



FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

TENDENCIA EN TRANSPORTES INDUSTRIALES. CASO: ELEVADORES A CANGILONES DE DESCARGA CENTRÍFUGA .CRITERIOS DE DISEÑO

ING. GAROFOLI, ALDO *¹, ING. GAROFOLI, JORGE ²

*¹ Area 11, Proyecto Mecánica, Departamento de Ingeniería – Universidad Nacional del Sur
Av. Alem 1253 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina
- e-mail:garofoli@uns.edu.ar.

² Area 11, Proyecto Mecánica, Departamento de Ingeniería – Universidad Nacional del Sur
Av. Alem 1253 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina
e-mail:jorge.garofoli@uns.edu.ar.

RESUMEN

Se analiza el caso de Elevadores a Cangilones de Descarga Centrífuga.

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 de 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.

Como resultado del análisis, surgen instalaciones más robustas, con un mayor costo inicial, con menor costo por metro cúbico transportado, con una mayor vida útil y un adecuado tratamiento del material.

Palabras Claves: Transporte – Cangilones - Diseño

1. INTRODUCCIÓN

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

Consisten, como se puede observar en la figura 1, en una serie continua o discontinua de baldes o recipientes, denominados cangilones fijados sobre una cinta ó sobre uno ó 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).

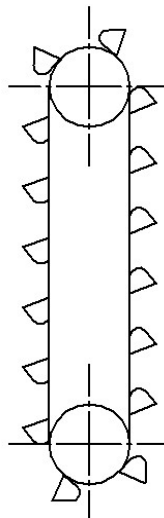


Figura1

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. 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. 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 esta en servicio.

Para mantener la estabilidad, dado su grado de esbeltez, se deben arriostrar a alguna estructura existente ó arriostrarlo a los cuatro vientos.

Funcionan cargando en el pie del elevador por dragado o canal de carga, dependiendo del tipo de que se trate y descargando 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.

Se pueden clasificar de acuerdo a la proximidad de los cangilones en discontinuos y continuos; de acuerdo a la forma de trabajo en: de descarga centrífuga ó de descarga perfecta, para los

discontinuos y como continuos simples o de supercapacidad para los continuos; éstos últimos según su posición se los puede clasificar en verticales o inclinados (figura 2).

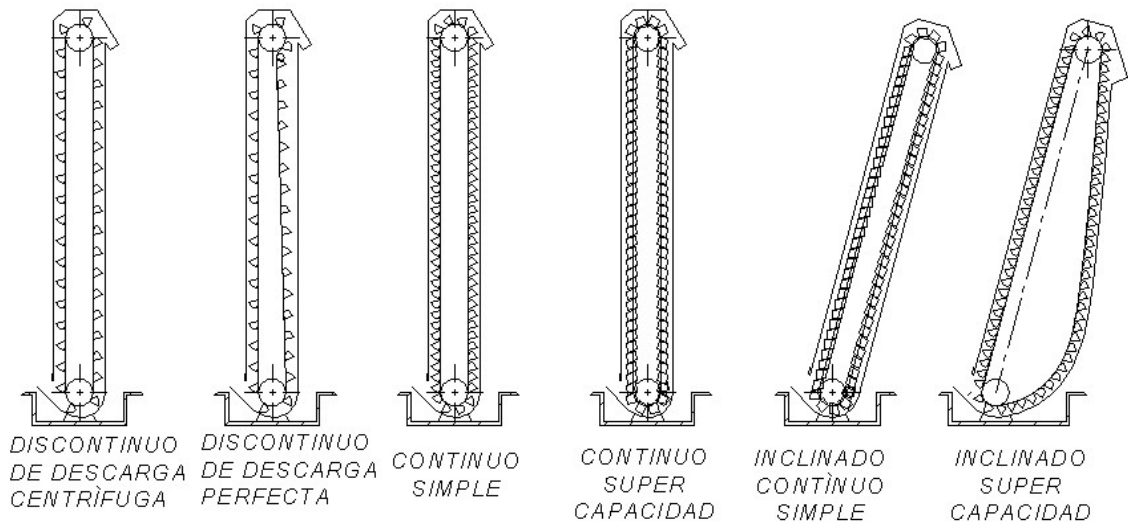


Figura 2

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; 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 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 y semillas 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, si no son elegidas adecuadamente las dimensiones de todas y cada una de las partes que lo conforman.

