

**ANÁLISIS DE CARGAS Y DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL DE COJINETE EN
RECLAMADOR DE CALIZA DE LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS**

DIANA MARCELA DE LA ROSA CORREA

KAREN PAOLA SABOGAL ROJAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C

2016

**ANÁLISIS DE CARGAS Y DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL DE COJINETE EN
RECLAMADOR DE CALIZA DE LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS**

DIANA MARCELA DE LA ROSA CORREA

KAREN PAOLA SABOGAL ROJAS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánica

Director:

Edgardo William Arrieta Ortiz

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C

2016

Nota de aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos la sabiduría y la fortaleza necesaria para iniciar y concluir esta etapa de nuestras vidas. A nuestros padres por brindarnos siempre su apoyo incondicional y demostrarnos que con esfuerzo se logran las metas propuestas. A nuestros profesores por ser guías y compartirnos sus conocimientos, en especial a nuestro tutor de grado, Ing. Edgardo Arrieta Ortiz por confiar en nuestras capacidades para llevar a cabo este trabajo.

Diana Marcela De La Rosa Correa

Karen Paola Sabogal Rojas

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
PREÁMBULO.....	10
1. OBJETIVOS.....	12
1.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. MARCO TEÓRICO	13
3. METODOLOGÍA.....	17
4. CÁLCULOS	22
5. RESULTADOS	36
5.1 Caso 1	36
5.2 Caso 2	37
5.3 Caso 3	38
5.4. Caso 4	39
5.5. Caso 5	40
5.6. Caso 6	40
5.7. Caso 7	41
5.8. Caso 8	42
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
7. ANÁLISIS VIDA ÚTIL DE COJINETE.....	46
8. CONCLUSIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS.....	56

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Reclamador de Caliza de la empresa Cementos Argos.....	10
Figura 2. Rueda de Presión en Reclamador de Caliza	10
Figura 3 (a). Rueda de presión Rake Car con Rotura.....	11
Figura 3 (b). Rueda de presión Rake Car averiada.....	11
Figura 4. Reclamador de caliza.	14
Figura 5. Gráfica tiempo vs. Carga aplicada a cojinete según criterio de vida L10 y vida L50.....	14
Figura 6. Ubicación de valor RMS en onda Sinusoidal.....	15
Figura 7. Vista lateral de Reclamador de Caliza tipo Puente.....	17
Figura 8 (a). Diagrama de cuerpo libre del Active Rake con distancias.....	25
Figura 8 (b). Diagrama de cuerpo libre del Active Rake con fuerzas.....	27
Figura 9 (a). Diagrama de cuerpo libre Rake Car con distancias.....	28
Figura 9 (b). Diagrama de cuerpo libre Rake Car con fuerzas.	30
Figura 10. Diagrama de cuerpo libre de la contraparte Active Rake con fuerzas.....	31
Figura 11 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones del caso 1.	36
Figura 11 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 1.	37
Figura 12 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 2.	38
Figura 12 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 2.	38
Figura 13 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 3.	39
Figura 13 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 3.	39
Figura 14. Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 4.	39
Figura 15. Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 5.	40
Figura 16 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 6.	41
Figura 16 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 6.	41
Figura 17 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 7.	42
Figura 17 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 7.	42
Figura 18. Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 8.	43
Figura 19. Especificaciones del cojinete SKF 6220	46

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Masas de cada componente a analizar	17
Tabla 2. Masas de los elementos que componen el Active Rake.....	18
Tabla 3. Masas de las partes del Rake Car.....	19
Tabla 4. Velocidad y Potencia del Rake y Scraper-Active Rake.	22
Tabla 5. Centros de masa de las diferentes partes del componente centro del Active Rake	23
Tabla 6. Centros de masa de las diferentes partes del Active Rake.	23
Tabla 7. Tabla resumen comportamiento carga ruedas de presión inferiores en el caso 1.	45

INDICE DE ANEXOS

Pág.

ANEXO 1: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE EVALUAR VALOR MEDIO CUADRÁTICO (RMS) DE LA FUERZA APLICADA EN EL COJINETE PARA EL CASO 1	56
ANEXO 2: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 1	57
ANEXO 3: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 2	61
ANEXO 4: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 3	65
ANEXO 5: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 4	69
ANEXO 6: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 5	73
ANEXO 7: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 6	77
ANEXO 8: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 7	81
ANEXO 9: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 8	85

INTRODUCCIÓN

La empresa Cementos Argos ha iniciado un proyecto de acompañamiento con la Universidad Tecnológica de Bolívar con el objetivo de determinar las causas de falla de una de las ruedas de presión del Reclamador de Caliza, para esto se realizará un análisis de cargas sobre el mismo, con el fin de obtener la fuerza aplicada sobre los cojinetes en condición más crítica.

