ligeramente el valor h.

$$h = \frac{s^2}{B} * \text{sen}(\lambda) \quad (mm)$$

$$h = \frac{367.5^2}{1200} * \text{sen}(30) = 56.3 \quad (mm)$$

También se tiene la distancia reducida de transición:

$$L_{red} = x * (s * \text{sen}(\lambda) - h) \quad (mm)$$

$$L_{red} = 8 * (367.5 * \text{sen}(30) - 56.3) = 1019.6 \quad (mm)$$

Esta distancia se puede utilizar cuando el valor de la elevación de la polea no difiere con los valores de la tabla 35 para el ancho de la banda y el ángulo de acanalado.

5.4.19. Ajuste adicional de banda

5.4.19.1. Seguridad en la zona de bordes

- Promedio de elongación

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_B}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{14 * 10.23} = 0.00697$$

- Longitud de la curva

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * \lambda$$

$$\hat{\lambda} = \frac{\pi}{180} * 30 = 0.5235$$

- Elongación adicional

$$\varepsilon_K = \frac{s^2 * \hat{\lambda}^2}{L^2} * \frac{s^2}{B^2} * \left(0.5 - \frac{s}{3 * B}\right)$$

$$\varepsilon_K = \frac{367.5^2 * 0.5235^2}{1470^2} * \frac{367.5^2}{1200^2} * \left(0.5 - \frac{367.5}{3 * 1200}\right) = 0.0084$$

- Elongación total

$$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_0 + \varepsilon_K$$

$$\varepsilon_{ges} = 0.00697 + 0.0084 = 0.01538$$

- Factor mínimo de seguridad

$$S_{min} = \frac{1}{K_D * \varepsilon_{ges}}$$

$$S_{min} = \frac{1}{14 * 0.01538} = 4.64$$

Y según la tabla de valores del factor de seguridad mínimo (ver anexo 11) para una banda textil y una condición normal de funcionamiento, el factor mínimo de seguridad $S_{min} \geq 3.5$. Por lo tanto en los bordes de la banda en la zona de transición no se presentarían sacudidas.

5.4.19.2. Elongación en el centro de la banda del punto de descarga

- Factor de seguridad mínimo en el punto de descarga del transportador

$$S_{min} = \frac{k_N * B * C_V}{T_2}$$

$$S_{min} = \frac{315 * 1200 * 0.75}{25557} = 11.26$$

- Promedio de elongación

$$\epsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_{min}}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{14 * 11.26} = 0.006338$$

- Elongación adicional

$$\epsilon_M = \frac{s^3 * \bar{\lambda}^2}{3 * B * L^2}$$

$$\epsilon_M = \frac{367.5^3 * 0.5235^2}{3 * 1200 * 1470^2} = 0.00175$$

- Elongación total

Para que no se presenten deformaciones en el centro de la banda se tiene

que cumplir que: $\epsilon_{min} \geq 0$

$$\epsilon_{min} = \epsilon_0 + \epsilon_M$$

$$\epsilon_{min} = 0.006338 - 0.00175 = 0.0045$$

Por lo tanto en la mitad de la banda del punto de descargue no se presentaran deformaciones.

5.4.19.3. Elongación en el centro de la banda en la polea de cola

- Factor de seguridad mínimo en la polea de cola

$$S_{min} = \frac{k_N * B * C_V}{T_3}$$

$$S_{min} = \frac{315 * 1200 * 0.75}{25249} = 11.22$$

- Promedio de elongación

$$\epsilon_0 = \frac{1}{K_D * S_{min}}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{14 * 11.22} = 0.0063$$

- Elongación adicional

$$\epsilon_M = \frac{s^3 * \bar{\lambda}^2}{3 * B * L^2}$$

$$\epsilon_M = \frac{367.5^3 * 0.5235^2}{3 * 1200 * 1470^2} = 0.00175$$

- Elongación total

Para que no se presenten deformaciones en el centro de la banda se tiene que cumplir que: $\epsilon_{min} \geq 0$

$$\epsilon_{min} = \epsilon_0 + \epsilon_M$$

$$\epsilon_{min} = 0.0062 - 0.00175 = 0.0046$$

Por lo tanto en la mitad de la banda de la polea de cola no se presentarán deformaciones.

5.5. CÁLCULO PARA LA REPOTENCIACIÓN DEL ALIMENTADOR DE BANDEJA

El alimentador de bandejas que se encuentra en funcionamiento actualmente tiene las siguientes características:

Capacidad:	320 TPH
Velocidad:	1.31 m/s
Potencia del Motor:	30 Kw
Ancho de Bandeja:	1200 mm

Reductor

Relación:	(1 / 160)
Potencia mecánica nominal:	69 Kw
Velocidad de entrada	1800 R.P.M
Velocidad de salida:	11.25 R.P.M.
Factor de servicio:	2.3
No reducciones (engranajes):	4

Para el alimentador de bandejas, se consultaron los manuales del equipo y según estos la capacidad máxima de carga del alimentador es de 700 TPH que coincide con la capacidad con la cual se diseñaron los demás equipos. Para esto se requiere solamente cambiar el motor principal por uno de 40 Kw.

CONCLUSIONES

En cuanto al desarrollo de la práctica empresarial:

- Se cumplió con las expectativas de la práctica empresarial en la Planta de Cementos Paz del Río que esencialmente fue servir de apoyo en el área de proyectos específicamente para desarrollar los estudios de la ingeniería básica en el proyecto “optimización trituración primaria”.
- Se brindó el soporte técnico y de ingeniería en el desarrollo de proyectos como:
 - ✓ El montaje de la nueva tolva de almacenamiento para la caliza en el proceso de molienda de crudo, revistiendo la parte interna con láminas de un determinado polímero de coeficiente de fricción muy bajo el cual le permite a la caliza triturada fluir constantemente y no deja que ésta se quede pegada en las paredes de la tolva formando atascamientos.
 - ✓ La modificación del enfriador de clinker en el proceso de clinkerización, el cual tiene como fin elevar la eficiencia del enfriador y aumentar la recuperación de calor para el sistema precalentador de harina antes de la entrada al horno rotatorio o de clinkerización.
- Se realizó los estudios preliminares para la instalación de una maquila enfundadora de palets que tiene como objetivo cubrir con una película de plástico las estivas de cemento con el fin de proteger el producto durante el transporte y alargar su tiempo de almacenamiento protegiéndolo de la humedad del medio ambiente.

En cuanto al desarrollo de la repotenciación y diseño del sistema de transporte de caliza triturada en la planta de Cementos Paz del Río:

- Actualmente en el sistema de apilado se están usando bandas con un ancho de 800 mm, según los cálculos de repotenciación esta banda se debe cambiar por una de 1200 mm para que cumpla con los requerimientos de capacidad de producción de caliza triturada a la que va a trabajar la trituradora, tanto para la banda de apilado como la del apilador.
- Para la repotenciación de la banda de apilado se necesita cambiar el motor de accionamiento ya que para la capacidad de carga actual del transportador se utilizaba un motor de 37 Kw, después de la repotenciación la banda de apilado tiene que funcionar con un motor de 75 Kw que es la potencia necesaria para la nueva capacidad del sistema.
- Aunque la velocidad de funcionamiento es la misma que se tiene actualmente el reductor de velocidad del motor para la repotenciación de la banda de apilado tiene que ser cambiado debido a que la potencia mecánica nominal de este es muy baja para la potencia de motor que se debe instalar, por lo tanto, se tiene que seleccionar un reductor nuevo que cumpla con los requerimientos de la nueva instalación.
- Para la banda del apilador se puede seguir utilizando el mismo motor y el mismo reductor que se encuentra hoy en día en funcionamiento, ya que con la potencia que se maneja es suficiente para trabajar después de la repotenciación.
- El cambio de la banda implica que se debe cambiar el juego de rodillos, poleas y el soporte de éstos.

- El apilador que es el encargado de formar los montones de caliza en el patio de prehomogeneización aparte del cambio de la banda, no necesita ningún otro arreglo ya que es un equipo que se instaló pensando en futuras ampliaciones de la planta.
- Se realizaron los cálculos necesarios para el diseño del sistema de transporte por bandas en el proceso de trituración primaria en la mina las Monjas según las características y esquemas de la instalación.

RECOMENDACIONES

- En la banda transportadora que se va instalar en la mina después de la trituradora se debe tener muy en cuenta el cuidado y la buena instalación de los rodillos de impacto que son los encargados de recibir el material que sale de la trituradora, esto con el fin de evitar daños prematuros en la superficie de la banda causados por el impacto del material al caer.