Los problemas fundamentales se los puede dividir en dos, los que se presentan durante la carga y los que se producen en la descarga. Si los cangilones se montaran sobre cadena, deberíamos agregar un tercero, debido al efecto cordal.

Los dos primeros serán los estudiados en éste trabajo, mediante la aplicación de un modelo simplificado, pero de suficiente aproximación, para demostrar que las fuerzas que actúan sobre el material son excesivas, provocando un inadecuado comportamiento del mismo, durante la carga y la descarga en su interacción con el cangilón.

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

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, lo que implica que la superficie libre siempre tenderá a estar perpendicular a la resultante de las fuerzas. Para ello mostramos esquemáticamente en la figura 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 y se lo llena de agua (diferente a la definición del artículo de referencia [1], pero que no afecta a los conceptos que vertimos en adelante)

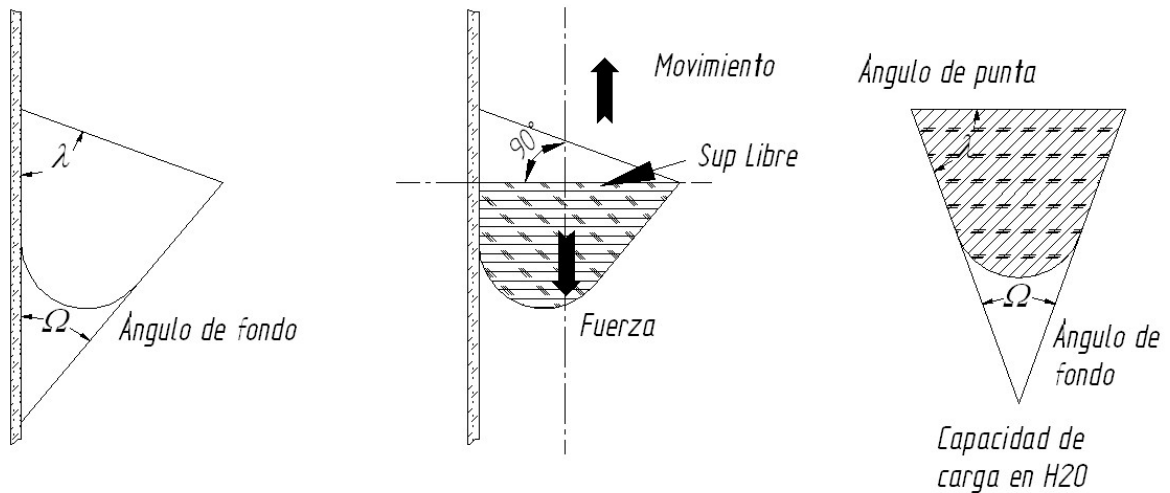


Figura 3

Los problemas sustanciales se producen, como intentaremos demostrar, durante la carga y descarga, por la acción combinada de las fuerzas de gravedad y centrífuga, cuya resultante afecta los tramos curvos del elevador, (es 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 inferior y la mitad del superior y lo superpondremos para analizar tres casos límite respecto a las fuerzas actuantes: a) Fuerza centrífuga igual al peso del material, b) fuerza centrífuga igual al doble del peso del material y c) fuerza centrífuga igual a la mitad del peso (figura 4).

En ésta figura superpondremos los tres casos analizados, a fin de ver más claramente la incidencia de las resultantes de las fuerzas sobre la superficie libre del material.

