Comparación Métodos de Cálculo con la Realidad

Nueva emisión revisada en mayo del 2023 por Proconm

ISO 5048

DIN 22101

OBV

CEMA 5

CEMA 6

Por: Efraín Bozo Godoy

Introducción

Está claro que los métodos de cálculo nos deben entregar potencias con un porcentaje por sobre la realidad para asegurar la operación. Este estudio permite identificar que métodos de cálculo de correas transportadoras nos dan mayor seguridad operacional.

Por otro lado, el sobredimensionamiento excesivo nos lleva a seleccionar una cinta de mayor resistencia y ancho lo que aumenta considerablemente el CAPEX.

Por supuesto, que se recomienda aplicar siempre el criterio de eficiencia energética. Y las modificaciones realizadas en planta debieran tender a cumplir con este criterio. Esto es: **Disminuir la disipación de energía**.

Validación CEMA de los Softwares

Prácticamente todos los softwares calculan de acuerdo con el manual CEMA. En esta primera parte veremos cuan cerca del manual están los diferentes softwares. Los más conocidos son:

- Pro-Belt
- Belt Analyst
- Belstat
- Sidewinder

Para la validación, se tomaron los cuatro problemas que están desarrollados en el CEMA 5 y se calcularon con los softwares mencionados considerando la misma versión.

Resultados y Tabla de Comparación

	Manual CEMA	Pro-Belt	Belt Analyst	Beltstat	Sidewinder
Prob. 1 L=600 m H=20 m	240 (100%)	230 (96%)	**240** **(100%)**	235 (98%)	235 (98%)
Prob. 2 L=360 m H=-60 m	-180 (100%)	**-180** **(100%)**	-170 (94%)	**-180** **(100%)**	-170 (94%)
Prob. 3 L=730 m	250 (100%)	**250** **(100%)**	**250** **(100%)**	230 (92%)	225 (91%)
Prob. 4 L=1200m H=20 m	170 (100%)	155 (91%)	**170** **(100%)**	**170** **(100%)**	160 (94%)

Análisis y Conclusiones para CEMA 5

- El Belt Analyst es el programa que está totalmente de acuerdo con el CEMA 5. Sólo tiene una diferencia de -10% en la correa regenerativa.
- Lo mismo sucede con el Pro-Belt que sólo tiene una diferencia significativa en -9% en la correa cóncava-convexa de gran longitud.
- El Belstat tiene diferencia en la correa horizontal de -8%.
- En general, el Sidewinder entrega resultados menores que fluctúan entre -2% y -9%.
- En resumen, los programas de cálculo que enuncian estar basados en el CEMA tienen diferencias aceptables que van de -10% a +0%

Normas ISO 5048 y DIN 22101

Las norma ISO 5048 es similar a la norma DIN 22101. Sólo el Sidewinder incluye estos cálculos. En la actualidad, el Belt Analyst y otros softwares consideran cálculo con estas normas.

El Sidewinder también considera el método de Ozter, Behrends y Vincent (OBV) que forma parte de este análisis.

Comparación otros Métodos con CEMA 5

Para hacer extensivo los casos del CEMA 5 a los otros métodos, se utilizó el software Sidewinder para los cálculos. Para la norma DIN/ISO, se consideran dos factores ficticio de fricción, uno es el valor básico definido por la ISO o el valor estándar de la DIN: 0,02. El otro valor: 0,018 fue tomado de la práctica. Por tanto, los métodos a comparar con el CEMA 5 del Libro son:

- CEMA 5
- CEMA 6
- DIN / ISO 5048 con factor de fricción f = 0,020
- DIN / ISO 5048 con factor de fricción f = 0,018
- Método de Oszter, Behrends y Vincent (OBV)

Comparación Otros Métodos Vs. CEMA 5 Libro

	CEMA 5	CEMA 6	ISO 5048		OBV
			f = 0,020	*f* = 0,018	
Prob. 1 L=600 m H=20 m	235 (100%)	230 (98%)	235 (100%)	225 (96%)	205 (87%)
Prob. 2 L=360 m H=-60 m	-170 (100%)	-175 (103%)	*f* = 0,016 -175 (103%)	*f* = 0,012 -180 (106%)	-180 (106%)
Prob. 3 L=730 m	225 (100%)	190 (85%)	240 (107%)	215 (96%)	165 (73%)
Prob. 4 L=1200m H=20 m	160 (100%)	125 (78%)	160 (100%)	150 (94%)	120 (75%)

Análisis y Conclusiones CEMA 5 y Otros Métodos

1. Con excepción de la Correa Regenerativa, el CEMA 6 arroja resultados inferiores al CEMA 5 que fluctúan entre -2% y -22%. Lo que muestra que el CEMA 5 Histórico entrega valores de potencia mayores al CEMA 6 Universal, similar al actual CEMA 7.