BIBLIOGRAFÍA

KAUMAN S.A. Catálogo. Sistema de transporte continuo, Sección 1, España
Diciembre 1998.

REX, Catalog. Belt Conveyor Components. USA. 1998

FENNER DUNLOP, Manual. Conveyor belt technique design and calculation.

GURTEC Vol. 2, Catálogo Elementos de transporte, rodillos portadores de
productos a granel.

ARCH, Catálogo Conveyor efficiency specialists 2002 Product Guide.

HANSEN P4, Reductores normalizados. Rexnord. U.S.A.

BELT CONVEYORS FOR BULK MATERIALS, Conferencia norma CEMA.

ANEXOS

ANEXO 1. ACOPLER

TIPOS DE ACOPLER

Cuando la banda transportadora comienza a funcionar, por un corto tiempo las fuerzas son mayores a las que ocurren durante las condiciones de transporte normal. Por ejemplo fuerzas de aceleración y arranque. En contraste, el motor crea por mucho un torque máximo de arranque. La diferencia entre el torque de carga y el torque de arranque del motor es el torque de aceleración.

Dependiendo del tamaño y el tipo de motor, se da un arranque suave cuando se usa un acople flexible o hidráulico.

- **Acopler rígidos**

Son usados sólo en pequeñas instalaciones hasta un máximo de 30 kW y a bajas velocidades.

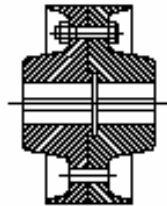


Figura 66. Acople rígido

- **Acopler flexibles.**

Los acopler flexibles de conformación diversa se elaboran en unidades de 16 a 20kW.



Figura 67. Acople flexible

- **Acoples centrífugos**

Los acoples de tipo centrífugo y magnético con torque controlado, difícilmente se usan por su alto costo y ya no son usados significativamente para el arranque de la banda.

- **Acoples hidráulicos**

Se usan frecuentemente para conducciones largas en combinación con motores jaula de ardilla. Esto permite una aceleración libre de carga del motor y consecuentemente un incremento del nivel de aceite, y provee un arranque suave cuasi-estático de la banda transportadora. El máximo torque ocurre durante el arranque, proceso que está restringido por el nivel más bajo posible. El esfuerzo en las bandas transportadoras y en las uniones articuladas se mitiga y se conserva.

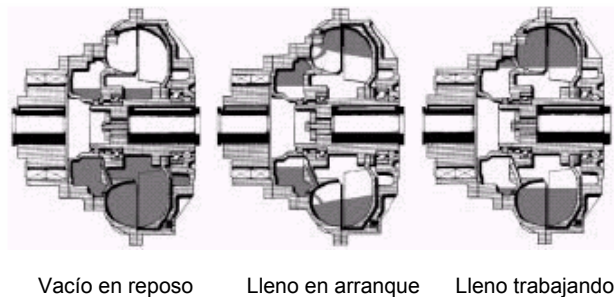


Figura 68. Acople turbo

PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE

El motor eléctrico produce un torque variable con velocidad de rotación, el cual se ilustra abajo por la línea M. La banda transportadora como una unidad de trabajo opone el torque M_M , en la misma velocidad rotacional pone en contra el torque M_L . (Como se ilustra en la figura 69)

- **Motor de jaula de ardilla con acoples fijos**

Al momento de encender, el motor eléctrico libera el torque de arranque M_A . Cuando esto sucede la banda transportadora demanda el torque de

desprendimiento M_{Lb} . Como la rotación se incrementa el torque del motor disminuye al torque de caída M_S y luego se incrementa al máximo torque M_K . En seguida el torque de velocidad nominal de rotación se reduce al torque nominal del motor M_N . La carga se incrementa uniformemente. La diferencia entre el torque del motor M_M y el torque de carga M_L es el torque de aceleración M_B hasta el torque intersección de ambas líneas.

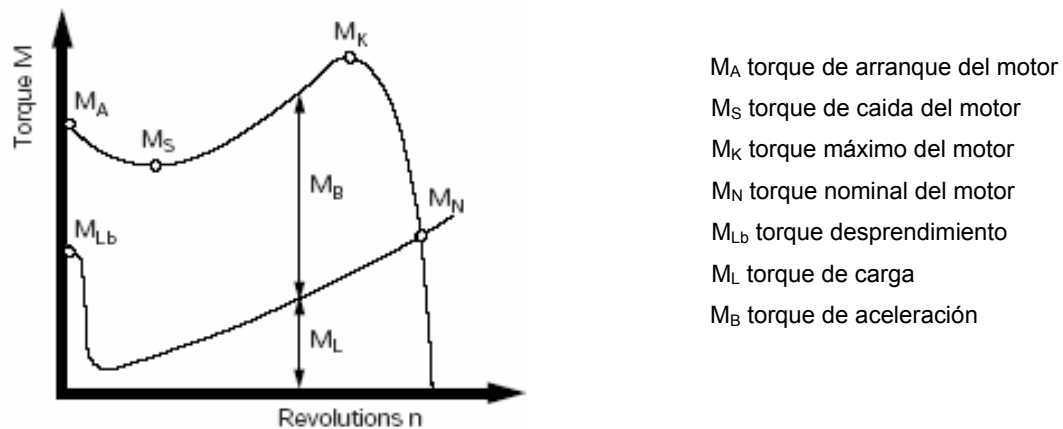


Figura 69. Torque Vs Velocidad Para un motor jaula de ardilla con acople fijo

- Motor jaula de ardilla con acoples hidráulicos

El arranque del motor eléctrico ocurre prácticamente libre de carga comparado con el torque de acople M_K hasta el punto de corte 1 de la línea M_K y la línea de carga M_L . El motor continúa al punto 2 y acelera la banda transportadora hasta velocidad sincrónica. Enseguida el motor, el acople y la banda transportadora alcanzan la velocidad conductora de rotación en el punto 3. Este tipo de acople es sólo efectivo en una velocidad de arrastre alta.

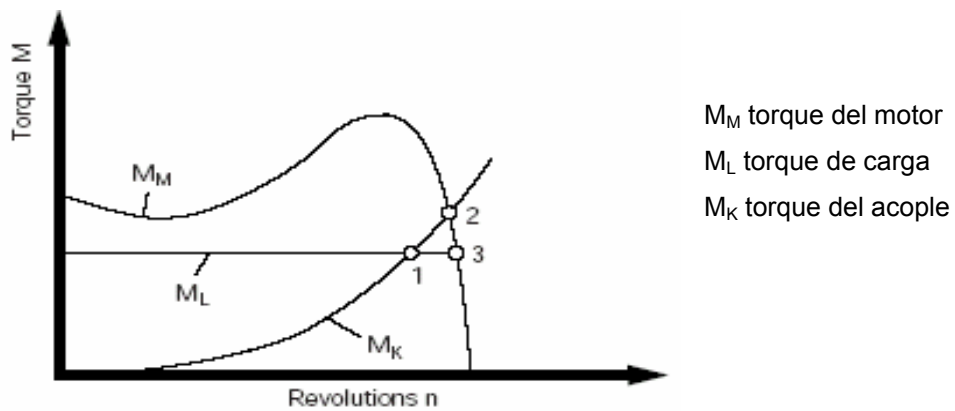


Figura 70. Torque Vs Velocidad Para un motor jaula de ardilla con acople hidraulico

El torque de arranque se alcanza por un llenado continuo del acople desde cero hasta el torque de desprendimiento en un periodo de aproximadamente de 10 a 20 segundos. Así, la banda se tensiona lentamente y se evitan las vibraciones longitudinales.

ANEXO 2. MECANISMOS DE DETECCIÓN

Para la operación de instalaciones complejas de bandas transportadoras se desarrolló una línea de mecanismos de seguridad que sirven para prevenir accidentes, proteger la banda transportadora y para correr y automatizar la banda transportadora.

DETECCIÓN DE TENSIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Este mecanismo detecta los cambios de tensión de la banda durante diferentes condiciones de operación como arranque, freno y variaciones de carga.

Un tensiómetro mide el cambio de tensión de la banda. Luego que los límites definidos de tensión máxima y mínima de la banda se exceden, se transmite una señal a la unidad de control.

DETECCIÓN DE DESCARRILAMIENTO

El descarrilamiento de la banda se puede limitar o corregir por medio de mecanismos mecánicos. Otra posibilidad es inspeccionar la banda con rayos de luces. Si se detecta una desviación que sobrepasa los límites definidos se pone en operación un sistema de direccionamiento motorizado. Si el descarrilamiento no se ajusta, la instalación se detiene.