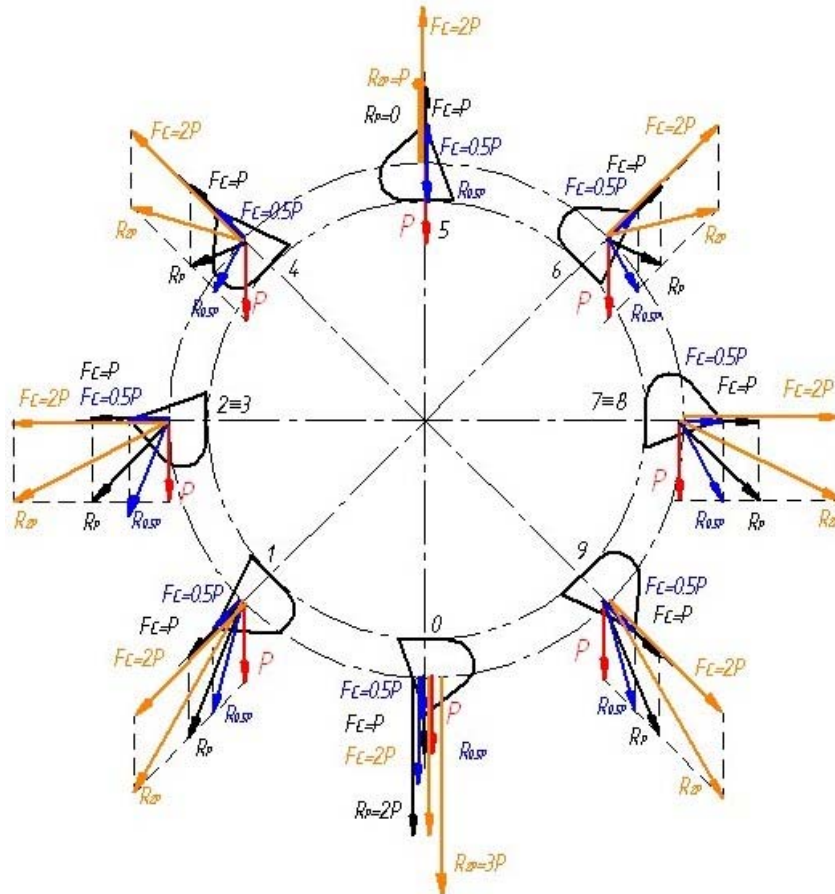


Figura 4

2.1.1.- Fuerza centrífuga igual al peso. $F_c = P$

La condición ideal para conseguir la descarga del material por la acción de la fuerza centrífuga, es aquella en donde:

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

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 cual 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:

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

1

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

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

2

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

3

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

Se tiene:

4

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

Si se considera que se puede aproximar: $g \cong \pi^2$, reemplazando y simplificando queda finalmente:
Para hallar el valor de n_0 para la cual se cumple la relación dada por la Ecuación (1), reemplazando en la misma el valor de F_c dado por la relación anterior, se tiene:

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

Simplificando y despejando el valor de n_0 , queda:

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

Donde: n_0 esta dado en revoluciones por minuto, y ρ en metros.

Interesa conocer cual es la dirección y el módulo de la resultante R_2 , cuando el cangilón se encuentra en la posición 2 \cong 3.

Para la misma, (Figura 4), 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_2 , se puede determinar aplicando la relación pitagórica, y teniendo en cuenta además la ecuación 2, se tiene:

$$R_2 = \sqrt{P^2 + F_c^2} = \sqrt{P^2 + P^2} = \sqrt{2} \cdot P = 1,41 \cdot P \quad (5)$$

Esto significa, que para la posición 2 \cong 3, cuando se trabaja a n_0 revoluciones, el valor de la resultante R_2 , es un 41 % mayor que el del peso del material P .