2. Lo mismo pasa con la ISO 5048 - f = 0,018. En este caso la fluctuación es entre -4% y -6%.

3. Ídem para la OBV. La fluctuación es entre -13% y -27% lo que no es aceptable.

4. Los cálculos para la norma ISO 5048 – f = 0,020 son similares al CEMA 5 y fluctúan entre 0% y 7%.

Cotejar Métodos de Cálculo con la Realidad

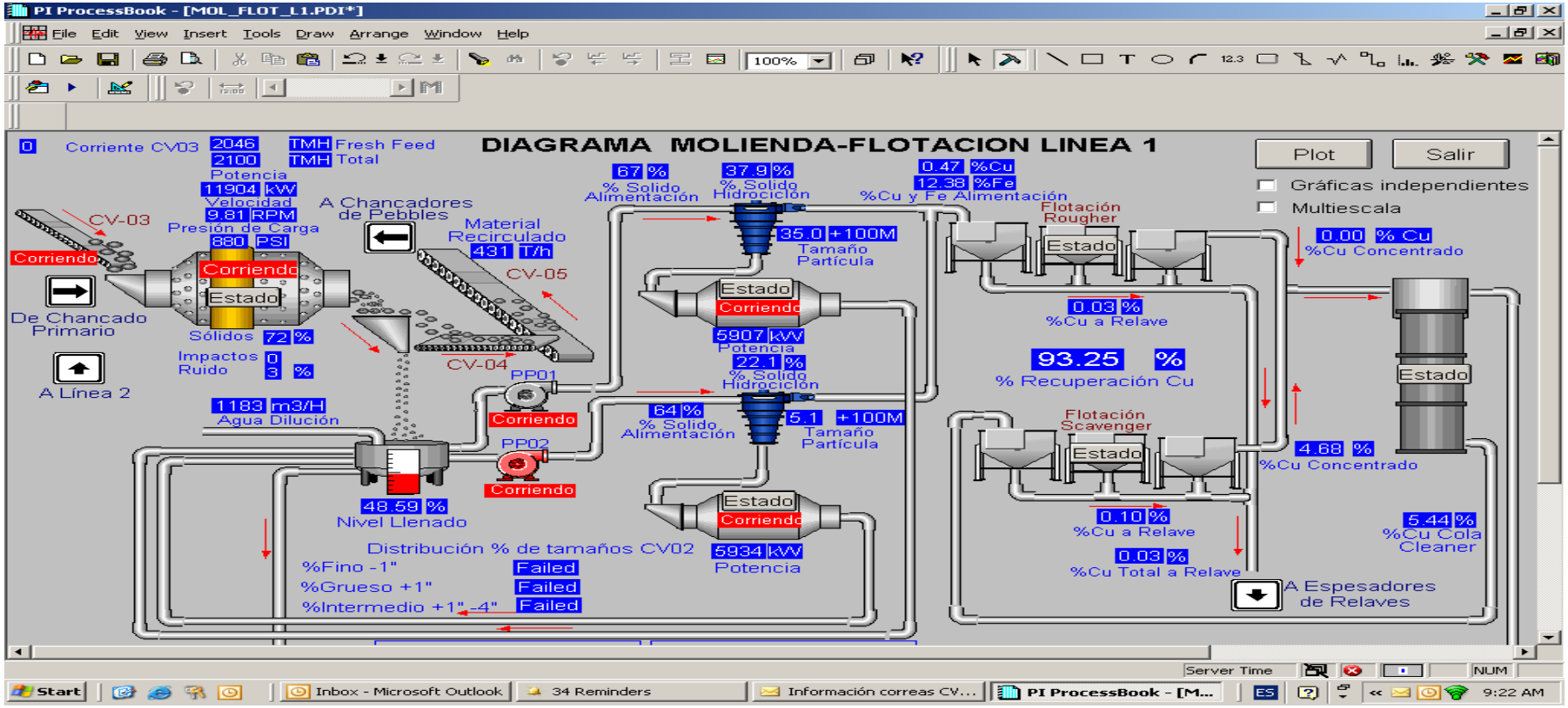
Se seleccionaron correas transportadoras que se encuentran en funcionamiento. Profesionales en terreno midieron potencia y flujo. Posteriormente, se compararon estos resultados con los diferentes métodos de cálculo

Características de las Correas Seleccionadas:

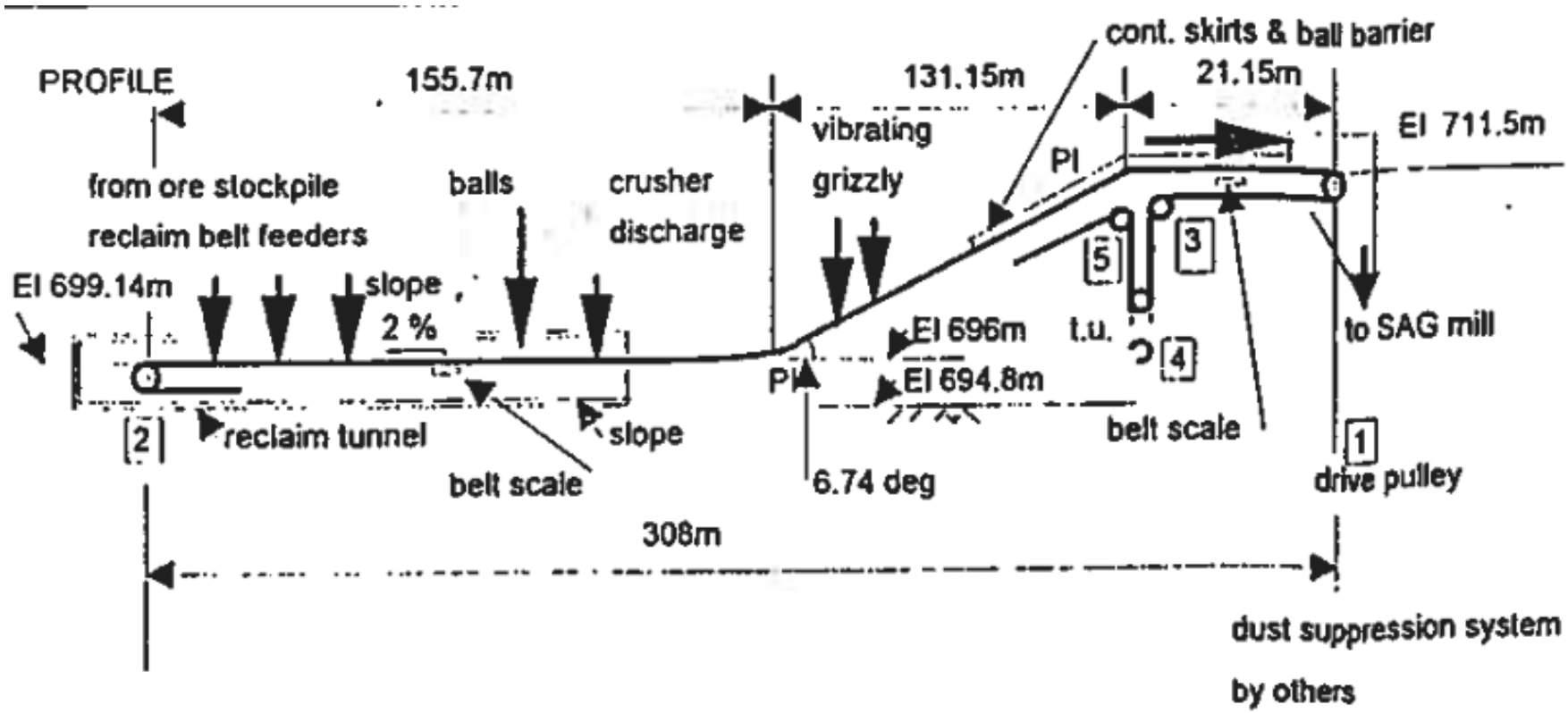
- Material centrado sobre la cinta
- Tensor operativo
- La cinta apoyada en los tres rodillos de los polines
- Todos los polines giran (no están trabados)