DETECCIÓN DE ALIMENTACIÓN

Con ayuda de este mecanismo se registra la sobrecarga en un punto de transferencia. Un contacto de prueba suspende la alimentación y se ajusta al

requerimiento de flujo de material. Con una sobrecarga se hace contacto con la prueba y la instalación se apaga.

DETECCIÓN DE DESLIZAMIENTO DE LA BANDA

Este mecanismo detecta la fuerza de transmisión entre la banda y la polea de conducción. Un deslizamiento alto o una duración muy larga del deslizamiento, sobrecalienta la superficie de las poleas lo cual puede llevar a un incendio. El deslizamiento puede ocurrir frecuentemente durante el arranque, o en condiciones de sobrecarga, o cuando la pre-tensión es muy baja.

MECANISMO DE SEGURIDAD DE CORTES LONGITUDINALES

Un corte abierto en la banda transportadora es una causa relativamente frecuente de daño, lo cual lleva a paradas prolongadas que incurren en altos costos. En la mayoría de los casos ocurre cuando piezas de material con bordes filosos se atascan durante la transferencia.

Para evitar este daño se pueden utilizar estos recursos:

- Incrustar capas quebradoras de acero o textiles en la cubierta de la banda.
- Incrustar filamentos de acero elevados especiados en el lado de transferencia de carga de la banda.
- Instalar lazos de detección de cortes vulcanizados en la banda cada 50 a 100 metros
- Carcasas con alta resistencia a cortes longitudinales como bandas Dunlop FERROFLEX o bandas DUNLOPLAST

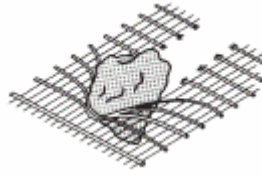


Figura 71. Carcasa con alta resistencia a cortes longitudinales

ANEXO 3. CARACTERÍSTICAS Y AREAS DE APLICACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA CUBIERTA

CAUCHO NATURAL

Caucho natural, porque por sus propiedades especiales es un buen material básico para bandas con cubiertas de caucho.

- Características técnicas:
 - Muy buena tensión y elongación.
 - Alta resistencia al calor y elasticidad.
 - Alta resistencia a la rotura y a esfuerzos de cizalladura.
 - Buena resistencia a la abrasión

- Estabilidad térmica
 - Generalmente es estable en el rango de temperatura de -30°C a 80°C .
 - Con una composición especial de caucho se puede lograr ampliar el rango de -40°C a 100°C .

- Estabilidad química
 - Resistente al agua, alcohol, acetona, ácidos y bases diluidos, resistencia limitada a ácidos y bases concentradas. La temperatura de servicio y la composición tienen mayor influencia.

- Características especiales
 - Con composiciones especiales, las mezclas basadas en caucho natural pueden ser antiestáticas y resistentes al fuego. Si se adiciona antiozono se logra una protección contra efectos de temperaturas severas, luz solar y condiciones ambientales.

- Alcance

Cualquier lugar donde se tengan altos requerimientos de propiedades físicas y no sean excesivas las exigencias de propiedades químicas y temperatura.

CAUCHO SINTÉTICO SBR

El SBR es un producto sintético de polimerización que contiene estireno y butadieno, sus características son similares a las del caucho natural. La tensión y la resistencia al corte son buenas. La resistencia a la abrasión, al calor y al ozono son mejores que las del caucho natural.

CAUCHO NITRILO NBR

El NBR es un copolímero de butadieno y acrilonitrilo. No resiste cetonas, ésteres aromáticos e hidrocarburos. Las propiedades físicas son ligeramente menores que las del caucho natural. La temperatura de operación puede estar controlada entre -40°C a 120°C . El NBR es relativamente resistente a la abrasión, al envejecimiento y se usa en cubiertas para bandas resistentes a aceites y grasas.

CAUCHO BUTÍLICO IIR

El caucho butílico es un producto de polimerización de isobutileno e isopreno. Tiene buena resistencia térmica y al ozono. Además de una muy larga vida útil. Dependiendo de su composición, es capaz de resistir temperaturas de -30°C a 150°C . Tiene una resistencia limitada a ácidos y bases, grasas animales y vegetales. El caucho butílico se usa principalmente para bandas transportadoras resistentes al calor.

CAUCHO ETILENO-PROPILENO EPDM

El EPDM tiene resistencia térmica similar al butílico, pero tiene mayor resistencia al uso y a la rotura. Adicionalmente, el EPDM tiene una mejor resistencia al ozono que todos los demás polímeros básicos.

CAUCHO CLOROPRENO CR

El CR es un producto sintético de la polimerización del clorobutadieno. Las propiedades mecánicas son similares a las del caucho natural, pero notablemente mejor con respecto a la resistencia al ozono y aceites. El cloruro del cloropreno le da al producto un alto grado de resistencia al fuego. El rango de temperatura de trabajo es de -30°C a 80°C . La resistencia a aceites y grasas animales y vegetales es superior al caucho natural, así como la vida útil.

CAUCHO NITRILO – CLOROPRENO NCR

El uso de nitrilo en el caucho cloropreno aumenta las propiedades dinámicas. Para cubiertas de caucho que requieran mayor resistencia a aceites y grasas, ya sean animales, vegetales o minerales. Y también cuando se necesiten mayores propiedades mecánicas, el NCR es mejor que el CR.

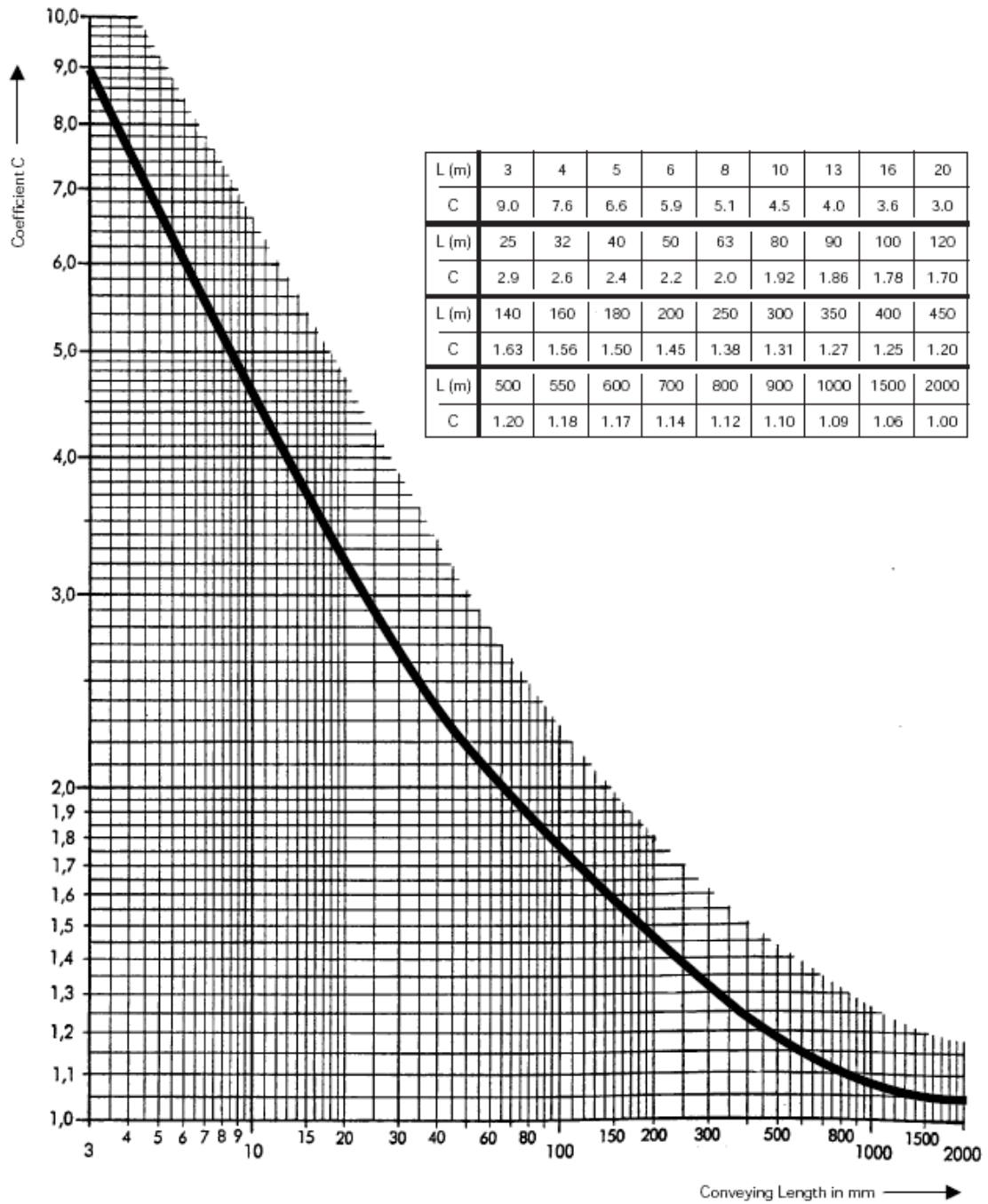
Nota: Los materiales básicos son las principales sustancias de la composición de una cubierta de caucho. Estos proporcionan las características fundamentales de cada calidad, pero pueden ser afectados por la adición de otros compuestos para alcanzar requerimientos de estándares y regulaciones.