Para determinar los valores de los módulos y las direcciones en que actúan las resultantes R_2 , 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_2 , que actúan en cada una, tal como se ha realizado en la Figura 4

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

Punto 4: cuando el cangilón se halla en este punto, el material, que es del tipo que fluye fácilmente, al estar sometido a la acción de la resultante R_4 , tenderá a disponerse de manera que su superficie libre, quede ubicada en posición normal a dicha fuerza resultante, tal como se vio en la Figura 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 de material transportado y descargado por el elevador. Para reducir este problema, es aconsejable utilizar cangilones con ángulos de punta λ elevados, (Figura 3).

Por otra parte, como se observa en la Figura 4, la resultante R_4 , empuja al material contra el fondo, y para evitar que el mismo pueda acuñarse contra dicho fondo, 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 F_c es igual y de sentido contrario a P , la resultante R_5 , es nula y por lo tanto, el mismo 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 Figura 4, la acción de la resultante R_6 , 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: como se observa en la Figura 4, cuando el cangilón inicia el dragado del material contenido en la bota, al ir avanzando el cangilón va dragando el material, que se va introduciendo dentro del mismo. Pero esta acción se ve dificultada por la fuerza R_8 , que es de módulo igual a R_2 , y su dirección esta dirigida hacia la boca. Esto hace que el llenado del cangilón con material sea parcial.

Punto 9: al llegar a esta posición el material, que trata de penetrar dentro del cangilón, continúa viendo dificultado su ingreso por la dirección desfavorable de la resultante R_9 y su mayor módulo, razón por la cual no se obtiene un llenado total.

Punto 0: como puede observarse en la Figura 4, para esta posición el valor de la resultante, al coincidir las direcciones y sentidos de P y F_c , tiene un valor de $R_0 = 2 P$. Debido a su acción, la superficie libre del material se ubicará en posición horizontal, normal a ella (Figura 3) y esto hará que el material 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_1 , 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, sin embargo la dirección y el módulo de $R_3 \equiv R_2$, no permite 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.

2.1.2. Fuerza centrífuga mayor que 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 mas 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 como 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 del peso, es decir:

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

Interesa conocer cual 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:

$$2.P = \frac{P.\rho.n'^2}{30^2} \quad (7)$$

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 , el valor de la fuerza centrífuga se hace igual al doble del valor del peso.

Interesa conocer cual es la dirección y el módulo de la resultante R'_2 , cuando el cangilón se encuentra en la posición $2 \equiv 3$. Para la misma, (Figura 4), 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'_2 , se puede determinar aplicando la relación pitagórica, y teniendo en cuenta además la Ecuación 6, se tiene:

$$R'_2 = \sqrt{P^2 + F'_c \cdot 2} = \sqrt{P^2 + (2 \cdot P)^2} = \sqrt{5} \cdot P = 2,24P \quad (9)$$

Esto significa que para la posición $2 \equiv 3$, cuando se trabaja a n' revoluciones, el valor de la resultante R'_2 , es un 124 % mayor que el peso del material P .

Para determinar los valores de los módulos y las direcciones en que actúan las resultantes R'_i , 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 Figura 4

A continuación analizaremos como influye ésta resultante sobre el material, en cada punto:

Punto 4: En este caso el valor de la resultante R'_4 , tiene mucho mayor módulo que la R_4 del caso anterior y su dirección es más levantada, lo que indica que inevitablemente el material derramará por encima del borde delantero del cangilón, comenzando una descarga anticipada, generando retornos que reducen el caudal transportado, no pudiendo remediárselo por mas 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'_6 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 éste primer punto comienza la acción de carga. Como los valores de las resultantes R'_8 y R'_9 , 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'_0 y R'_1 son aproximadamente un 50 % mayor que en el caso anterior y en el punto 1 además su dirección es mas levantada, con lo que la resistencia a mejorar el grado de llenado de los cangilones durante el dragado es mayor.

