



ELEVADORES A CANGILONES DE DESCARGA CENTRÍFUGA. PÉRDIDAS OCASIONADAS POR PROBLEMAS DE DISEÑO

ALDO GAROFOLI, JORGE GAROFOLI

Universidad Nacional del Sur
Área 11, Proyecto Mecánica, Departamento de Ingeniería
Av. Alem 1253 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

(Recibido día de mes de 2011, para modificación 25 de agosto de 2011, para publicación 6 de enero de 2014)

Resumen – La tendencia actual en este sistema de transporte es fabricar equipos lo más compactos posibles. Para lograrlo se recurre a equipos que funcionan a altas velocidades. Como resultado de ello, se logra el fin propuesto, disminuir tamaño de la instalación y consecuentemente la reducción de costos de fabricación y venta. Se pretende demostrar que cuando se exceden ciertos límites de velocidad, los aparentes beneficios, traen aparejados vicios ocultos, como daño al material transportado, retorno del mismo y mayor consumo energético por unidad de volumen transportado, como así también desgaste prematuro del equipo. Del análisis de la bibliografía existente y catálogos de fabricantes se desprende que no se ha tenido en cuenta en los criterios de diseño, la degradación del material durante el transporte, ni el problema energético. Se propone en este trabajo agregar las pautas de diseño, teniendo en cuenta el estudio integral del problema y en particular las variaciones sufridas en los últimos años en las condiciones de calidad para la recepción y comercialización del trigo pan, fijadas por la resolución 1262/2004 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la República Argentina, bajo la denominación “Norma de Calidad para la Comercialización de Trigo Pan- NORMA XX TRIGO PAN”. Como resultado del análisis, surgen instalaciones más robustas, con un mayor costo inicial, pero con un menor costo por metro cúbico transportado, con una mayor vida útil y un adecuado tratamiento del material.

Palabras clave – Transporte, cangilones, descarga, centrífuga, diseño.

1. INTRODUCCIÓN

Los elevadores a cangilones o norias son los transportadores normalmente usados para elevar materiales a granel.

Consisten, como se puede observar en la Fig. 1, en una serie continua o discontinua de baldes o recipientes, denominados “cangilones” fijados sobre una cinta o sobre uno o dos ramales de cadena que actúa/n como elemento de tracción. Los mismos cumplen un recorrido sin fin entre un cabezal superior motriz (a veces motriz y tensor), y uno inferior, normalmente tensor (que es fijo, cuando el superior es motriz y tensor).

Los cabezales mencionados, son tambores cuando el elemento de tracción es cinta, y ruedas dentadas cuando es cadena.

La estructura portante de los componentes antes descriptos, puede ser abierta o cerrada, dependiendo del tipo de elevador que se trate. Cuando se trata con materiales que se pueden degradar o contaminar, la estructura debe ser cerrada; típico caso de los cereales. Si la necesidad es mover materiales que no afectan al medio ambiente, ni que el medio ambiente los afecta a ellos, la estructura portante puede ser un bastidor; un material de estas condiciones podría ser piedra caliza en trozos. La estructura debe ser cerrada cuando al elevador hay que aislarlo de personas o de otros equipos por razones de seguridad, dado que hay elementos que se desplazan que pueden causar serios riesgos a quien tome contacto con ellos cuando el equipo está en servicio.

Para construir una estructura liviana, que pueda soportar los vientos manteniendo la estabilidad, dado su grado de esbeltez, se debe arriostrar la estructura, mediante el uso de tensores a cuatro puntos, separados por ángulos de 90° (vista en planta), a bases aptas para las cargas que se generan por todo concepto.

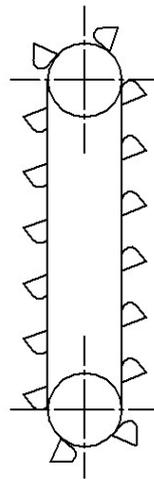


Fig. 1. Esquema de elevador a cangilones.

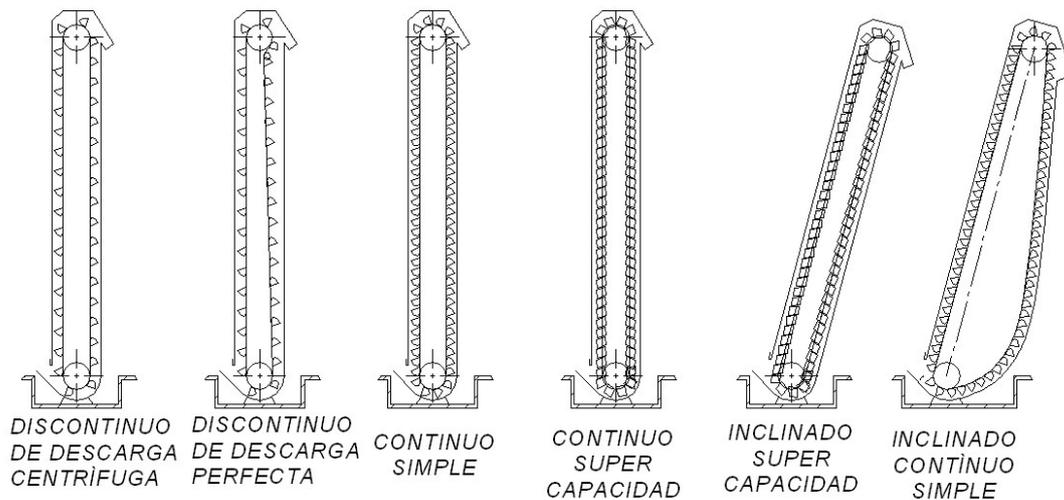


Fig. 2. Tipos de elevadores a cangilones.

Funcionan cargando en el pie del elevador por dragado o por medio de un canal de carga.

Dependiendo del tipo de que se trate, descargan a partir de la vertical que pasa por el cabezal superior, por efecto de las fuerzas de gravedad y la centrífuga que se genera por la rotación del tambor o rueda/s dentada/s de accionamiento.

De acuerdo a la proximidad de los cangilones, se pueden clasificar en discontinuos y continuos. Por la forma de trabajo en: discontinuos de descarga centrífuga o de descarga perfecta, y continuos simples o de súper capacidad. Éstos últimos, según su posición, se los puede clasificar en verticales o inclinados (Fig. 2).