ANEXO 4. PESO Y ESPESOR DE BANDAS TRANSPORTADORAS

	Belt type (mm)	Carcase thickness (kg/m ²)	Carcase weight	Belt Weight m' _G (kg/m ²) Sum of carrying and pulley side covers (mm)						
				3	4	5	6	8	10	12
SUPERFORT Belts	S 200/3	2.7	3.1	6.6	7.7	8.9	10.0	12.3	14.6	16.9
	S 250/3	2.8	3.2	6.7	7.8	9.0	10.1	12.4	14.7	17.0
	S 315/3	3.0	3.4	6.9	8.0	9.2	10.3	12.6	14.9	17.2
	S 315/4	3.7	4.3	7.8	8.9	10.1	11.2	13.5	15.8	18.1
	S 400/3	3.2	3.7	7.2	8.3	9.5	10.6	12.9	15.2	17.5
	S 400/4	4.1	4.6	8.1	9.2	10.4	11.5	13.8	16.1	18.4
	S 500/3	3.6	4.0	7.5	8.6	9.8	10.9	13.2	15.5	17.8
	S 500/4	4.3	5.0	8.5	9.6	10.8	11.9	14.2	16.5	18.8
	S 630/3	3.9	4.3	7.8	8.9	10.1	11.2	13.5	15.8	18.1
	S 630/4	4.8	5.3	8.8	9.9	11.1	12.2	14.5	16.8	19.1
	S 630/5	5.5	6.2	9.7	10.8	12.0	13.1	15.4	17.7	20.0
	S 800/3	4.5	5.0	8.5	9.6	10.8	11.9	14.2	16.5	18.8
	S 800/4	5.2	5.8	9.3	10.4	11.6	12.7	15.0	17.3	19.6
	S 800/5	6.0	6.7	10.2	11.3	12.5	13.6	15.9	18.2	20.5
	S 1000/4	6.1	6.8	10.3	11.4	12.6	13.7	16.0	18.3	20.6
	S 1000/5	6.5	7.3	10.8	11.9	13.1	14.2	16.5	18.8	21.1
	S 1000/6	7.3	8.1	11.6	12.7	13.9	15.0	17.3	19.6	21.9
	S 1250/4	7.2	8.3	11.8	12.9	14.1	15.2	17.5	19.8	22.1
	S 1250/5	7.6	8.6	12.1	13.2	14.4	15.5	17.8	20.1	22.4
	S 1250/6	7.8	8.8	12.3	13.4	14.6	15.7	18.0	20.3	22.6
S 1600/4	8.7	9.4	12.9	14.0	15.2	16.3	18.6	20.9	23.2	
S 1600/5	9.1	10.5	14.0	15.1	16.3	17.4	19.7	22.0	24.3	
S 1600/6	9.2	10.4	13.9	15.0	16.2	17.3	19.6	21.9	24.2	
S 2000/5	11.0	11.9	15.4	16.5	17.7	18.8	21.1	23.4	25.7	
S 2000/6	11.0	12.7	16.2	17.3	18.5	19.6	21.9	24.2	26.5	
S 2500/6	13.4	14.4	17.9	19.0	20.2	21.3	23.6	25.9	28.2	
STARFLEX belts	SF 250/2	1.5	1.8	5.3	6.4	7.6	8.7	11.0	13.3	15.6
	SF 315/2	1.9	1.9	5.4	6.5	7.7	8.8	11.1	13.4	15.7
	SF 400/3	2.5	2.9	6.4	7.5	8.7	9.8	12.1	14.4	16.7
	SF 500/3	3.0	3.2	6.7	7.8	9.0	10.1	12.4	14.7	17.0
	SF 500/4	3.5	4.0	7.5	8.6	9.8	10.9	13.2	15.5	17.8
	SF 630/4	4.1	4.4	7.9	9.0	10.2	11.3	13.6	15.9	18.2
	SF 800/4	4.6	5.4	8.9	10.0	11.2	12.3	14.6	16.9	19.2
	SF 1000/4	5.3	6.1	9.6	10.7	11.9	13.0	15.3	17.6	19.9
DUNLOFLEX belts	D 160	2.3	2.7	6.2	7.3	8.5	9.6	11.9	14.2	16.5
	D 200	2.7	3.1	6.6	7.7	8.9	10.0	12.3	14.6	16.9
	D 250	3.0	3.6	7.1	8.2	9.4	10.5	12.8	15.1	17.4
	D 315	3.2	3.7	7.2	8.3	9.5	10.6	12.9	15.2	17.5
	D 400	3.7	4.3	7.8	8.9	10.1	11.2	13.5	15.8	18.1
	D 500	4.1	4.7	8.2	9.3	10.5	11.6	13.9	16.2	18.5
	D 630	4.5	5.0	8.5	9.6	10.8	11.9	14.2	16.5	18.8
	D 800	4.8	5.5	9.0	10.1	11.3	12.4	14.7	17.0	19.3
TRIOFLEX belts	T 315	4.0	4.8	8.3	9.4	10.6	11.7	14.0	16.3	18.6
	T 400	4.4	5.3	8.8	9.9	11.1	12.2	14.5	16.8	19.1
	T 500	5.0	5.9	9.4	10.5	11.7	12.8	15.1	17.4	19.7
	T 630	5.5	6.5	10.0	11.1	12.3	13.4	15.7	18.0	20.3
	T 800	6.0	7.2	10.7	11.8	13.0	14.1	16.4	18.7	21.0
	T 1000	6.5	7.8	11.3	12.4	13.6	14.7	17.0	19.3	21.6
	T 1250	7.2	8.1	11.6	12.7	13.9	15.0	17.3	19.6	21.9
FERROFLEX belts	F 500	3.2	5.9	9.4	10.5	11.7	12.8	15.1	17.4	19.7
	F 630	3.2	6.4	9.9	11.0	12.2	13.3	15.6	17.9	20.2
	F 800	4.5	8.9	12.4	13.5	14.7	15.8	18.1	20.4	22.7
	F 1000	4.5	9.8	13.3	14.4	15.6	16.7	19.0	21.3	23.6
	F 1250	6.0	12.5	16.0	17.1	18.3	19.4	21.7	24.0	26.3
	F 1600	6.0	14.1	17.6	18.7	19.9	21.0	23.3	25.6	27.9

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección C1

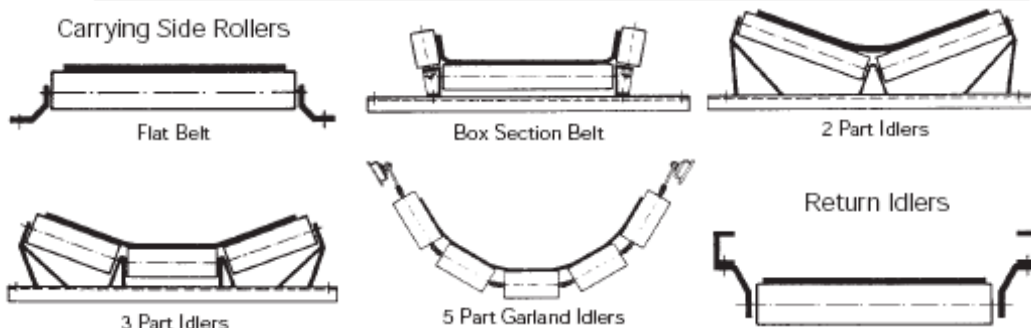
ANEXO 5. LONGITUD DEL TRANSPORTADOR Vs COEFICIENTE DE LONGITUD C



Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 12.3

ANEXO 6. MASA m'_R (Kg)