Punto3: La resultante de las fuerzas impide el llenado completo del cangilón.

Conclusión 2:

Como consecuencia del análisis realizado, se concluye que la acción de la fuerza resultante al ser mas intensa, 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 $P = F_c$, por la mayor velocidad a la que se hace trabajar 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 hace 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 figura N° 5)



Figura 5

2.1.3.- Fuerza centrífuga menor que el peso ($F_c < P$)

Cuando se transportan materiales friables, cuyos terrones se romperían si son proyectados con demasiada fuerza contra el canal de descarga, resulta conveniente considerar que ocurre cuando se reduce la velocidad de giro por debajo de n_0 . 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 como 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 del peso, es decir:

$$\frac{P}{2} = F''_c \quad (10)$$

Interesa conocer cual 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:

$$n = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot n_0 = 0,707 \cdot n_0 = \frac{21,21}{\sqrt{\rho}} \cdot 8 \quad (12)$$

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 del peso.

Interesa conocer cual es la dirección y el módulo de la resultante R''_2 , cuando el cangilón se encuentra en la posición $2 \equiv 3$. Para la misma, (Figura 4), 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''_2 , se puede determinar aplicando la relación pitagórica, y teniendo en cuenta además la Ecuación 10, se tiene:

$$R''_2 = \sqrt{P^2 + F''_c{}^2} = \sqrt{P^2 + \left(\frac{P}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} \cdot P = 1,12 \cdot P \quad (13)$$

Esto significa que para la posición $2 \equiv 3$, cuando se trabaja a n'' revoluciones, el valor de la resultante R''_2 , 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''_i , 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 Figura 4.

A continuación analizamos como influye ésta resultante sobre el material, en cada punto:

Punto 4: En este caso el valor de la resultante R''_4 tiene menor módulo que la R_4 del primer caso y su dirección es mas 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 mas 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''_5 sea igual a $P / 2$ y dirigida hacia abajo.

Como consecuencia de ello, el material tratará de permanecer apoyado contra el dorso del cangilón, retardando su descarga y produciendo derrames del mismo hacia la bota, lo que reducirá el caudal transportado porque el material no se puede alejar lo suficiente, como para ser recogido por el canal de descarga. En éste 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''_6 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''_8 y R''_9 , 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''_0 y R''_1 son aproximadamente un 25 % menor que en el primer caso y en el punto 1 además, su dirección es mas 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 mas 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, impactarán contra el cangilón precedente y no alcanzarán a llegar al canal de descarga, cayendo hacia la bota, reduciéndose así el caudal transportado.

3. CONCLUSIONES:

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 que permiten ser arrolladas sobre tambores de menor diámetro para igualdad de otras condiciones. Estas consideraciones, predisponen a los fabricantes a construir elevadores con tambores más pequeños de los recomendados, (la cinta al tener menor espesor, soporta mejor la flexión), que para las mismas velocidades tangenciales necesarias para lograr los caudales requeridos, se aumente sustancialmente el efecto de la fuerza centrífuga, lo que genera descargas anticipadas, que además por efecto de la resultante de las fuerzas actuantes, lanza al material transportado con excesiva fuerza contra la cobertura del cabezal superior, lo que además de producir retorno de material, genera un desgaste prematuro de la mencionada estructura y el material que retorna por el ramal ascendente no sólo resulta abrasivo para la estructura, sino que descarga parcialmente los cangilones (ver figura 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 sustancial mayor costo constructivo inicial, 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.

REFERENCIAS

- [1] Fabrizio Gambarotta. Optimisation de l'efficacité d'un élévateur á godets; pag. 73-75 Revue INFOVRAC n°161, octubre- noviembre 2008. ISSN o2923-9304
- [2] Carlos Pelegrina- Aldo Garofoli. Proyecto y Cálculo de elevadores a Cangilones. Publicación docente UNS 250 páginas- Año 1994