Correas de Candelaria Línea 1 y Línea 2

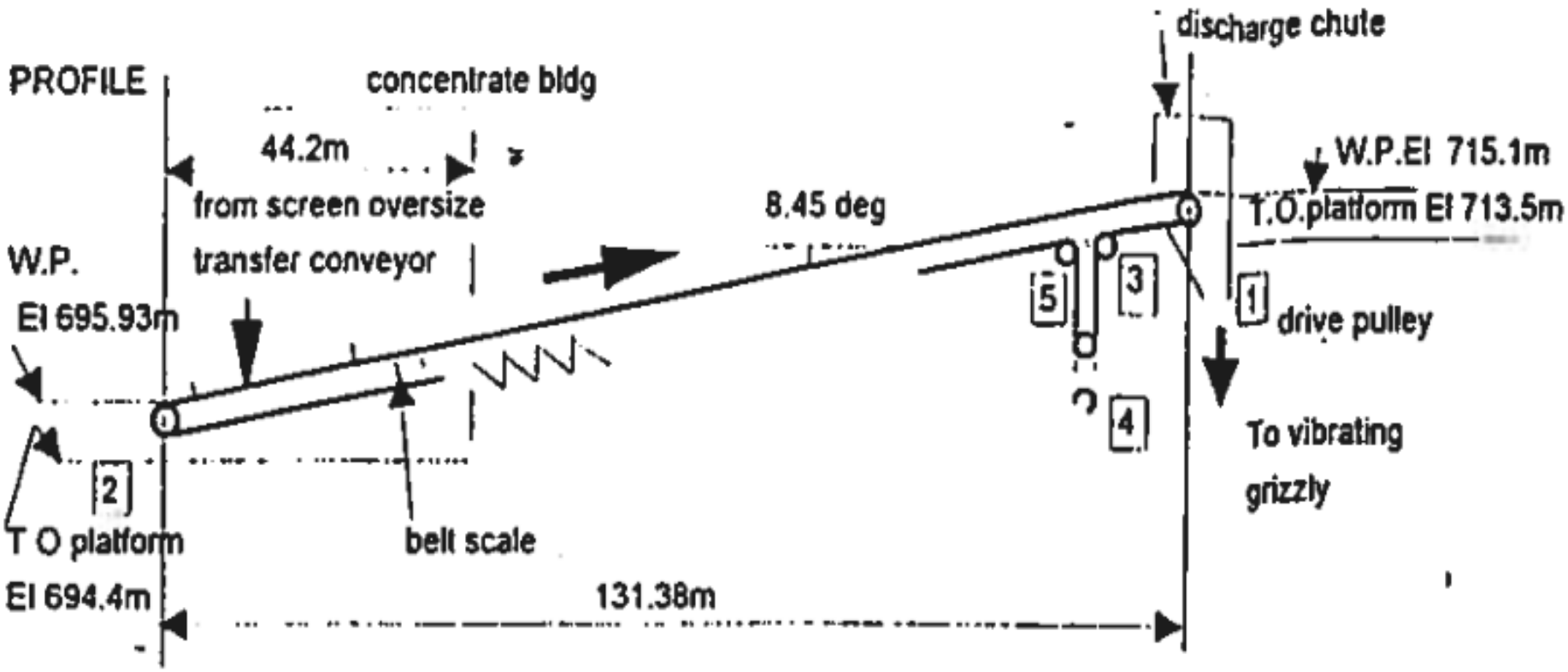
Se midieron flujos y potencia en 4 correas transportadoras, 2 de cada Fase: CV-03 y CV-05. Correas similares en dimensiones para ambas fases.