Los reclamadores de gráneles son máquinas que se encargan de jalar el material y llevarlo al equipo de transporte adecuado para el seguimiento del proceso productivo en una empresa, teniendo esto un campo de aplicación amplio en la industria cementera.

El siguiente informe presenta el análisis de cargas del reclamador de caliza de la empresa Cementos Argos. Las partes de estudio principalmente son el Active Rake y el Rake Car, a partir de las cuales se realiza un modelo estático de cargas, considerando fuerzas como el peso de las estructuras, tensión de las guayas que sostienen al Active Rake, reacciones generadas en los apoyos y la fuerza que soportan los rastrillos al pasar sobre la piedra caliza. De acuerdo a los valores considerados inicialmente dados en información por parte de la empresa Cementos Argos, se obtienen resultados de cargas sobre los rodamientos, teniendo en cuenta modificaciones en el modelo, que permitan la evaluación bajo distintas condiciones con el fin de determinar la más crítica.

PREÁMBULO

Este trabajo inicio como un proyecto de acompañamiento de la Universidad Tecnológica de Bolívar con la empresa Cementos Argos para dar respuesta a varios inconvenientes presentados en diferentes equipos de la cadena productiva. El objetivo aquí desarrollado es el análisis de las cargas y determinación de la vida útil del cojinete que presentaba la falla en el reclamador de caliza de la empresa. (Figura 1)



Figura 1. Reclamador de Caliza de la empresa Cementos Argos



Figura 2. Rueda de Presión en Reclamador de Caliza

El reclamador de caliza de la empresa Cementos Argos fue instalado por la empresa Alemana FLSmidth-Wadgassen GmbH, dicho reclamador se desplaza utilizando ruedas de presión que contienen cada una, un par de cojinetes, los cuales al momento de la rotura de la rueda presentaban la falla, dejando fuera de funcionamiento el sistema. Se contactó a la empresa encargada de la instalación para obtener recomendaciones que permitiesen evitar la reaparición del problema mencionado. A continuación, se presentan fotos tomadas por la compañía donde se da muestra de la falla presentada.



Figura 3 (a). Rueda de presión Rake Car con Rotura Figura 3 (b). Rueda de presión de Rake Car averiada

El resultado del informe realizado por la empresa FLSmidth-Wadgassen GmbH sugiere que el problema se presenta por mal mantenimiento al equipo en general y proponen la posibilidad, siempre y cuando Cementos Argos desee realizar la inversión, del cambio de cojinete, por uno de rodillos, debido a que estos soportan mayor carga radial.

Sin embargo la empresa Cementos Argos, estaba interesada en conocer la causa real de la falla, para lo que necesitaban responder el siguiente cuestionamiento: *¿La falla en el cojinete contenido en la rueda de presión del reclamador de caliza era producto de falta de mantenimiento o sobrecarga presentada en el mismo?*, por lo cual propone la realización del análisis desarrollado a lo largo de este trabajo, teniendo en cuenta parámetros geométricos y de condiciones de operación.

Como resultado de este trabajo en el mes de Agosto se presentó un informe general a la empresa Cementos Argos, donde se mostraban los resultados obtenidos en el análisis que se desarrolla a detalle a continuación.

1. OBJETIVOS.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las cargas sobre el cojinete que falló en la estructura del reclamador de caliza y evaluar su vida útil, mediante la aplicación de un análisis de cargas del mismo, parametrizado de acuerdo con variables geométricas y de operación.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros geométricos y condiciones de operación significativos para el funcionamiento del reclamador de caliza.
- Realizar un análisis estructural para conocer las fuerzas que actúan sobre la estructura mediante la utilización de las herramientas Scilab¹ y wxMaxima².
- Realizar gráficas de superficie con el fin de comparar la reacción generada en el cojinete que presenta fallas actualmente, la distancia de la fuerza generada por la piedra caliza, y el ángulo al que se encuentra el Active Rake con respecto al suelo, mediante la utilización de la herramienta computacional Scilab.
- Evaluar la vida útil del cojinete con las cargas encontradas tomando en cuenta las condiciones de cargas reales del reclamador de caliza.