Realizada la descripción general, analizaremos con más detalle los elevadores discontinuos de descarga centrífuga que han dado origen al presente trabajo. Estos elevadores se usan para el transporte de materiales que permiten ser dragados, (que tengan un comportamiento análogo al de un fluido no compresible); para ello, la condición es que los mismos sean homogéneos en su granulometría, de baja abrasividad y que fluyan fácilmente (es decir que las tensiones de corte internas sean bajas y lo más constantes posibles). Una condición visual que podría identificar a un material de este tipo, es que tenga un ángulo de talud natural bajo, (menor de 30°). Dentro de éste grupo de materiales se encuentran la mayoría de los cereales, semillas y oleaginosas.

2. DESARROLLO

En el artículo de referencia [1], se analizan algunas circunstancias del funcionamiento de los elevadores de cangilones en general, basados fundamentalmente en una inadecuada selección de los cangilones (que hace a la recirculación del material transportado dentro del cangilón), vinculados con las velocidades de funcionamiento y su relación con los diámetros de los tambores, proponiendo estudiar soluciones a todo planteo, para lo que propone realizar los ensayos con el material que se vaya a transportar.

El objeto del presente trabajo, es analizar el caso particular de elevadores a cangilones discontinuos de descarga centrífuga y su pérdida de rendimiento, al no ser elegidas adecuadamente las dimensiones de todas y cada una de las partes que lo conforman.

Las dificultades fundamentales se pueden dividir en dos grupos: las que se presentan durante la carga y las que se producen en la descarga. Si los cangilones se montaran sobre cadena, deberíamos agregar un tercero, debido al efecto cordal.

Las dos primeras serán las estudiadas en éste trabajo, mediante la aplicación de un modelo simplificado, pero de suficiente aproximación, para demostrar que si las fuerzas que actúan sobre el material transportado, son excesivas, provocan un inadecuado comportamiento durante la carga y la descarga en su interacción con el cangilón.

Previamente trataremos de definir el comportamiento de los materiales dentro del cangilón.

Como ya se mencionó, a los materiales que se transportan en los elevadores a cangilones discontinuos de descarga centrífuga, los podemos asimilar a fluidos, ya que el comportamiento que muestran durante la carga y la descarga tiene similitud con los mismos. Esto implica que la superficie libre del material ubicado dentro del cangilón, siempre tenderá a estar perpendicular a la resultante de las fuerzas actuantes sobre el mismo. Para ello mostramos esquemáticamente en la Fig. 3 un cangilón indicando la superficie libre y definiendo la capacidad en agua del mismo. Definimos la capacidad en agua del cangilón, como la cantidad de agua que contiene el mismo cuando la línea que une el borde del frente con el del dorso, se pone en posición horizontal.

Los problemas fundamentales se producen, como intentaremos demostrar, durante la carga y descarga, debido a la acción combinada de las fuerzas de gravedad y centrífuga, cuya resultante afecta los tramos curvos del elevador, (es allí donde existe la fuerza centrífuga). Por esta causa, nos limitaremos a estudiar lo que ocurre con la resultante de estas fuerzas, cuando el elemento de tracción recorre las mitades de los tramos curvo superior e inferior respectivamente (descarga y carga, respectivamente). Para simplificar el modelo, tomaremos la mitad del recorrido curvo superior y la mitad del inferior (partes activas) y lo superpondremos para analizar tres casos límite, respecto a las fuerzas actuantes: a) Fuerza centrífuga igual a

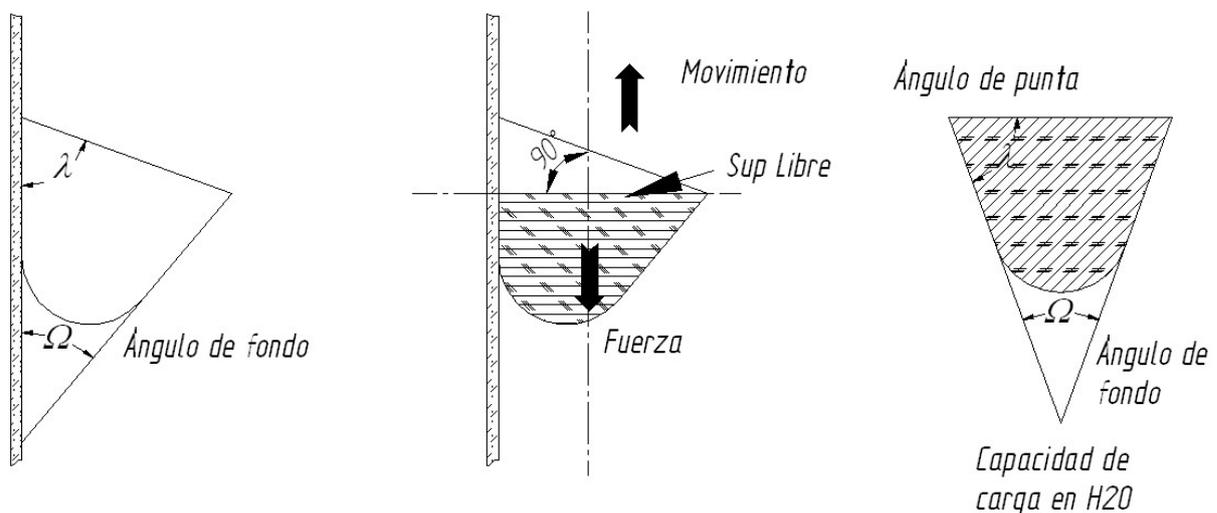


Fig. 3. Parámetros del Cangilón.

la fuerza generada por el peso del material, b) fuerza centrífuga igual al doble de la generada por el peso del material y c) fuerza centrífuga igual a la mitad de la generada por el peso del material (Figuras 4a, 4b y 4c).