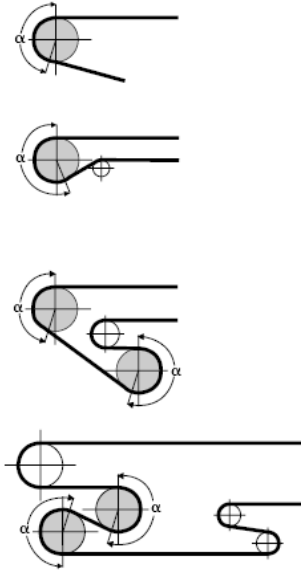
Belt width B (mm)	Idler Rollers	Idler Roller Diameter								
		51	63.5	88.9	108	133	159	193.7	219.1	
300	flat	1.6	2.2	3.2						
	2 part	2.3	3.4	4.1						
400	flat	2.0	2.7	3.9	5.6					
	2 part	2.6	3.7	4.7	6.6					
	3 part	2.9	4.4	5.4	7.3					
500	flat	2.2	3.2	4.5	6.6					
	2 part	2.8	4.1	5.5	7.8					
	3 part	3.2	4.6	6.1	8.4					
650	flat		4.0	5.5	8.0	10.8				
	2 part		4.7	6.3	9.0	12.1				
	3 part		5.4	7.0	9.8	13.1				
800	flat		4.7	6.7	9.8	13.3				
	2 part		5.6	7.4	10.6	14.2				
	3 part		6.5	8.3	11.6	15.6				
	5 part			9.0	12.4	16.3				
1000	flat			9.4	11.7	15.9	21.9			
	2 part			11.3	13.2	17.8	24.7			
	3 part			13.0	13.6	18.2	26.3			
	5 part			13.8	14.2	18.9	28.0			
1200	flat				14.2	19.3	26.1			
	2 part				15.0	20.5	28.0			
	3 part				16.3	22.3	24.5			
	5 part				17.2	21.7	31.9			
1400	flat					21.8	29.3			
	2 part					23.3	31.6			
	3 part					25.0	35.5			
	5 part					24.3	35.0			
1600	flat					25.1	33.4			
	2 part					26.5	35.0			
	3 part					28.0	38.7			
	5 part					28.5	39.3			
1800	flat					27.6	37.8			
	2 part					29.1	39.5			
	3 part					30.7	42.4			
	5 part					31.5	42.5			
2000	flat					30.2	40.2	69.1		
	2 part					31.8	43.3	76.4		
	3 part					33.3	47.0	80.1		
	5 part					33.8	46.5	89.5		
2200	flat						46.5	77.8	88.0	
	2 part						49.0	82.6	97.1	
	3 part						50.1	93.2	111.0	
	5 part						51.0	95.5	111.8	



Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección B1

ANEXO 7. VALORES PARA EL FACTOR C2

Factor c_2



Angle of wrap α°	Friction coefficient μ							
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
160	3.10	1.92	1.34	0.99	0.76	0.60	0.49	0.40
170	2.90	1.78	1.24	0.91	0.70	0.55	0.44	0.36
180	2.71	1.66	1.14	0.84	0.64	0.50	0.40	0.32
190	2.54	1.55	1.06	0.74	0.59	0.46	0.36	0.29
200	2.39	1.45	0.99	0.72	0.54	0.42	0.33	0.26
210	2.26	1.36	0.93	0.67	0.50	0.38	0.30	0.24
220	2.14	1.28	0.87	0.62	0.46	0.35	0.27	0.22
230	2.02	1.22	0.81	0.58	0.43	0.33	0.25	0.20
240	1.92	1.14	0.76	0.54	0.40	0.30	0.23	0.18
360	1.14	0.64	1.40	0.26	0.18	0.13	0.09	0.07
370	1.10	0.61	0.38	0.25	0.17	0.12	0.08	0.06
380	1.06	0.59	0.36	0.24	0.16	0.11	0.08	0.05
390	1.03	0.56	0.35	0.22	0.15	0.10	0.07	0.05
400	0.99	0.54	0.33	0.21	0.14	0.10	0.07	0.05
410	0.96	0.52	0.31	0.20	0.13	0.09	0.06	0.04
420	0.93	0.50	0.31	0.19	0.13	0.08	0.06	0.04
430	0.89	0.48	0.29	0.18	0.12	0.08	0.05	0.04
440	0.87	0.46	0.27	0.17	0.11	0.07	0.05	0.03
450	0.84	0.45	0.26	0.16	0.11	0.07	0.05	0.03
460	0.81	0.43	0.25	0.16	0.10	0.07	0.04	0.03
470	0.79	0.41	0.24	0.15	0.09	0.06	0.04	0.03

Value $e^{\mu\alpha}$

Angle of wrap α°	Friction coefficient μ							
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
180	1.37	1.60	1.88	2.20	2.57	3.00	3.51	4.21
190	1.39	1.64	1.94	2.29	2.70	3.18	3.75	4.44
200	1.41	1.69	2.01	2.40	2.85	3.40	4.04	4.82
210	1.44	1.73	2.08	2.50	3.00	3.60	4.32	5.20
220	1.46	1.78	2.16	2.60	3.17	3.89	4.65	5.64
230	1.49	1.83	2.23	2.73	3.32	4.07	4.97	6.09
240	1.52	1.88	2.32	2.85	3.51	4.34	5.35	6.60
320	1.75	2.32	3.06	4.05	5.35	7.05	9.35	12.40
340	1.81	2.44	3.27	4.40	5.95	8.00	10.70	14.50
360	1.88	2.57	3.52	4.80	6.58	9.00	12.40	17.00
380	1.94	2.71	3.77	5.25	7.30	10.20	14.10	19.80
400	2.01	2.86	4.05	5.74	8.15	11.60	16.50	23.20
420	2.08	3.01	4.35	6.25	9.00	13.00	18.60	27.10

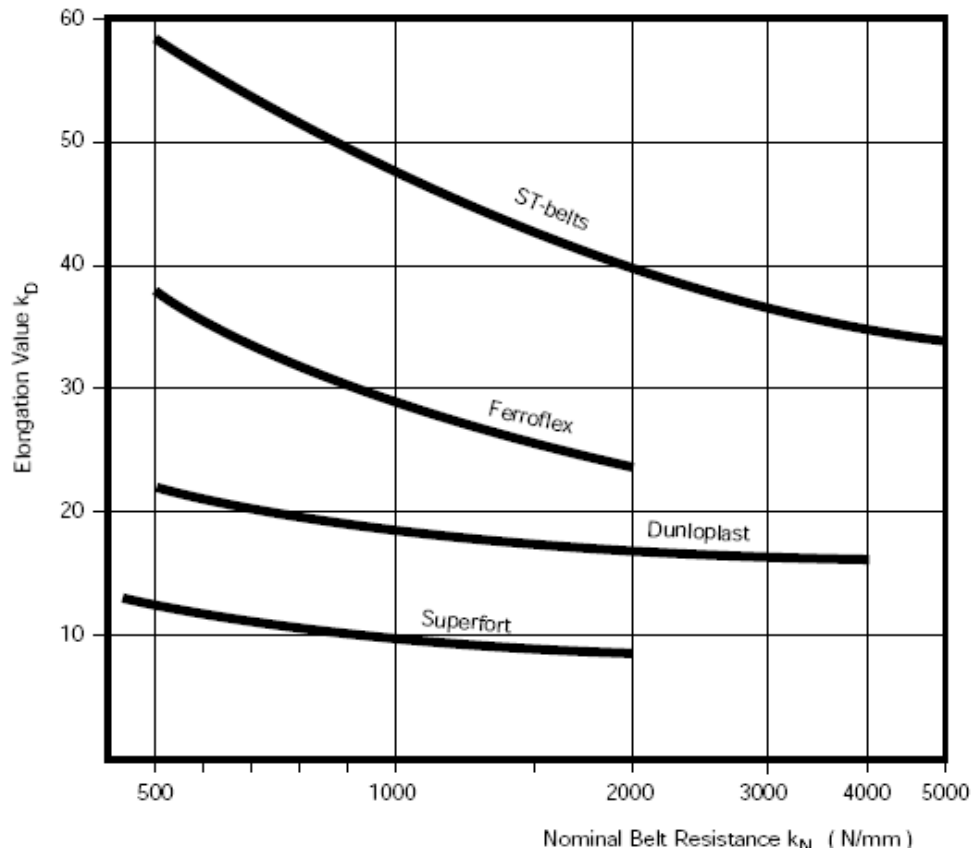
Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección F1