¹ Scilab 5.5.1 es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

² WxMaxima es una interface basado en documento para el sistema de algebra computacional Maxima. WxMaxima ofrece menús y diálogos para muchos comandos maxima comunes, autocompletados y animaciones simples. WxMaxima se distribuye bajo la licencia GPL. Disponible desde: <http://andrejv.github.io/wxmaxima/>

2. MARCO TEÓRICO

En este trabajo de grado se utilizó como metodología de desarrollo la de análisis estructural, en donde se tuvo en cuenta ecuaciones de equilibrio de fuerzas y de momentos, construidas considerando fuerzas externas.

Las ecuaciones necesarias de equilibrio de fuerzas, considera que un cuerpo rígido se encuentra en equilibrio de traslación cuando la suma de todas las fuerzas que actúan sobre él, es cero.

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0$$

Para el caso de equilibrio de rotación, se consideran las ecuaciones de momento, en donde la suma de estos sobre el cuerpo es cero.

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0$$

Cuando se cumple el equilibrio traslacional y rotacional, se concluye que el cuerpo rígido está en equilibrio.

Otra de las teorías utilizadas fue la de cojinetes, que se encuentra en el libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley³.

Este trabajo es de aplicación a la industria cementera la cual debe asegurar la calidad de su producto, uno de los procesos en la producción de cemento es la de recopilación de la caliza, que principalmente se realiza en dos pasos, el primero de ellos es cuando el brazo del reclamador de mueve de forma lateral y otro es cuando se desliza la caliza desde la parte superior hasta la parte más baja de la máquina.

³ Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Novena Edición. Capítulo 11. Cojinete de contacto rodante. 11-2. Vida de los cojinetes. Pág. 550.

El reclamador es la maquina encargada de colocar la materia prima, en este caso es la piedra caliza, en bandas transportadoras para llevarla al siguiente proceso. Un ejemplo de un reclamador de caliza es el mostrado en la siguiente figura.



Figura 4. Reclamador de caliza.
Tomado de: <http://www.logismarket.cl/>

Los reclamadores de caliza contienen ruedas que permiten el movimiento del Active Rake y el Rake Car, dichas ruedas poseen rodamientos de los cuales es posible determinar su tiempo de vida útil, el cual se relaciona con la carga aplicada mediante una proporcionalidad inversa, ejemplificada mediante la siguiente gráfica:

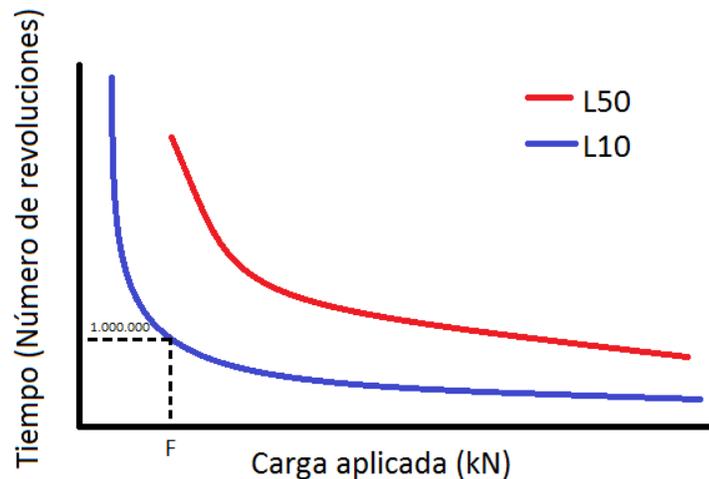


Figura 5. Gráfica tiempo vs. Carga aplicada a cojinete según criterio de vida L10 y vida L50

De modo que la carga nominal del cojinete, F según Figura 5., es aquella que permite la vida útil de 1 millón de ciclos de acuerdo con el criterio de vida. En el caso de la vida L10 que es la más comúnmente usada (Ej. Curva azul del gráfico arriba) el criterio de vida es que sólo el 10% de los cojinetes ensayados presenten indicios del inicio de la falla. Si elevamos al 50% el porcentaje de cojinetes que presentan el inicio de falla se obtiene el criterio L50, que indica entonces que para las mismas cargas se espera una vida útil mayor del mismo cojinete al cabo de la cual el 50% de los mismos dará muestras de falla (Ej. Curva roja del gráfico arriba).