Correas CV-03 de Candelaria F1 y F2

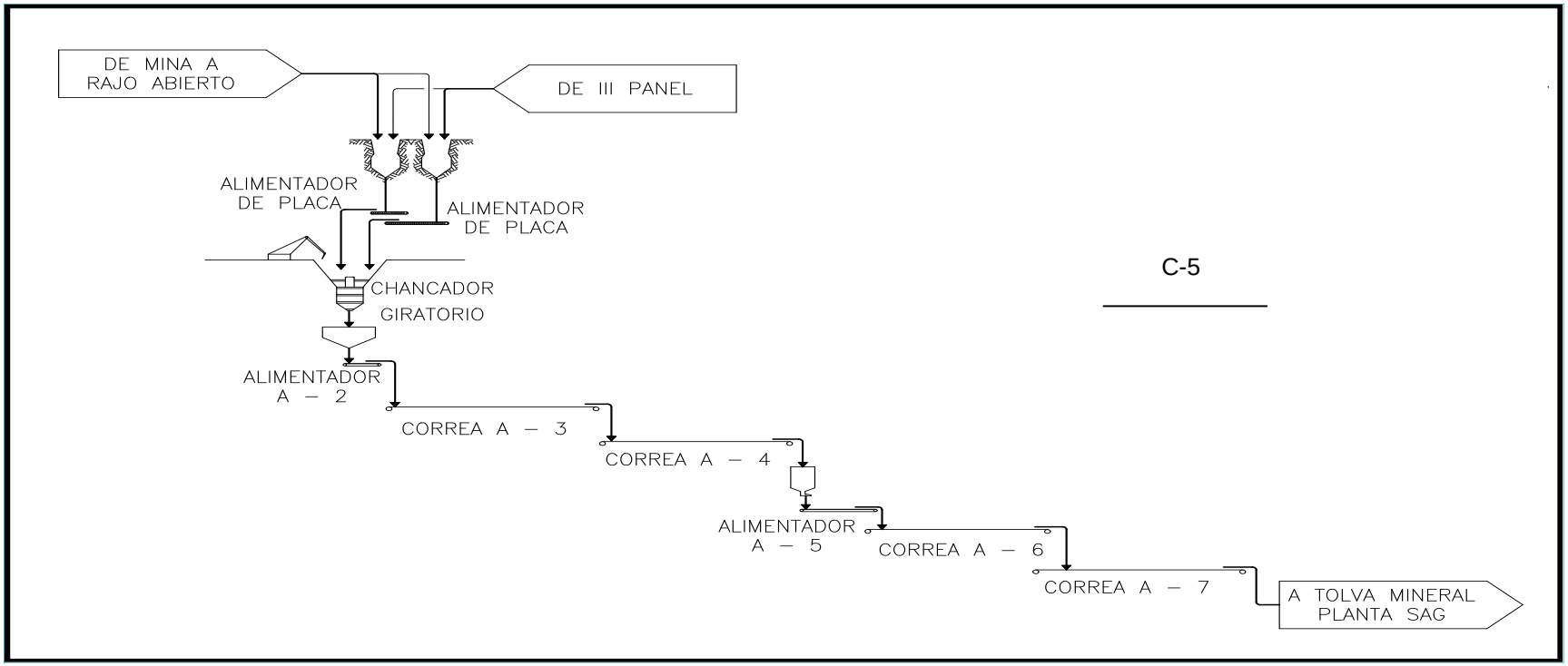


Correas CV-05 de Candelaria F1 y F2



Correas de Codelco Andina: C-5, A-4 y A-6

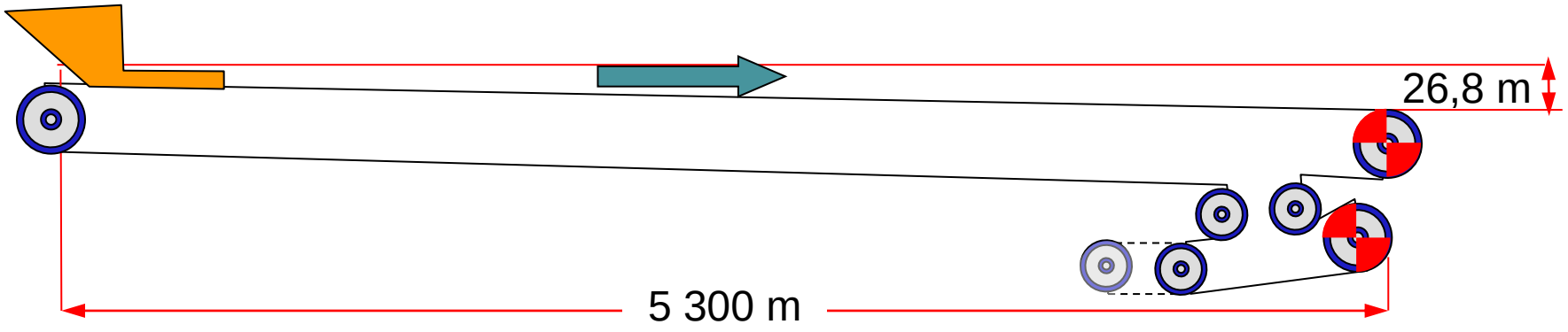
En Codelco-Andina se midieron flujos y potencias de 2 correas de la Línea SAG y Molienda Unitaria: A-4 y A-6. Y de la molienda convencional se incluyó a la histórica correa C-5, por muchos años la correa de mayor longitud en chile y la primera en incurrir a una velocidad superior a la recomendada por el CEMA 2, en ese tiempo.



Datos Correas Andina

	Largo (m)	Alto (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (pulg)
Andina C5	5.300	-28	4,3	36
Andina A4	775	-4	3,5	48
Andina A6	322	-2	4,3	42

Mineral chancado, 1875 kg/m^3	B	36”	V	4,3 m/s	P mot.	1260 kW



Correa Transportadora Andina C-5

Q	Potencia kW					
	Diseño	CEMA 5	CEMA 6	ISO 5048		OBV
	Medida			*f* = 0,020	*f* = 0,018	
2453 tph	835	855	900	945	**840**	1020
(de diseño)	*ISO (calc.)*	(102%)	(108%)	(113%)	**(101%)**	(122%)
2300 tph	780	**800**	**800**	900	**800**	950
(medida)	(medida)	**(103%)**	**(103%)**	(115%)	**(103%)**	(122%)

Tabla Comparativa de Potencias (kW)

	Medida	CEMA 5	CEMA 6	ISO 5048		OBV
				f = 0,020	*f* = 0,018	
Andina C5	780 (100%)	**800 (103%)**	**800 (103%)**	900 (115%)	**800 (103%)**	950 (122%)
Andina A4	135 (100%)	155 (115%)	**145 (107%)**	160 (119%)	**145 (107%)**	155 (114%)
Andina A6	90 (100%)	110 (122%)	95 (105)	100 (111%)	**90 (100%)**	105 (119%)
Candelaria F1 CV-03	160 (100%)	175 (109%)	**170 (106%)**	175 (109%)	**170 (106%)**	180 (114%)
Candelaria F2 CV-03	155 (100%)	175 (113%)	170 (110%)	170 (110%)	**165 (106%)**	185 (119%)