2.1. Fuerza centrífuga igual a la generada por el peso $F_c = P$ (Fig. 4a)

La condición ideal para conseguir la descarga de este tipo, se produce en el punto 5 de la Fig. 4a, cuando la fuerza centrífuga iguala a la generada por el peso, en punto superior del tambor o rueda motriz.

$$P = F_c \quad (1)$$

En tal caso, al llegar el cangilón a la posición superior 5, el material quedará en estado de ingravidez y un instante después por acción de la resultante de las fuerzas aplicadas, se producirá su descarga.

Interesa conocer cuál es la velocidad de giro n_0 , para la cual se cumpla la ecuación (1).

La velocidad tangencial V que tiene el centro de gravedad del material G , será:

$$V = \frac{\pi \cdot \rho \cdot n}{30}$$

El valor de la fuerza centrífuga F_c , que actúa sobre el centro de gravedad de la carga G , vale:

$$F_c = \frac{m \cdot V^2}{\rho}$$

Si se reemplaza el valor de V dado por la ecuación anterior y se recuerda que:

$$m = \frac{P}{g}$$

Se tiene:

$$F_c = \frac{P}{g} \cdot \frac{\pi^2 \cdot \rho^2 \cdot n^2}{30^2} \cdot \frac{1}{\rho}$$

Si se considera que se puede aproximar: $g \equiv \pi^2$, reemplazando y simplificando queda finalmente:

$$P = P \cdot \rho \cdot \frac{n_0^2}{30^2} \quad (3)$$

Simplificando y despejando el valor de n_0 , queda:

$$n_0 = \frac{30}{\sqrt{\rho}} \quad (4)$$

donde: n_0 está dado en revoluciones por minuto, y ρ en metros.

Interesa conocer cuál es la dirección y el módulo de la resultante R , cuando el cangilón se encuentra en la posición $2 \equiv 3$.

Para la misma, (Fig. 4a), se debe proceder a trazar la fuerza del peso P y la fuerza centrífuga F_c , que actúan sobre el centro de gravedad G del material contenido en el cangilón.

Las direcciones de ambas fuerzas son normales, por lo que el valor del módulo de la resultante R , se puede determinar aplicando la relación pitagórica, y teniendo en cuenta además la ecuación 2, se tiene:

$$R = \sqrt{P^2 + F_c^2} = \sqrt{P^2 + P^2} = \sqrt{2} \cdot P = 1,41 \cdot P \quad (5)$$

Esto significa, que para la posición $2 \equiv 3$, cuando se trabaja a n_0 revoluciones, el valor de la resultante R , es un 41% mayor que la fuerza generada por el del peso P , lo que implica que el material transportado

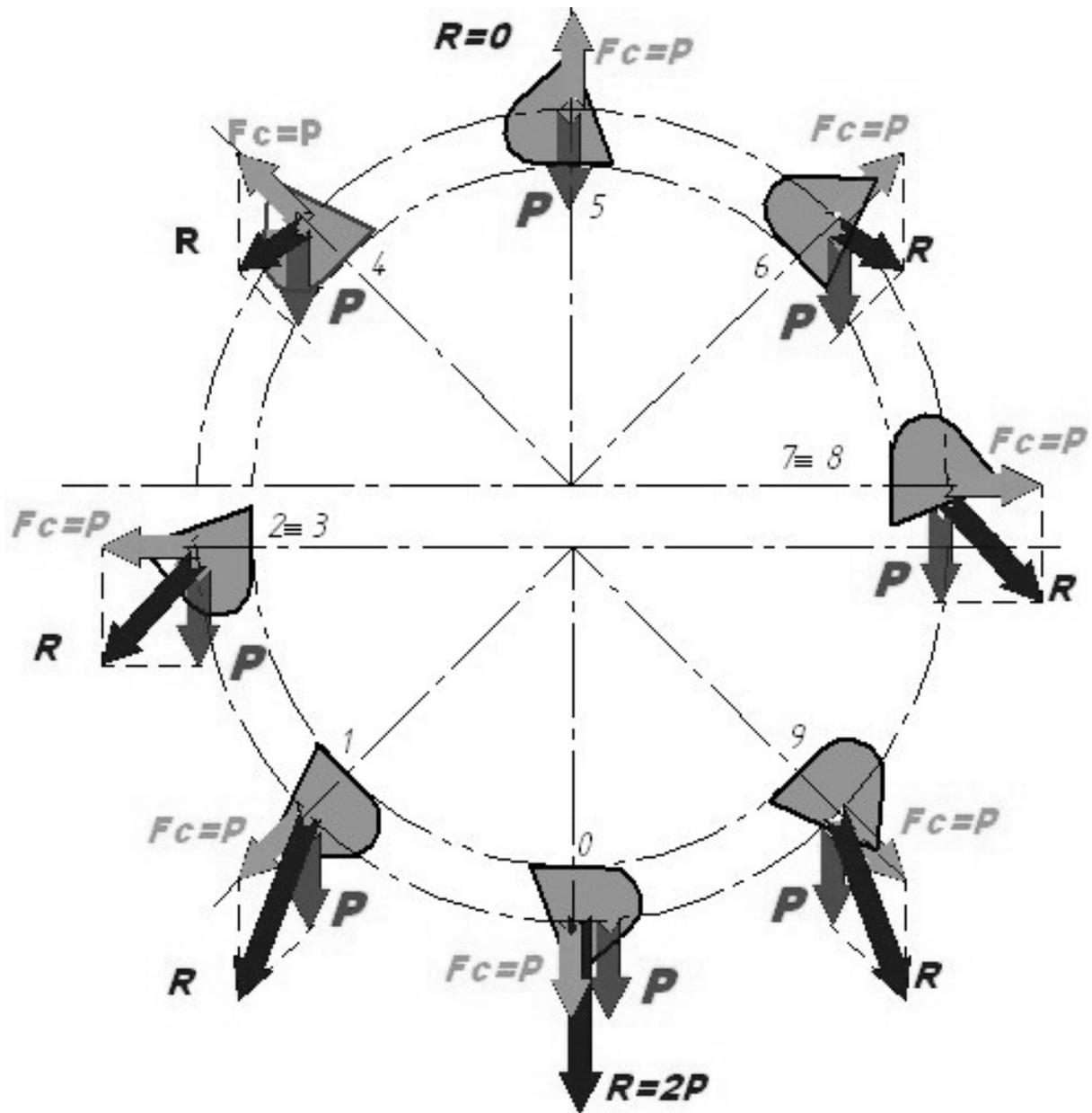


Fig. 4.a. Efectos de las fuerzas actuantes en los tramos curvos.

no permanecerá en reposo, sino que tenderá a desplazarse dentro del cangilón, ubicándose la superficie libre en forma perpendicular a la resultante de las fuerza actuantes.