**ANEXO 8. VALORES MINIMOS PARA EL FACTOR DE SEGURIDAD
SEGÚN LAS CONDICIONES DE TRABAJO**

Working Conditions	Drive Conditions	
	Steady state S _B	Non-steady state S _A
Favourable: few loading changes, large pulleys, few bending stress changes	6.7	4.8
Normal	8.0	5.4
Unfavourable: many loading changes, small pulleys, frequent bending stress changes	9.5	6.0

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección 12.21

ANEXO 9. VALORES DE ELONGACIÓN K_D



Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección I2

ANEXO 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Material	Bulk Density ρ (t/m ³)	Surcharge Angle β (°)	Maximum Angle of Inclination height of profiles				Recommended Dunlop Quality
			Smooth Belts	6 mm	16 mm	32 mm	
Alum	0.80 - 1.04	25	17	-	-	-	-
Aluminium, coarse	0.95 - 1.05	15	20	-	-	-	-
Aluminium, fine	0.70 - 0.80	6	20	-	25	30	-
Aluminium - Oxide	1.12 - 1.92	15	17	-	25	30	RS
Aluminium - Silicate	0.78	-	-	-	-	-	-
Aluminium - Sulphate (granular)	0.86	20	17	-	-	-	-
Aluminium - Turnings	0.11 - 0.24	-	-	-	-	-	-
Ammonium - Chloride (crysalline)	0.83	15	15	-	-	-	RA
Ammonium - Nitrate	0.72	25	23	-	-	-	RA
Ammonium - Sulphate, dry	1.10	10	15	-	-	-	-
Ammonium - Sulphate, granulated	0.72 - 0.93	15	15	-	-	-	RA
Ammonium - Sulphate, wet	1.30	15	17	-	-	-	-
Anthracite Coal	0.90	15	17	20	35	40	-
Apples	0.35	15	10 - 12	-	-	-	-
Asbestos ore	1.30	20	18	-	-	-	-
Asbestos, shred	0.32 - 0.40	15	22	-	-	-	-
Ash, caustic salt	0.81	-	-	-	-	-	-
Ash, coal - dry 80mm and under	0.56 - 0.64	10	18	-	-	-	RA - RS
Ash, coal - wet 80mm and under	0.72 - 0.80	25	20	-	30	35	RA - RS
Ash, fly	0.45 - 0.80	15	15	-	25	30	-
Ash, fly coal slack	0.64 - 0.72	15	15	-	25	30	RA - RS
Asphalt	1.00 - 1.30	-	-	-	-	-	-
Asphalt, binder for motorways	1.28 - 1.36	-	-	-	-	-	-
Asphalt, broken	0.70	-	-	-	-	-	RA
Asphalt, paving	1.30	30	20	-	-	-	RA
Bagasse	0.13	30	25	-	-	-	RA
Bakelite, fine	0.48 - 0.64	-	-	-	-	-	-
Ballast, broken	1.50 - 1.80	15	20	22	35	40	-
Barium carbonate	1.15	-	-	-	-	-	RA
Barley	0.60 - 0.70	5	12	20	30	35	RA
Barytes, coarse grained	2.4 - 2.9	-	-	-	-	-	-
Barytes, powdered	1.9 - 2.3	20	18	-	-	-	-
Basalt	1.6 - 2.3	15	17	-	25	30	RE - RS
Basalt lava	2.30	15	17	-	20	25	RE - RS
Bauxite, broken 80mm and under	1.20 - 1.36	20	20	-	25	30	RE - RS
Bauxite, earth broken	1.09	20	18	-	25	30	RE - RS
Bauxite, raw	2.55	15	20	22	35	40	-
Beans	0.85	10	12	-	-	-	RA
Beet pulp	0.40	15	14	-	25	25	RA
Beets	0.65	15	12	-	20	30	-
Bezonite, raw	0.54 - 0.64	-	-	-	-	-	-
Bicarbonate	0.65	20	15	-	-	-	RA
Bituminous coal, fine or nuts	0.90 - 1.00	15	18 - 20	22	30	35	-
Bituminous coal up to 50mm	0.80	20	24	20	35	40	RA - BV
Blast furnace slag, broken	1.30 - 1.60	15	15 - 20	-	25	30	-
Blast furnace slag, granulated, damp	1.50	15	18	-	25	30	RA - RS - RAS
Blast furnace slag, granulated, dry	0.50 - 0.60	10	15	18	25	30	RA - RS - RAS
Bone meal	0.90	20	15	-	-	-	-
Bones	0.60	20	17	-	-	-	-
Borax, coarse	0.96 - 1.04	15	15	-	25	30	RA
Bran	0.25 - 0.30	10	12	-	25	30	RA
Brown Coal briquettes	0.65 - 0.85	20	15	-	-	20	-
Brown Coal, dry	0.65 - 0.80	15	20	22	30	40	RA
Calcium carbide	1.12 - 1.28	15	18	-	25	30	RA
Calcium oxide	0.70	20	18	-	-	-	RA

Material	Bulk Density ρ (t/m ³)	Surcharge Angle β (°)	Maximum Angle of Inclination				Recommended Dunlop Quality
			Smooth Belts	height of profiles 6 mm 16 mm 32 mm			
Carbon pellets	0.35	5	15	20	25	30	RA
Carborundum up to 80mm	1.60	10	15	-	-	-	RS
Casein	0.60	15	15	-	-	-	-
Cast Iron swarf	2.08 - 3.20	20	22	-	-	-	RA
Cement, clinker	1.20 - 1.30	15	18	-	30	30	RE - RS
Cement, dry	1.20	10	20	22	30	30	-
Cement Mortar	2.00	10	8	-	-	-	-
Chalk, broken	1.35 - 1.45	15	17	-	30	30	RA
Chalk, pulverised	1.10 - 1.20	15	15 - 18	-	30	30	RA
Charcoal	0.35	15	20	-	25	30	RA
Chestnuts	0.80	5	8 - 10	-	30	40	-
Chrome Ore	2.00 - 2.24	10	17	-	-	-	RE - RS
Clay, calcined	1.28 - 1.60	15	18	20	30	40	RA - RS
Clay, dry	1.60	15	15	-	25	30	-
Clay, dry	1.60 - 1.80	15	28	20	30	35	-
Clay, dry, lumps	0.96 - 1.20	15	15	20	30	35	RA - RS
Clay, wet	2.00	15	20	-	25	30	-
Clay, wet	1.80 - 2.00	15	15 - 18	20	30	40	-
Coal	0.95	10 - 15	10	-	-	30	-
Coal, anthracite up to 3mm	0.95	20	18	20	35	35	RA - BV
Coal dust	0.06 - 0.11	10	5	-	-	-	RA
Coal, pelletized	0.32 - 0.40	-	-	-	-	-	-
Cocoa beans	0.55	10	12	-	-	-	RA
Cocoa powder	0.50	5	20	-	25	30	RA
Coffee beans, green	0.55	10	12	-	25	30	RA
Coffee beans, raw	0.45 - 0.65	5	5	-	25	30	RA
Coffee beans, roasted	0.30 - 0.45	5	5	-	25	30	RA
Coke breeze up to 7mm	0.40 - 0.56	20	20	-	-	-	RA - RS - BV
Coke, loose	0.37 - 0.56	20	18	-	35	35	RE - RS
Coke, petroleum calcined	0.56 - 0.72	20	18	-	-	-	RA
Colseed	0.65	5	15	20	25	30	-
Compost	0.80	15	15	20	25	30	ROM - ROS
Concrete, stone	2.08 - 2.40	-	-	-	-	-	-
Concrete, wet (Readymix)	1.76 - 2.40	-	-	-	-	-	-
Concrete with gravel	1.80	10	18	20	25	30	-
Concrete with limestone	2.00 - 2.20	15	10	22	27	32	-
Copper ore	1.92 - 2.40	15	15	-	-	-	RE - RS
Copper sulphate	1.20 - 1.36	15	15	-	-	-	RA
Copra flakes	0.40 - 0.60	10	17	-	-	-	ROM - ROS
Cork, broken	0.10 - 0.20	15	15	-	25	30	-
Cork, fine	0.20 - 0.25	15	17	-	25	30	RA
Cork, granulated	0.19 - 0.24	10	17	-	25	30	RA
Cornmeal	0.60 - 0.65	10	15	20	25	30	-
Cotton seed	0.4 - 0.5	20	15	-	-	-	-
Cotton seed flock	0.35	-	-	-	-	-	-
Cryolite, dust	1.20 - 1.44	-	-	-	-	-	-
Cryolite, Lumps	1.44 - 1.60	-	-	-	-	-	-
Dicalcium Phosphate	0.69	-	-	-	-	-	-
Disodium Phosphate	0.40 - 0.50	-	-	-	-	-	-
Dolomite, broken	1.60	15	10	-	30	35	-
Dolomite, pieces	1.44 - 1.60	15	17	-	30	35	RE - RS
Earth, dry	1.60	10	15	20	25	40	-
Earth, excavated dry	1.12 - 1.28	10	17	20	30	30	RA
Earth, wet	2.00	15	20	25	30	45	-
Earth, wet loamy	1.60 - 1.76	15	20	23	30	30	RA