	Medida	CEMA 5	CEMA 6	ISO 5048		OBV
				f = 0,020	*f* = 0,018	
Candelaria F1 CV-05	35 (100%)	45 (129%)	**40 (114%)**	**40 (114%)**	**40 (114%)**	**40 (114%)**
Candelaria F2 CV-05	40 (100%)	45 (112%)	**40 (100%)**	**40 (100%)**	**40 (100%)**	35 (97%)

Eficiencia de la Transmisión considerada: 95%

Análisis y Conclusiones. Minería

- Prácticamente todos los métodos dan tranquilidad al arrojar valores por sobre la potencia real.
- Porcentajes en relación a la potencia real:
  - ISO 5048: 103% a 114% (con f = 0.018)
  - CEMA 6: 103% a 114%
  - ISO 5048: 100% a 119% (con f = 0.020)
  - OBV: 97% a 125% (el único método que entrega una valor bajo)
  - CEMA 5: 106% a 129%
- Los métodos de cálculo que más se aproximan a la realidad por sobre la potencia real son: norma ISO 5048, con factor de fricción = 0.018 y CEMA 6.
- El CEMA 5 está algo más alejado de la realidad.
- Los resultados no invitan a incursionar en el método OBV.
- En correas de gran longitud, los métodos CEMA 6 e ISO 5048, con f = 0.018 entregan valores similares próximos a la realidad.

Correas Transportadoras de Celulosa CMPC Laja

Analizaremos las correas cortas de baja potencia consideradas en el Trabajo de Titulación: “Programación de la Segunda Versión de la Norma CEMA y Verificación Experimental de las Potencias”

Preparado por: Eduardo Sánchez Hernández

Patrocinantes: Eduardo Espina V.

Roberto Anticevic

Analiza 21 correas de Celulosa Laja

Finalizado en Marzo 1987

Se seleccionaron 10 correas de este trabajo y se presentó en: “Primer Congreso Ingeniería Mecánica en la Industria del Cobre”, organizado por la Universidad de Antofagasta, en Noviembre de 1987

Resultados y Comparación 1987

	Motor	Medida	CEMA 1	CEMA 2	Goodyear	ISO
DHM Nº1	22	6 (100%)	9 (150%)	16 (267%)	**6 (100%)**	7 (117%)
DHM Nº2	19	4 (100%)	**6 (150%)**	11 (275%)	3 (75%)	3 (75%)
Ace. Nº1	15	3 (100%)	7 (233%)	10 (333%)	5 (166%)	**3 (100%)**
Ace. Nº3	11	4 (100%)	6 (150%)	10 (250%)	**5 (125%)**	3 (75%)
Ace. Silo	56	17 (100%)	30 (176%)	37 (218%)	**28 (165%)**	29 (170%)

Perdidas en el sistema motriz: 90%

	Motor	Medida	CEMA 1	CEMA 2	Goodyear	ISO
Silo/Dig.	45	21 (100%)	**24 (114%)**	35 (167%)	26 (124%)	26 (124%)
Digest.	38	12 (100%)	21 (175%)	27 (225%)	**13 (108%)**	**13 (108%)**
Col. Nº1	23	8 (100%)	15 (187%)	21 (262%)	**11 (137)**	**11 (137%)**
Col. Nº 2	23	10 (100%)	16 (160%)	22 (220%)	13 (130%)	**12 (120%)**
Aliment.	23	9 (100%)	**9 (100%)**	14 (155%)	6 (66%)	10 (111%)

Resultados y Tabla Comparativa 2009

	Medida	CEMA 5	CEMA 6	ISO 5048		OBV
				f = 0,020	*f* = 0,018	
DHM Nº1	6 (100%)	14 (233%)	9 (150%)	**7 (117%)**	**7 (117%)**	8 (133%)
DHM Nº2	4 (100%)	10 (250%)	6 (150%)	5 (125%)	**4 (100%)**	6 (150%)
Ace. Nº1	4 (100%)	8 (200%)	7 (175%)	**4 (100%)**	**4 (100%)**	7 (175%)
Ace. Nº3	4 (100%)	8 (200%)	7 (175%)	**4 (100%)**	**4 (100%)**	7 (175%)
Ace. Silo	17 (100%)	36 (212%)	31 (182%)	27 (158%)	**26 (153%)**	29 (170%)

Eficiencia de la Transmisión: 95%

	Medida	CEMA 5	CEMA 6	ISO 5048		OBV
				f = 0,020	*f* = 0,018	
Silo/Dig.	22 (100%)	34 (154%)	31 (141%)	26 (118%)	**25 (114%)**	29 (132%)
Digest.	12 (100%)	23 (192%)	16 (133%)	**12 (100%)**	**12 (100%)**	15 (125%)
Col. Nº1	8 (100%)	20 (250%)	14 (175%)	13 (158%)	**12 (150%)**	14 (175%)
Col. Nº 2	10 (100%)	21 (210%)	15 (150%)	13 (130%)	**12 (120%)**	15 (150%)