Para determinar los valores de los módulos y las direcciones en que actúan las resultantes R , para los distintos puntos donde se realizará el estudio de la influencia de la fuerza centrífuga durante el pasaje de los cangilones por debajo de la rueda inferior y por encima de la rueda superior, se debe proceder a trazar por los centros de gravedad G del material contenido en los cangilones, correspondientes a estas posiciones, los vectores verticales P y radiales $F_c = P$, que sumados vectorialmente dan las direcciones y módulos de la resultante R , que actúan en cada una, tal como se ha realizado en la Fig. 4a.

A continuación analizaremos, cómo influye esta resultante sobre el material, en cada punto:

Punto 4: cuando el cangilón se halla en este punto, el material, que fluye fácilmente, al estar sometido a la acción de la resultante R , tenderá a disponerse de manera que su superficie libre, quede ubicada en posición normal a dicha fuerza resultante, tal como se vio en la Fig. 3. En tal situación, existiría el peligro

de que el material escapase por encima del borde delantero del cangilón, derramándose y cayendo hacia abajo dentro de la caja envolvente metálica hasta la bota por el ramal ascendente, lo que reduciría el caudal transportado y descargado por el elevador. Para reducir este problema, es aconsejable utilizar cangilones con ángulos de punta λ elevados, (Fig. 3).

Por otra parte, como se observa en la Fig. 4a, la resultante R , empuja al material contra el fondo del cangilón, y para evitar que el mismo pueda acuñarse, los cangilones a utilizar deben ser de ángulo de fondo Ω grande y de forma redondeada.

Punto 5: al llegar el cangilón a esta posición, como el valor de la fuerza centrífuga F_c es igual y de sentido contrario a la fuerza generada por el peso P ; la resultante R , es nula y por lo tanto, el material se encuentra en un estado de ingravidez, quedando el material en posición de descarga con mínimo rozamiento. Un instante posterior a ésta posición se inicia la descarga por acción de la resultante de las fuerzas operantes sobre el material.

Punto 6: Como no todo el material podrá descargar súbitamente, luego de sobrepasar el punto 5 el proceso de descarga continúa hasta el punto 6, donde, como se observa en la Fig. 4a, la acción de la resultante R , va dirigida hacia la boca del cangilón y no hay obstáculo para terminar con la descarga del material.

Punto 7: Al llegar a este punto, normalmente ya no queda material en el cangilón.

Punto 8: este punto es el inicio del recorrido de la mitad del tambor inferior y se encuentra en la zona de carga (bota). Como se observa en la Fig. 4a, cuando el cangilón inicia el dragado, el material se va introduciendo dentro del mismo. Pero esta acción se ve dificultada por la fuerza R , que está dirigida hacia la boca. Esto hace que el llenado del cangilón sea parcial.

Punto 9: al llegar a esta posición el material, que trata de penetrar dentro del cangilón, continúa viendo dificultado su ingreso debido a la dirección desfavorable de la resultante R que tiene mayor módulo, razón por la cual no se obtiene un llenado total.

Punto 0: como puede observarse en la Fig. 4a, para esta posición el valor de la resultante, al coincidir las direcciones y sentidos de las fuerzas del peso y centrífuga P y F_c , tiene un valor de $R = 2P$. Debido a su acción, la superficie libre del material se ubicará en posición horizontal, normal a ella y esto hará que se encuentre mucha dificultad para completar el llenado del cangilón durante el dragado.

Punto 1: por las mismas razones que en el punto anterior se ve dificultado el llenado del cangilón, a pesar de que la resultante R , tiene menor módulo.

Punto 2: al llegar a este punto, a partir del cual cesa la acción de F_c , por terminar el recorrido curvo, la dirección y el módulo de R no permiten completar el llenado del cangilón.

Conclusión 1:

Como consecuencia del análisis realizado, se concluye que el llenado de los cangilones durante la carga es incompleto. En cambio, las condiciones para la descarga son óptimas y la misma se verifica entre los puntos 5 y 6. Para impedir derrames de material que disminuyan el caudal transportado, es aconsejable el empleo de cangilones de ángulos de punta grandes y fondos redondeados, lo que permite tener una amplia boca de descarga y una fácil salida del material.

2.2. Fuerza centrífuga mayor que fuerza generada por el peso ($F_c > P$)

El caudal transportado por un elevador, es proporcional a la velocidad V a que se mueve el elemento de tracción, por lo que sería de interés económico trabajar con velocidades más altas, pero al hacerlo, usando el mismo cabezal de radio ρ , se tendrá un valor mayor de la fuerza centrífuga. Por esta razón, resulta de interés estudiar cómo influye la acción de la fuerza centrífuga, en estos casos.

Por comodidad en la representación gráfica, se estudiará el caso particular en el que la fuerza centrífuga sea el doble de la fuerza generada por el peso, es decir:

$$F'_c = 2.P \quad (6)$$

Interesa conocer cuál es el valor de la velocidad de giro n' , para la que se verifica la ecuación anterior. Si se reemplaza el valor de F'_c dado por la ecuación 2 en la relación anterior se tiene:

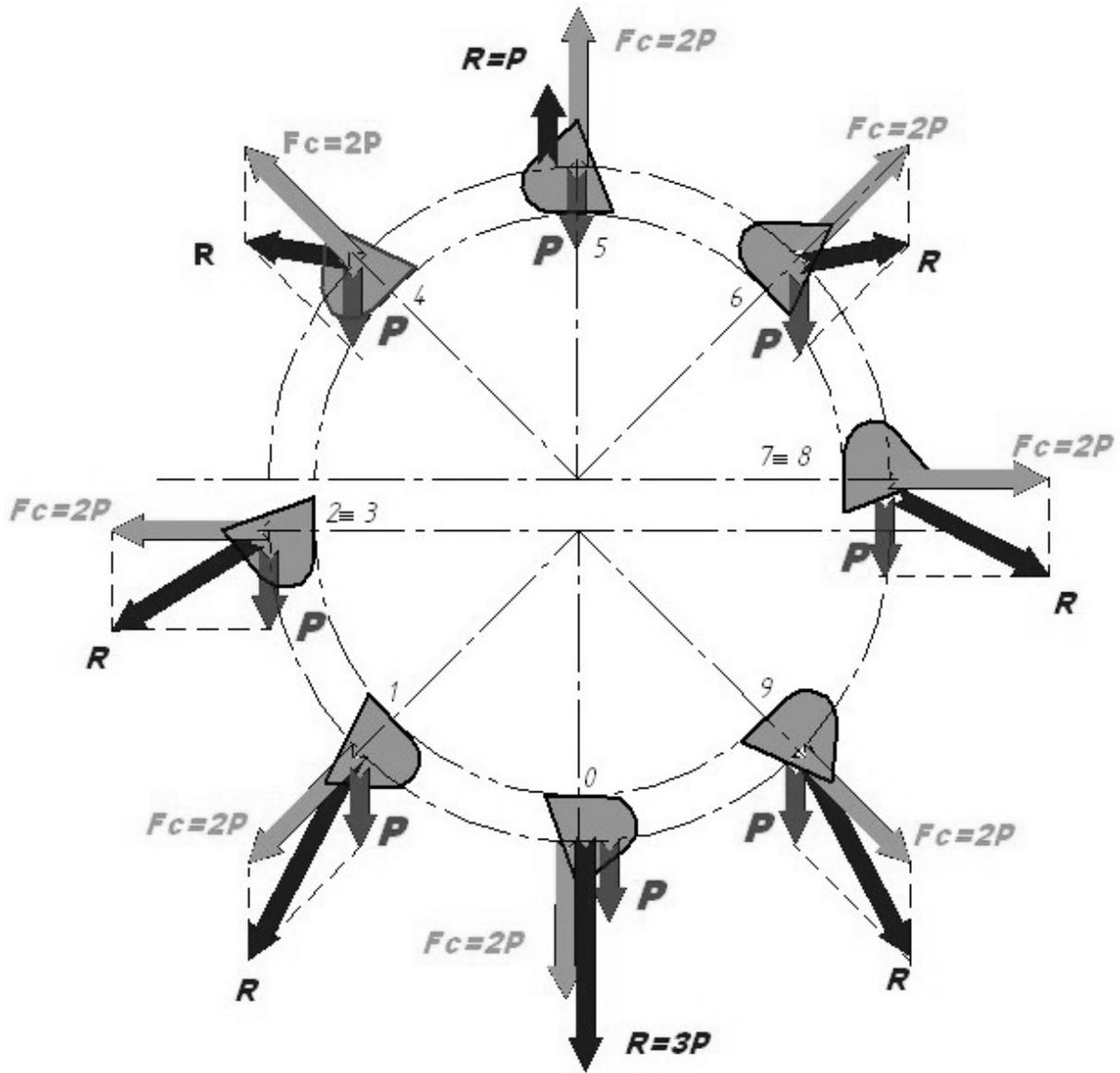


Fig. 4.b. Efectos de las fuerzas actuantes en los tramos curvos.

$$2.P = \frac{P.\rho.n.^2}{30^2} \tag{7}$$

Si se tiene presente la ecuación 3

$$P = P.\rho.\frac{n_0^2}{30^2}$$

Dividiendo miembro a miembro las dos ecuaciones anteriores y simplificando se tiene:

$$2 = \left(\frac{n'}{n_0}\right)^2$$

Despejando el valor de n' y teniendo en cuenta el valor de n_0 dado por la ecuación 4, se obtiene:

$$n' = \sqrt{2} \cdot n_0 = 1,41 \cdot n_0 = \frac{42,3}{\sqrt{\rho}} \quad (8)$$

Donde n' esta dado en [rpm] y ρ en [m]

De la ecuación anterior surge que, cuando la velocidad de giro aumenta un 41% por encima de n_0 , (que es el número de revoluciones a las que gira el tambor para que la fuerza centrífuga sea igual a la generada por el peso), el valor de la fuerza centrífuga se hace igual al doble del valor de la fuerza generada por el peso.

Interesa conocer cuál es la dirección y el módulo de la resultante R cuando el cangilón se encuentra en la posición $2 \equiv 3$. Para la misma, (Fig. 4b), se debe proceder a trazar la fuerza del peso P y la fuerza centrífuga $F_c = 2 \cdot P$, que actúan sobre el centro de gravedad G del material contenido en el cangilón.

Las direcciones de ambas fuerzas son normales, por lo que el valor del módulo de la resultante R , se puede determinar aplicando la relación pitagórica y, teniendo en cuenta además, la ecuación 6, se tiene:

$$R_2 = \sqrt{P^2 + F_c^2} = \sqrt{P^2 + (2 \cdot P)^2} = \sqrt{5} \cdot P = 2,24P \quad (9)$$

Esto significa que para la posición $2 \equiv 3$, cuando se trabaja a n' revoluciones, el valor de la resultante R , es un 124% mayor que la generada por el peso del material P .

Para determinar los valores de los módulos y las direcciones en que actúan las resultantes R , para los distintos puntos donde se realizará el estudio de la influencia de la fuerza centrífuga durante el pasaje de los cangilones por debajo de la rueda inferior y por encima de la rueda superior, se debe proceder a trazar por los centros de gravedad g , del material contenido en los cangilones, correspondientes a estas posiciones, los vectores verticales P y radiales $F_c = 2 \cdot P$, que sumados vectorialmente dan las direcciones y módulos de la resultante R_i , que actúan en cada una, tal como se ha realizado en la Fig. 4b

A continuación analizaremos cómo influye esta resultante sobre el material, en cada punto:

Punto 4: En este caso el valor de la resultante R_4 , tiene mucho mayor módulo que el de la resultante del caso anterior (donde $P = F_c$), y su dirección es más elevada, lo que indica que inevitablemente el material derramará por encima del borde delantero del cangilón, comenzando una descarga anticipada y generando retornos que reducen el caudal transportado, no pudiendo remediárselo por más que se aumente el ángulo de punta λ del cangilón. Este problema disminuye en parte el beneficio que se consigue al aumentar la velocidad v .