Material	Bulk Density ρ (t/m ³)	Surcharge Angle β (°)	Maximum Angle of Inclination				Recommended Dunlop Quality
			Smooth Belts	height of profiles 6 mm 16 mm 32 mm			
Ebonite up to 13mm	1.04 - 1.12	-	-	-	-	-	-
Felspar, broken	1.6	20	18	-	25	30	RS
Felspar, lump size 40-80mm	1.44 - 1.76	-	-	-	-	-	-
Felspar, screened to 13mm	1.12 - 1.36	-	-	-	-	-	-
Fertilizer	0.90 - 1.20	15	20	25	30	35	-
Filter cake	1.15	10	15	-	-	-	-
Filter mud	0.60 - 0.80	10	12	-	-	-	-
Fishmeal	0.55 - 0.65	5	14	25	30	30	MORS-ROM
Flaxseed	0.70 - 0.75	5	14	20	30	35	MORS
Flourcalcium 40-80mm	1.76 - 1.92	-	-	-	-	-	-
Flourcalcium, screened	0.56 - 1.68	-	-	-	-	-	-
Flourspar	2.50	15	17	-	25	30	RE - RS
Fly ash	0.45 - 0.80	15	15	-	25	30	-
Foundry waste	1.12 - 1.60	-	-	-	-	-	-
Fruit	0.35	10	15	-	-	-	-
Fullers earth, dry	0.48 - 0.56	10	15	-	-	-	RA
Fullers earth, oil filter, burnt	0.64	-	-	-	-	-	-
Fullers earth, oil filter raw	0.56 - 0.64	-	-	-	-	-	-
Fullers earth, oily	0.96 - 1.04	20	20	-	-	-	RA
Glass, broken	1.30 - 1.60	15	18 - 20	-	-	-	-
Grain	0.60	-	12	-	-	-	RA
Granite, 40-50mm lumps	1.36 - 1.44	-	-	-	-	-	-
Granite ballast	1.40 - 1.80	15	15	-	25	30	-
Granite, broken	1.52 - 1.60	-	-	-	-	-	-
Granite, screened, up to 13mm	1.28 - 1.44	-	-	-	-	-	-
Graphite flock	0.60 - 0.65	10	15	-	-	-	RA
Graphite, pulverized	0.45	5	15	-	-	-	RA
Grass seed	0.22	5	15	25	25	30	RA
Gravel	1.44 - 1.60	-	-	-	-	-	-
Gravel, dry	1.40 - 1.50	10	17	-	30	35	RA
Gravel, wet	1.80 - 1.90	15	18	-	30	35	RA
Green fodder	0.35	20	10 - 15	-	25	30	-
Ground nut kernels	0.35	10	14	18	20	25	ROM
Ground nuts, with shells	0.30	10	14	20	25	30	ROM
Ground nuts, without shells	0.35	18	12	-	20	25	-
Guano, dry	1.12	-	-	-	-	-	-
Gypsum, broken	1.35	15	15	-	25	30	-
Gypsum, burnt	1.80	10	15	-	25	30	RA
Gypsum mortar	1.20	10	-	8	-	-	-
Gypsum, pulverized	0.95 - 1.50	10	18	22	30	30	RA
Gypsum, sieved	1.45	15	17	-	25	30	RA
Household refuse	0.80	10	15 - 20	20	25	30	-
Husks, dry	0.45	22	20	-	-	-	RA - ROS
Husks, wet	0.90	22	20	-	-	-	RA - ROS
Iron Ore, broken	2.00 - 4.50	15	18	25	30	35	RS - RAS
Iron Ore, crushed	2.16 - 2.40	-	-	-	-	-	-
Iron Ore, pellets	5.00	5	12	-	20	25	RS - RAS
Iron Oxide, pigment	0.40	-	-	-	-	-	-
Iron turnings (Swarf)	2.00	-	-	-	-	-	-
Kaolin, broken	1.00	20	19	-	-	-	RA
Kaolin clay up to 80mm	1.00	20	19	-	-	-	RA
Kaolin, pulverized	0.70 - 0.90	30	20	-	-	-	RA
Kieselguhr	0.17 - 0.22	5	15	-	-	-	-
Kiln Brick	1.60	17	17	-	25 - 30	25 - 30	RA - RS

Material	Bulk Density ρ (t/m ³)	Surcharge Angle β (°)	Maximum Angle of Inclination				Recommended Dunlop Quality
			Smooth Belts	height of profiles 6 mm 16 mm 32 mm			
Lactose (milk sugar)	0.51	-	-	-	-	-	RA - RS
Lead - Arsenate	1.15	-	-	-	-	-	-
Lead Ore	3.20 - 4.70	15	17	-	25	30	RA
Lead - Oxide	0.96 - 2.40	15	15	-	25	30	RA
Legumes	0.85	5 - 10	8 - 10	-	-	20	-
Lime, hydrated	0.60	15	15	-	-	-	RA
Lime, lumps	1.20 - 1.36	-	-	-	-	-	-
Lime, pulverized	1.00 - 1.20	5	20	22	25	27	-
Lime, slaked	0.64	-	-	-	-	-	-
Lime up to 3mm	0.96	15	18	-	25	30	RA
Limestone, Broken	1.40 - 1.50	15	18	22	30	35	RA - RS
Limestone, dust	1.30 - 1.40	5	15	-	25	30	RA - RS
Linseed	0.72	5	12 - 15	20	30	35	-
Linseed cake	0.75 - 0.80	10	15	-	-	-	-
Magnesite	3.00	15	17	-	-	-	-
Magnesite, fine	1.04 - 1.20	-	-	-	-	-	-
Magnesium chloride	0.52	20	20	-	-	-	RA
Magnesium oxide	1.90	10	17	-	25	30	RA
Magnesium sulphate	1.10	10	16	-	25	30	RA
Magnetite	3.00	15	17	-	-	-	-
Maize	0.70 - 0.75	5	10 - 12	-	25	30	-
Maize, shelled	0.70	10	10	-	25	30	BV - ROM - BVO
Malt, dry	0.30 - 0.50	5	15	20	25	30	-
Manganese dioxide	1.28	-	-	-	-	-	-
Manganese ore	2.0 - 2.3	25	20	-	-	-	-
Manganese sulphate	1.12	10	15	-	-	-	-
Manure	1.10	15	20	25	30	30	ROS
Marble, broken	2.70	15	15	-	25	25	-
Marble, crushed, up to 13mm	1.44 - 1.52	15	17	-	25	25	RA - RS
Marl, dry	1.20 - 1.30	10	17	-	25	30	RA - RS
Meal	0.60 - 0.70	5	20	22	30	35	-
Molybdenite, powdered	1.71	15	18	-	-	-	RA
Mortar, cement	2.00	10	-	-	20	-	RA
Mortar, Gypsum	1.20	10	-	-	20	-	RA
Mortar, Lime	1.70	10	8	-	20	-	-
Moulding sand, core sand	1.04	15	20	-	-	-	-
Moulding sand, knock-out	1.45 - 1.60	10	18	-	-	-	-
Moulding sand, prepared	1.30 - 1.45	10	20	25	30	35	-
Mushrooms	0.40	10	15	-	25	30	-
Nickel Ore	2.40	-	-	-	-	-	-
Oats	0.55	5	15	20	25	30	RS
Oil Sand	1.50	15	15	-	25	30	-
Ore, Copper	1.92 - 2.40	15	15	-	-	-	RE - RS
Ore, Iron	2.00 - 4.50	15	18	25	30	35	RS - RAS
Ore, Lead	3.2 - 4.7	15	17	-	25	30	RA
Ore, Manganese	2.0 - 2.3	25	20	-	-	-	-
Ore, Zinc	2.40	15	15	-	25	30	-
Overburden	1.7	15	17	-	-	-	-
Peas, dried	0.70 - 0.80	5	14	18	20	25	RA
Peat, dry	0.32 - 0.80	15	15	25	25	30	-
Peat, wet	0.65 - 1.00	15	12	-	25	30	-
Phosphate, broken	1.20	15	15	-	25	30	-
Phosphate, fertilizer	0.96	-	-	-	-	-	-
Phosphate, sand, cement	1.36	-	-	-	-	-	-