En los casos en los que un cojinete no está sujeto a cargas constantes, sino variables, la predicción de la vida útil puede realizarse tomando el valor de la carga máxima (con la desventaja que puede presentarse solo en pocas ocasiones), prediciendo posiblemente una vida útil más reducida que lo real. Podría usarse la carga mínima, que erraría prediciendo una vida útil mayor a la actual. Una aproximación útil nos la da el valor RMS de la carga que se obtiene como una función del tiempo. Relacionada en la siguiente expresión:

$$Fuerza_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} * \left\{ \int_0^T \left(Min + Amp * \left[\sin \left(\frac{2 * \pi * t}{T} \right) \right] \right)^2 dt \right\}} \quad (1)$$

Dónde

T: Período

Min: Valor mínimo

Amp: Amplitud de la onda

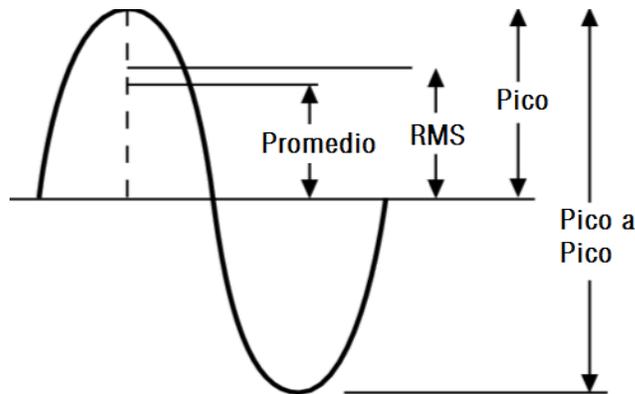


Figura 6. Ubicación de valor RMS en onda Sinusoidal

La gráfica anterior ejemplifica la ubicación típica del valor de media cuadrática (RMS) en una onda sinusoidal, como se muestra en ella, este generalmente se encuentra por encima del promedio aritmético y el considerar valores mínimos conlleva a estar por debajo del pico. Para el caso estudiado, se usaron los valores mínimo y máximo diarios de la carga predichos por los modelos, con una variación sinusoidal en el tiempo para obtener el valor RMS. Una vez obtenido el valor de la carga RMS, se procede a obtener la evaluación del tiempo de vida útil L10 (que significa que en ese tiempo se espera la aparición de la falla en un 10% de los casos en cojinetes similares) y el tiempo de vida útil L50 (indicando que con seguridad la falla se ha presentado en el 50% de casos en ese tiempo para los cojinetes indicados).

3. METODOLOGÍA

Para el análisis de las fuerzas ejercidas en los rodamientos es necesario identificar los componentes del reclamador de caliza que están en contacto con los mismos. Los componentes identificados son llamados por la empresa fabricante como *Active Rake Car* y *Rake Car*. De dichos componentes es necesario obtener las dimensiones y las masas, que se usarán posteriormente en el análisis estático; para esto se realizó la interpretación de los planos (codificados según el fabricante como: 07MC005-21-01-0901-0⁴ Active Rake Car y 07MC005-21-01-0701-0⁵ Rake Car) y sus respectivas listas de partes.