Punto 5: Si bien las direcciones de P y F_c son coincidentes y sus sentidos opuestos, el mayor valor de F_c , dado por la ecuación 9 hace que la resultante R_5 , sea mucho mayor que P y dirigida hacia arriba.

Como consecuencia de ello, el material continuará su descarga anticipada y se derramará, cayendo fuera del canal de descarga y en tal caso descenderá hasta la bota, reduciendo el caudal efectivamente transportado.

Punto 6: Al llegar a esta posición, la dirección de la resultante R va dirigida hacia la boca, produciéndose la completa descarga del material, con mayor velocidad, dado el mayor módulo de dicha fuerza.

Punto 7: Al llegar a este punto, prácticamente ha sido descargado todo el material.

Puntos 8 y 9: En este primer punto comienza la acción de carga. Como los valores de las resultantes R , en los puntos mencionados, son de mayor módulo que en el caso anterior, aunque su dirección no es tan desfavorable, obstaculizan en mayor grado la entrada del material.

Puntos 0 y 1: En este caso los valores de la resultante R son aproximadamente un 50% mayor que en el caso anterior, (donde $P = F_c$) y además, en el punto 1, su dirección es más elevada, lo que implica una mayor resistencia al llenado de los cangilones durante el dragado.

Punto 3: La resultante de las fuerzas impide el llenado completo del cangilón.

Conclusión 2:

Como consecuencia del análisis realizado, se concluye que la acción de una fuerza resultante de mayor módulo, producirá un imperfecto llenado de los cangilones. Durante el paso de los cangilones sobre la rueda superior, se producirán derrames de material a partir del punto 3 y hasta el 5, como resultado de la

aplicación de las fuerzas actuantes sobre el mismo. Éste material tiende a caer por el ramal ascendente lo que disminuye el caudal transportado por debajo del que teóricamente le correspondería, aunque el caudal será mayor que en el caso de que $P = F_c$, debido a la mayor velocidad a la que trabaja el elevador.

Se hace notar que parte del material derramado igual llegará a la boca de descarga por el transporte neumático que ejerce el efecto ventilación, generado por los cangilones al desplazarse dentro de un conducto cerrado del ramal ascendente. También, éste efecto de exceso de fuerza centrífuga que genera una descarga prematura y más elevada, permite montar los cangilones a menor distancia lo que implica un mayor número de cangilones en el recorrido, lo que coadyuva a tener instalaciones más pequeñas para los mismos caudales que planteamos en el caso anterior, (observar Fig. 5)

2.3. Fuerza centrífuga menor que fuerza generada por el peso ($F_c < P$)

Cuando se transportan materiales friables, que se pueden degradar en caso de ser proyectados con demasiada fuerza contra el canal de descarga, resulta conveniente considerar lo que ocurre cuando se reduce la velocidad de giro por debajo de n_0 , (que es el número de revoluciones a las que gira el tambor para que la fuerza centrífuga sea igual a la generada por el peso), Al hacerlo, usando el mismo cabezal de radio ρ , se tendrá un valor menor de la fuerza centrífuga. Por esta razón resulta de interés estudiar cómo influye la acción de la fuerza centrífuga en estos casos.

Por comodidad en la representación gráfica, se estudiará el caso particular en el que la fuerza centrífuga sea la mitad de la fuerza generada por el peso, es decir:

$$\frac{P}{2} = F_c \quad (10)$$

Interesa conocer cuál es el valor de la velocidad de giro n'' para la cual se verifica la ecuación anterior. Si se reemplaza el valor de F_c dado por la ecuación 2 en la relación anterior se tiene:

$$\frac{P}{2} = \frac{P \cdot \rho \cdot n^2}{30^2} \quad (11)$$

Si se tiene presente la ecuación 3:

$$P = P \cdot \rho \cdot \frac{n_0^2}{30^2} \quad (3)$$

Dividiendo miembro a miembro las dos ecuaciones anteriores y simplificando se tiene:

$$\frac{1}{2} = \left(\frac{n''}{n_0} \right)^2$$

Despejando el valor de n'' y teniendo en cuenta el valor de n_0 dado por la ecuación 4, se obtiene:

$$n = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot n_0 = 0,707 \cdot n_0 = \frac{21,21}{\sqrt{\rho}}$$

donde n'' esta dado en [rpm] y ρ en [m]

De la ecuación anterior surge que cuando la velocidad de giro disminuye un 29,3% por debajo de n_0 , el valor de la fuerza centrífuga se hace igual a la mitad del valor de la fuerza generada por el peso.

También interesa conocer cuál es la dirección y el módulo de la resultante R , cuando el cangilón se encuentra en la posición $2 \equiv 3$. Para la misma, (Fig. 4c), se debe proceder a trazar la fuerza del peso P y la fuerza centrífuga $F_c = P/2$, que actúan sobre el centro de gravedad G del material confinado en el cangilón.

Las direcciones de ambas fuerzas son normales, por lo que el valor del módulo de la resultante R , se puede determinar aplicando la relación pitagórica y, teniendo en cuenta además la ecuación 10, se tiene:

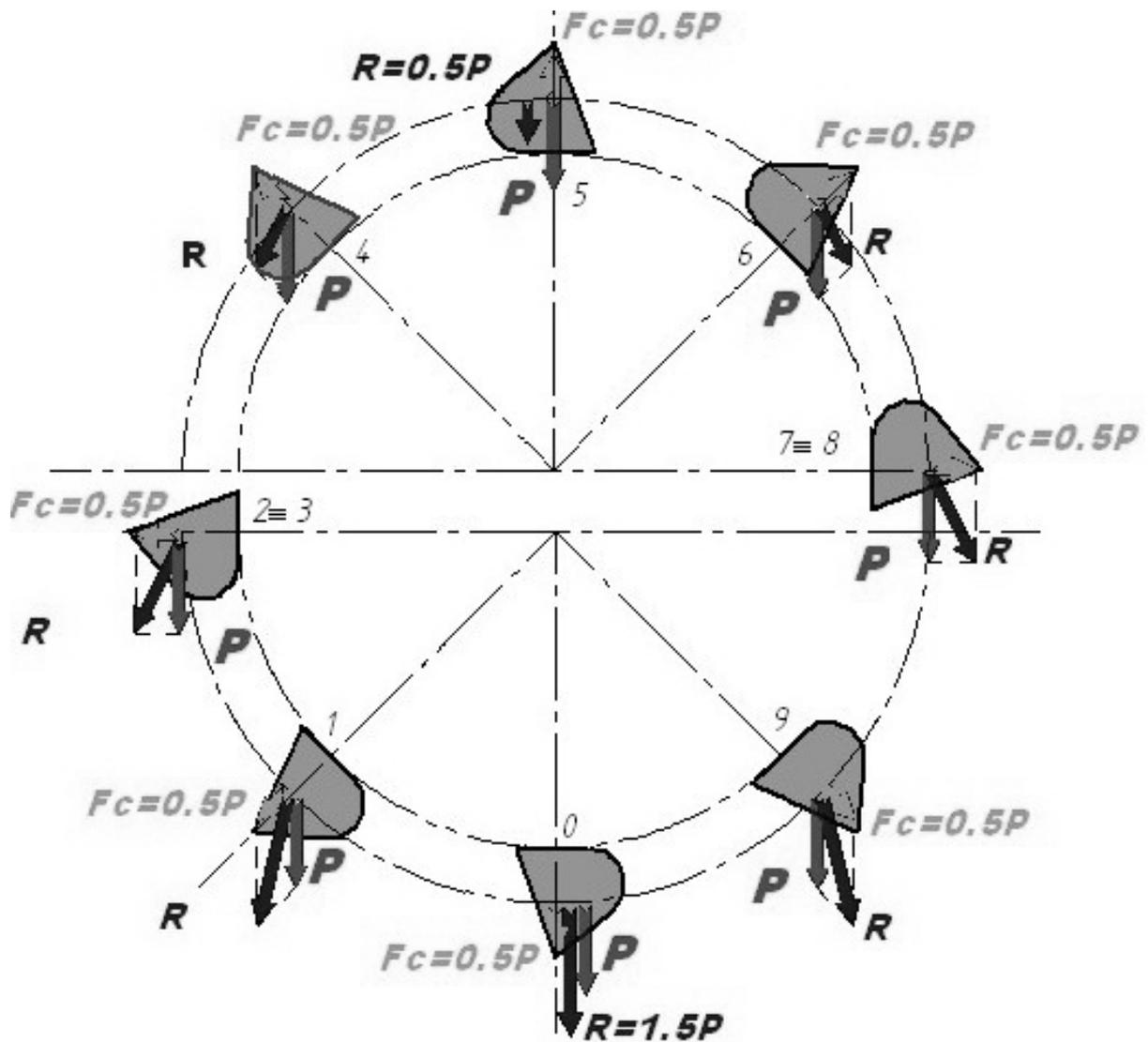


Fig. 4.c. Efectos de las fuerzas actuantes en los tramos curvos.

$$R'' = \sqrt{P^2 + F_c''^2} = \sqrt{P^2 + \left(\frac{P}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} \cdot P = 1,12 \cdot P \quad (13)$$

Esto significa que para la posición $2 \equiv 3$, cuando se trabaja a n'' revoluciones, el valor de la resultante R , es un 12% mayor que el peso del material P .

Para determinar los valores de los módulos y las direcciones en que actúan las resultantes R , para los distintos puntos donde se realizará el estudio de la influencia de la fuerza centrífuga, durante el pasaje de los cangilones por debajo de la rueda inferior y por encima de la rueda superior, se debe proceder como en los casos anteriores, tal como se ha realizado en la Fig. 4c.

A continuación analizamos cómo influye esta resultante sobre el material, en cada punto:

Punto 4: En este caso el valor de la resultante R tiene menor módulo que la resultante del primer caso ($P = F_c$) y su dirección es más baja, lo que indica que se reducirá mucho la tendencia al derrame por sobre el borde delantero del cangilón, lo que permitiría el empleo de cangilones de frente más bajo, es decir, de menor ángulo de punta, lo que da cangilones de boca más amplia.

Punto 5: Si bien las direcciones de P y F''_c son coincidentes y sus sentidos opuestos, el menor valor de F''_c dado por la ecuación 10, hace que la resultante R sea igual a $P/2$ y dirigida hacia abajo.

Como consecuencia de ello, el material tratará de fluir apoyado contra el dorso del cangilón, (sentido opuesto al deseado); por lo tanto, se va retardando su descarga y produciendo derrames hacia la bota, lo que reducirá el caudal efectivamente transportado, porque la resultante de fuerzas actuantes sobre el mismo no son suficientes para que todo el material alcance el canal de descarga. En este caso el retorno de material se produce por el ramal descendente o descargado

Punto 6: Recién al llegar a esta posición, la dirección de la resultante R va dirigida hacia la boca, intensificándose la descarga del material, que se prolonga más allá de esta posición.

Punto 7: Al llegar a este punto, se termina la descarga total del material.

Puntos 8 y 9: Los valores de las resultantes R , si bien tienen una dirección más desfavorable que en el primer caso, ya que apuntan hacia la boca, su módulo se reduce mucho, por lo que opone menos resistencia a la entrada del material dentro del cangilón, al iniciarse el dragado.

Puntos 0 y 1: En este caso, los valores de la resultante R son aproximadamente un 25% menor que en el primer caso ($P = F_c$), y en el punto 1, además, su dirección es más baja, lo que reduce la posibilidad de salida del material que se encuentra dentro del cangilón, con lo que mejorará el grado de llenado del mismo.

Conclusión 3:

Como consecuencia del análisis realizado, se concluye que la acción de la fuerza centrífuga al ser más débil, producirá un mejor llenado de los cangilones. Durante el paso de los cangilones sobre la rueda superior, no se producirán derrames en el punto 4 y, además, será posible el empleo de cangilones de frente más bajo. La descarga se ve retardada, intensificándose sólo al llegar al punto 6 y además entre los puntos 5 y 6, se derramará material que al salir con menor fuerza, no alcanzará a llegar al canal de descarga, cayendo hacia la bota por el ramal descendente, reduciéndose así el caudal efectivamente entregado.