Material	Bulk Density ρ (t/m ³)	Surcharge Angle β (°)	Maximum Angle of Inclination				Recommended Dunlop Quality
			Smooth Belts	height of profiles 6 mm	16 mm	32 mm	
Phosphate, pulverized	0.96	-	-	-	-	-	-
Phosphate rock, broken	1.35 - 1.45	15	15	-	25	30	-
Plaster	1.70	10	15	-	20	-	RA
Portland cement	1.50	20	18	-	30	30	RA
Portland cement, loose	0.96 - 1.20	15	15	-	-	-	RA
Potash	1.35	10	17	20	25	30	RA - RS
Potash	1.10 - 1.60	10	20	-	30	35	-
Potash, broken	1.20 - 1.35	-	-	-	-	-	-
Potash salts, sylvite etc	1.28	-	-	-	-	-	-
Potassium (Saltpetre)	1.22	-	-	-	-	-	-
Potassium chloride pellets	1.92 - 2.08	-	-	-	-	-	-
Potassium sulphate	0.67 - 0.77	-	-	-	-	-	-
Potatoes	0.75	15	12	-	20	25	RA
Pulp, dry	0.20 - 0.25	15	15	-	25	30	-
Pulp, wet	0.40	15	12	-	25	25	-
Pumice stone	1.20	15	17	-	25	30	-
Pumice stone sand	0.70	10	15	20	25	30	-
Pyrites, Iron lump size 50-80mm	2.16 - 2.32	-	-	-	-	-	-
Pyrites, Iron Sulphide	2.00 - 2.50	15	15	-	25	30	-
Pyrites, pellets	1.92 - 2.08	15	15	-	25	30	RA - RS
Quartz, broken	1.60 - 1.75	15	17	-	25	30	-
Quartz, lump size 40-80mm	1.36 - 1.52	-	-	-	-	-	-
Quartz sand	1.70 - 1.90	15	17	20	25	30	RA - RS
Rape seed	0.80	5	12	15	25	25	-
Rice	0.70 - 0.80	5	8	12	20	25	RA
Roadstone, Broken (Porphyry)	1.50 - 1.70	15	20	22	30	35	-
Rock salt	1.00 - 1.20	10	15	-	30	35	-
Rubber, dust	0.60 - 0.65	10	20	-	25	30	-
Rubber, pelletized	0.80 - 0.88	10	20	-	25	30	RA
Rubber, reclaim	0.40 - 0.48	10	20	-	25	30	RA
Run of mine coal	0.80 - 1.00	15	18	22	35	40	-
Rye	0.70 - 0.80	5	15	20	30	35	RA
Salt, coarse	0.70 - 0.80	10	17	-	30	35	RA
Salt, common, dry	0.64 - 0.88	-	-	-	-	-	-
Salt, common, fine	1.12 - 1.28	10	17	25	30	35	RA
Saltpetre	1.10	5	15	20	25	30	-
Saltpetre	1.70	10	16	-	-	-	RA
Sand and gravel, dry	1.50 - 1.80	10	18	20	30	35	RA
Sand and gravel, wet	1.80 - 2.10	15	20	25	30	35	RA
Sand, dry	1.30 - 1.60	10	17	20	25	30	RA
Sand, foundry, prepared	1.44 - 1.60	20	17	-	30	35	RA
Sand pebble, dry	2.00	5	15	20	25	30	RA
Sand, wet	1.60 - 2.00	15	20	25	35	35	RA
Sandstone	1.36 - 1.44	15	17	-	30	35	RA - RS - RAS
Sawdust	0.20 - 0.30	20	18	20	25	25	ROM
Sewage Sludge	0.64 - 0.80	-	15	-	-	-	RA - ROS
Shale	2.70	15	18	-	25	30	RA - RS - RAS
Shale, broken	1.44 - 1.60	-	-	-	-	-	-
Shale dust	1.12 - 1.28	-	-	-	-	-	-
Shale, lump size 40-80mm	1.36 - 1.52	-	-	-	-	-	-
Sinter, blast furnace, dry	1.50	15	15	-	25	30	-
Slag, blast furnace	1.50	15	-	25	30	-	-
Slag, blast furnace, broken	1.28 - 1.44	10	15	-	25	30	RA - RS - RAS
Slag, porous, broken	0.60	15	15	-	25	30	-
Slate, broken	1.40 - 1.55	15	17	-	25	30	RA - RE

Material	Bulk Density ρ (t/m ³)	Surcharge Angle β (°)	Maximum Angle of Inclination				Recommended Dunlop Quality
			Smooth Belts	height of profiles 6 mm 16 mm 32 mm			
Soap beads or granules	0.24 - 0.40	10	12	18	25	-	RA
Soap flakes	0.15 - 0.35	10	18	22	25	30	RA
Soda	0.90 - 1.20	-	17	-	20	25	RA
Soda ash, heavy	0.88 - 1.04	-	-	-	-	-	-
Soda ash, light	0.32 - 0.56	-	-	-	-	-	-
Sodium Bicarbonate	0.65	-	-	-	-	-	-
Sodium nitrate	1.12 - 1.28	-	-	-	-	-	-
Soot	0.40 - 0.75	5	15	20	25	30	-
Soya beans	0.80	15	18	-	-	-	ROS
Steel trimmings, shredded	1.60 - 2.40	-	-	-	-	-	-
Stone, broken, small	1.50 - 1.80	15	15	-	25	30	-
Stone, large, sized	1.40 - 1.60	15	15	-	20	25	-
Stone, sized	1.55 - 1.70	10	15	-	22	27	-
Sugar cane, raw	0.88 - 1.04	10	19	22	25	-	RA
Sugar, granulated	0.60 - 0.80	5	15	20	25	-	RA
Sugar, powdered	0.80 - 0.96	0	12	16	20	25	RA
Sugar, raw	0.90 - 1.50	15	20	20	25	-	-
Sugar-beet	0.70	18	18	-	-	30	RA
Sugar-beet, sliced, damp	0.40	15	18 - 20	-	25	30	-
Sugar-beet, sliced, dry	0.20 - 0.25	-	18	-	25	30	-
Sugar-beet, wet	0.88 - 1.04	-	-	-	-	-	-
Sulphate, ferrous	0.80 - 1.20	-	-	-	-	-	-
Sulphur, broken	1.30	15	17	20	30	35	RA
Sulphur, pulverized	0.90	5	19	25	30	35	RA
Table Salt	0.80	10	20	25	30	35	-
Tile, hard	2.00	-	-	-	-	-	-
Tile, soft	1.60	-	-	-	-	-	-
Titanium, washed	0.96 - 1.12	15	17	-	-	-	RA - RS - RAS
Tomatoes	0.90	10	10 - 12	-	20	30	-
Wheat	0.75	10	14	20	30	35	ROM
Wheat, flour	0.55 - 0.65	5	20	22	30	35	-
Wood chips	0.30 - 0.40	-	15	-	20	-	-
Wood chips, wet	0.60 - 0.85	10	20	-	20	-	-
Wood shavings	0.16 - 0.48	5	12	18	20	25	RA - ROM
Zinc Ore	2.40	15	15	-	25	30	-
Zinc Ore, burnt	1.60	-	-	-	-	-	-
Zinc Ore, crushed	2.56	15	17	-	25	30	RA - RS - RAS
Zinc Oxide, heavy	0.48 - 0.56	15	17	-	20	25	RA
Zinc Oxide, light	0.16 - 0.24	-	-	-	-	-	-
Zinc Sulphate	3.70	15	17	-	25	30	RA

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección Q

ANEXO 11. VALORES DE S_{min}

Carcase	Working Conditions	S_{min}
Textile belts	favourable	3.2
	normal	3.5
	unfavourable	3.7
ST-belts	favourable	2.8
	normal	3.0
	unfavourable	3.2

Fuente: FENNER DUNLOP, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, sección I2