Eficiencia de la Transmisión: 95%

Análisis y Conclusiones. Celulosa

- Porcentajes sobre la potencia real:
  - ISO 5048: 100% a 153% (con f = 0.018)
  - ISO 5048: 100% a 158% (con f = 0.020)
  - OBV: 125% a 175%
  - CEMA 6: 133% a 182%
  - CEMA 5: 154% a 250%. Muy alejado de la realidad

- Los métodos de cálculo para correas cortas están alejadas de la realidad. El sobre dimensionamiento es excesivo en la mayoría de los casos.

- El método de cálculo que más se aproxima a la realidad es la norma ISO 5048, con factor de fricción = 0.018. Para este tipo de correas se recomienda considerar esta norma, incluso con factor ficticio de 0,02.

Efectos del Sobre Dimensionamiento

El principal problema del sobredimensionamiento es la selección de la cinta que esta dada por la tensión máxima, T1 (según CEMA) y F1 (según ISO). Esta tensión debe multiplicarse por el factor de seguridad (FS) dado por el empalme. Esto es:

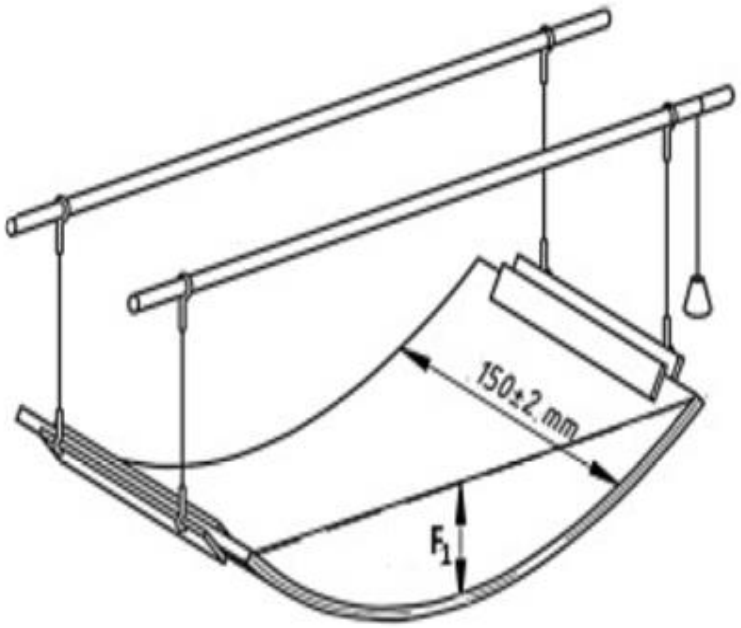
- FS = 10 para cintas de poliéster
- FS= 6,8 para correas con cable
- FS= 5 para correas con cable con empalme preformado

$$HP = \frac{T_e V}{33000}$$

$$T_1 = T_e\left(1 + C_w\right)$$

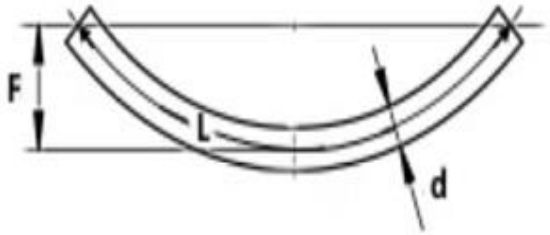
Por consiguiente, el sobre dimensionamiento debe multiplicarse por el FS dando una cinta de bastante mayor dimensión que lo requerido

La flexibilidad transversal (F/L) de la cinta se mide según lo establecido en la norma ISO 703 Transverse flexibility (troughability).pdf



$F = F_1 + 0{,}5d$

L = ancho de cinta



Posteriormente, debe compararse el valor obtenido con los que aparecen en la Tabla 11 de la norma IS 1891 Parte 1.pdf

Tabla 11, IS 1891, Parte 1: Valores Mínimos para la Flexibilidad Transversal: F/L	
Ángulo Polín de Carga, en Grados	**Valor Mínimo para F/L**
$\leq 20°$	0.08
$> 20 \leq 25°$	0.10
$> 25 \leq 30°$	0.12
$> 30 \leq 35°$	0.14
$> 35 \leq 40°$	0.16
$> 40 \leq 45°$	0.18
$> 45 \leq 50°$	0.20
$> 50 \leq 55°$	0.23
$> 55 \leq 60°$	0.26