3. CONCLUSIONES TÉCNICAS FINALES

Vistos los resultados de los estudios previos y de las conclusiones 1, 2 y 3, se ve claramente que los efectos que perjudican la carga, no sólo favorecen la descarga sino que aumentan el caudal transportado, con lo que queda demostrado el antagonismo de las construcciones de los elevadores de cangilones discontinuos de descarga centrífuga, que se fabrican con tambores o ruedas de iguales diámetros, (antiguamente para reducir los tamaños de los pozos de pie de noria, se hacían los tambores o ruedas de pie de menor diámetro, con lo que se dificultaba más aún la carga).

Se agrava más el problema con el advenimiento de las cintas con fibras sintéticas, (para el caso de elevadores de cinta), que tienen mayor resistencia que las de algodón tradicionales y por lo tanto con menor número de capas de tela, que como consecuencia determina menores espesores para igualdad de otros parámetros, condición que permite que sean arrolladas sobre tambores de menor diámetro. Estas consideraciones, predisponen a los fabricantes a construir elevadores con tambores más pequeños de los recomendados. Ello ocasiona, para las mismas velocidades tangenciales, aumentos sustanciales del efecto de la fuerza centrífuga, generando descargas anticipadas y por efecto de la resultante de las fuerzas actuantes, lanza al material transportado con excesiva fuerza contra la cobertura del cabezal superior. Todo lo manifestado, logra efectos no deseados como son el retorno de material, el desgaste prematuro de la estructura por abrasión y el vaciado parcial de los cangilones por el impacto que producen los granos en su movimiento caótico, al caer por el ramal ascendente (ver Fig. 5).

Como comentario final, los elevadores que estamos tratando se deberían construir con velocidades y diámetros de tambores tales que la resultante de las fuerzas actuantes sea nula en la parte superior (punto 5, del modelo) y lo más baja posible en el cabezal inferior (se podría reducir parcialmente el efecto de las mencionadas fuerzas, aumentando el diámetro del cabezal inferior, lo que mejoraría no solamente la carga, sino también la estabilidad del elevador), aunque con un costo constructivo inicial sustancialmente mayor, que redundaría en el mínimo costo por metro cúbico transportado, por menor energía consumida, menos mantenimiento, mayor vida útil y un mejor trato del material transportado.

Tabla 1. Cambios en el estándar de comercialización, % máximo de tolerancia para grano quebrado y /o chuzos [3].

Grado	% de tolerancia máxima para cada Grado		
	Granos quebrados y/o Chuzos		
	Anterior	2005/06	2006/07
1	1,25	0,80	0,50
2	2,50	1,80	1,20
3	5,00	3,50	2,00

Lo expresado hasta aquí sólo muestra el problema desde el punto de vista físico, técnico o ingenieril.

Al leer la resolución 1262/2004 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la República Argentina [4], en las condiciones de calidad para la recepción y comercialización del trigo pan fijadas (en la tabla 1[3]), para los grados 1, 2, y 3, se deduce que si bien los valores numéricos no son sustancialmente distintos para éste rubro, en sus distintos grados, porcentualmente han mostrado un comportamiento 60% más exigente entre los años 2005 y 2007.

Lo antedicho implica que se han impuesto condiciones 60% más severas en un lapso menor de 5 años y, por el contrario, la industria no ha actuado sobre los diseños para acompañar los cambios mostrados, cuestión esta que es la que ha motivado el presente trabajo.

Respecto de la degradación del material transportado, (en este caso, trigo, que debe sufrir éste proceso de transporte varias veces desde la recolección hasta la industrialización), podemos observar que si consideramos una cosecha de 15 millones de toneladas, un daño mínimo en cada operación ocasiona pérdidas mínimas del 1% del valor de venta (en este momento alrededor de \$1000 la tonelada), hasta 2,5% si no pasa del grado 3 de las condiciones fijadas para comercialización. Puede alcanzar descuentos mayores si sobrepasa del grado 3 y se lo considera de calidad forrajera.

Haciendo unas sencillas cuentas, podemos deducir la magnitud de dinero que podría ser invertida en la tecnología para mejorar la calidad del producto ofrecido y un ahorro de energía, al transportar el producto al menor costo por metro cúbico desplazado, en las condiciones requeridas para la comercialización.

REFERENCIAS

- [1] Gambarotta, F., "Optimisation de l'efficacité d'un élévateur á godets", *Revue INFOVRAC*, **161**, 73-75 (2008)
- [2] Pelegrina, C., Garofoli, A., "Proyecto y Cálculo de elevadores a Cangilones", Publicación docente UNS 250 (1994)
- [3] de la Torre, D.A., "Pérdidas en la cosecha de trigo", *Revista Procampo*, EEA INTA- Balcarce, **XVII**(92), (2007)
- [4] SAGPYA Comercialización de trigo pan, Resolución 1262/2004

CENTRIFUGAL DISCHARGE BUCKET ELEVATOR LOSSES DUE TO DESIGN PROBLEMS

Abstract – The current trend in this transport system is to build equipment as compact as possible. To achieve this equipment operating at high speeds is used. As a result, the intended purpose is achieved, the system size is reduced also manufacturing costs and selling. The aim is to show that when are exceeded speed limits, the apparent benefits, imply hidden defects, such as damage to the transported material, its return and increased energy consumption per unit of transported volume, as well as premature wear of the equipment. An analysis of existing literature and catalogs of manufacturers show that material degradation during transport or the energy problem has not been taken into account in the design criteria. In this paper it is proposed the addition of design guidelines, taking into account the comprehensive study of the problem and in particular the variations suffered in recent years in the quality conditions for reception and marketing of bread wheat fixed by resolution 1262/2004 of the Secretariat of Agriculture, Livestock, Fisheries and Food of the Republic Argentina, under the

name "Quality Standard for Wheat Marketing XX Pan-STANDARD BREAD WHEAT". As a result of the analysis, there are more robust facilities with a higher initial cost, but with a lower cost per cubic meter transported, with a longer life and proper treatment of the material.

Keywords – Transportation, Buckets, Unloading, Centrifugal, Design.