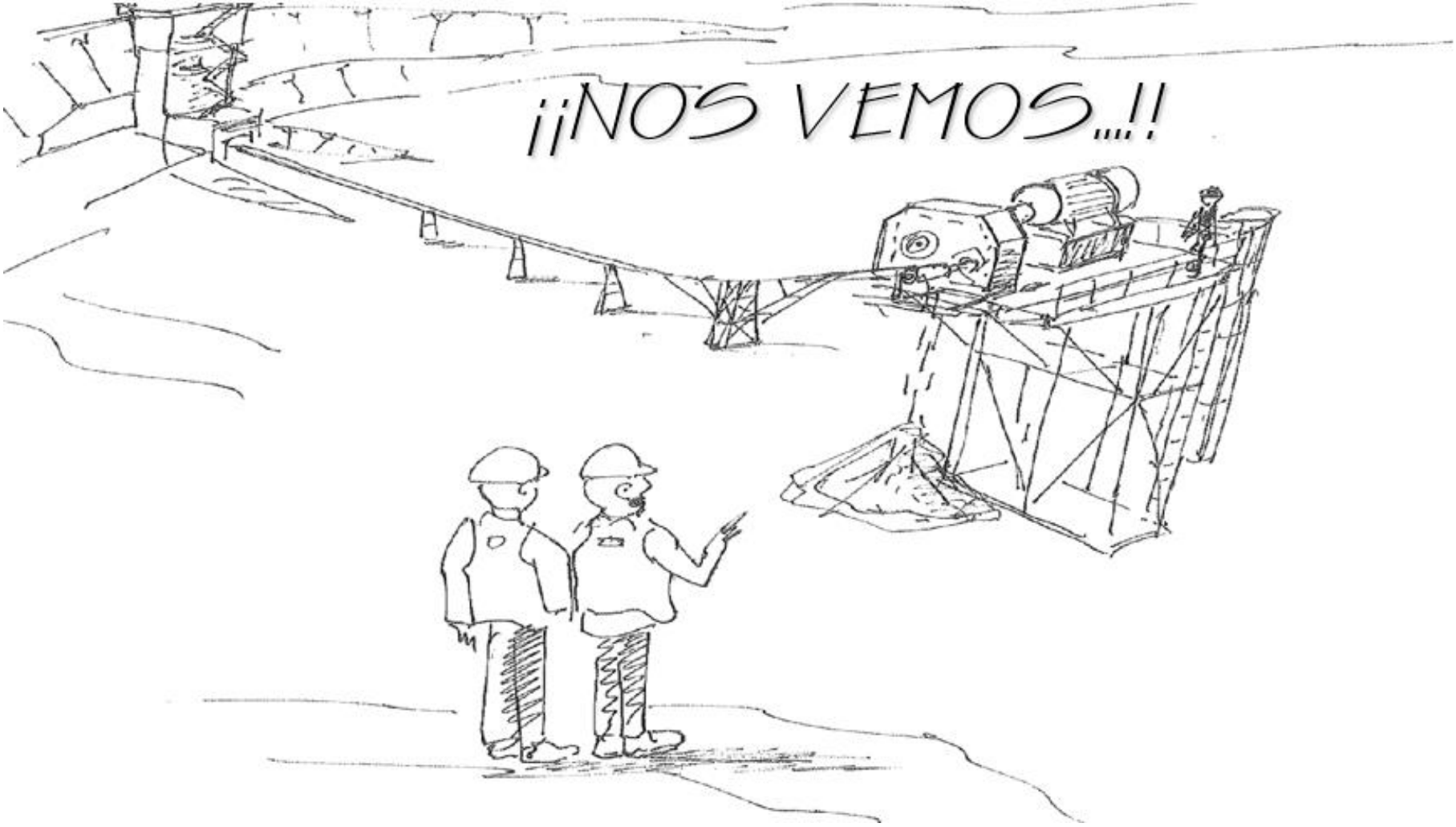
Por consiguiente, lo más probable es que un sobre dimensionamiento excesivo obligue aumentar el ancho de la cinta y, por ende, de los polines.

Conclusiones y Recomendaciones

1. El método de cálculo que más se ajusta a la realidad es el definido por las normas ISO 5048 y DIN 22101 con factor ficticio de fricción 0,018; que es el definido como estándar por la norma DIN. Se recomienda considerarlo en el diseño de nuevas correas transportadoras

2. Sin embargo, siempre se recomienda el diseño con bajo consumo de energía. Es decir, especificando polines y cinta que permitan disminuir la indentación consiguiendo factor ficticio de fricción bajo el estándar. Se ha llegado a valores de 0.008.

3. En correas transportadoras existentes se puede obtener el factor ficticio de fricción con la curva flujo vs. potencia.


¡¡NOS VEMOS...!!