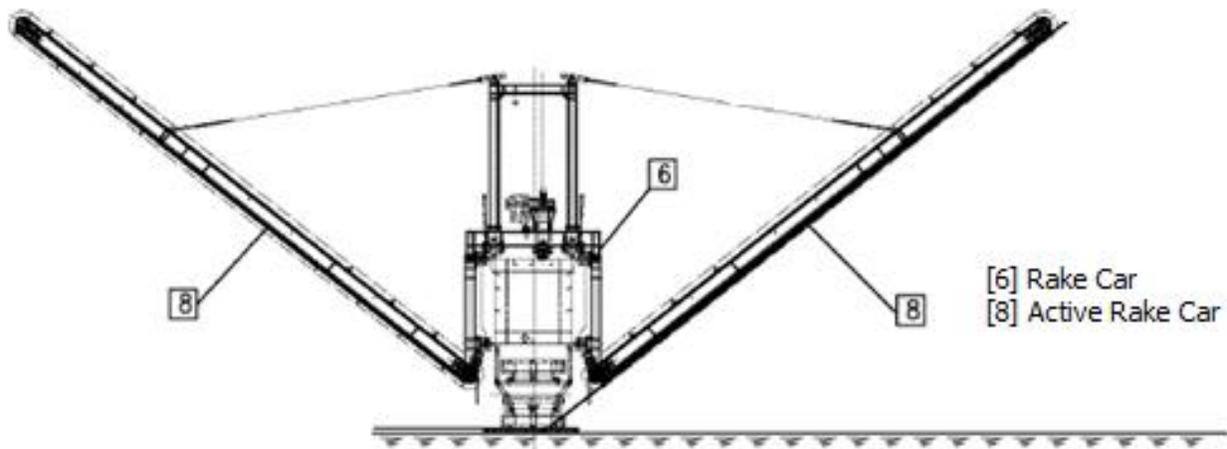


Figura 7. Vista lateral de Reclamador de Caliza tipo Puente

Componente	Active Rake Car	Rake Car
Masa (Kg)	9496.8	2681.6

Tabla 1. Masas de cada componente a analizar

⁴ Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000109- ACTIVE RAKE ARRANGEMENT. 07MC005-21-01-0901-0. FLSmidth-Wadgassen GmbH. Escala 1:25.

⁵ Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000107- RAKE CAR ARRANGEMENT 07MC005-21-01-0701-0. FLSmidth-Wadgassen GmbH. Escala 1:25.

El análisis realizado tiene en cuenta toda la estructura del Reclamador de Caliza, que consta de:

- Dos (2) Active Rake Car
- Un (1) Rake Car

A los cuales se les realiza diagrama de cuerpo libre, permitiendo identificar todas las fuerzas a los que están sometidos. Estos diagramas deben contener la localización de todas las fuerzas y momentos externos, el centro de masa de cada uno y las reacciones de los apoyos en que se encuentre.

Para la determinación del centro de masa del Active Rake Car, se realizó una división de la estructura en 4 partes a cada una se le calculó su centro de masa (tomando como origen la parte inferior izquierda de la estructura) y con estos se obtuvo el centro de masa total.

Parte	Elementos que componen la parte	Masa del elemento (kg)
Cuerpo Active Rake	Arregement Active Rake	1100
	Active Rake part 1-4 (sin zona media)	4721.4
	Rake Scraper	533.6
	Scraper Support	335.8
Retorno	Grasa de Lubricación	75.4
	Eje de retorno	245
	Estación de retorno	67.8
Zona de Movimiento	Drive shaft	354
	Torque support active rake	34.2
	Drive and take up station	101
	Sprocket protection	28.2
Centro	Rake Middle Part 1	219.1
	Rake Middle Part 2	269.4
	Rake Middle Part 3	530.6
	Rake Middle Part 4-5	881.5

Tabla 2. Masas de los elementos que componen el Active Rake

Para calcular el centro de masa del Rake Car se dividió la estructura en 2: *Rake Car Side Part* (identificado como 07MC005-21-01-0801-0⁶) y *Rake Tower* (con código 07MC005-21-01-0702-0⁷) debido a que las masas de los mismos son similares se determinó que era aceptable ubicar el centro de masa en su centro geométrico.

Elemento	Masa (kg)
Rake Car Side Part	2601
Rake Tower	2762.2

Tabla 3. Masas de las partes del Rake Car.

Para la realización del análisis estático fue necesario construir tres diagramas de cuerpo libre.

El primero corresponde al Active Rake, tiene como fuerzas:

- El peso de la estructura, ubicado en el centro de masa de la misma.
- La tensión generada en las cuerdas que sujetan el Active Rake en la parte superior (T).
- Las reacciones de cada uno de los apoyos (Rx1, Rx2, Ry1, Ry2, Rz1), donde la estructura puede cambiar su inclinación y se conecta con el Rake Car.
- La fuerza generada al contacto con la piedra caliza (F1, F2), la cual tiene tres componentes, que varían su sentido de acuerdo al movimiento.

En el segundo cuerpo, que corresponde al Rake Car, se consideran las siguientes fuerzas:

- La fuerza por el peso de la estructura.
- Las reacciones en cuatro ruedas de presión (Rx6, Rx7, Rx3, Rx4) de las cuales en Rx6 es donde se presentó la falla.
- Las reacciones en los puntos de contacto del Active Rake, considerándolas con signo contrario al que fueron tomadas en el análisis del primer cuerpo.
- Las tensiones se consideran en sentido contrario.

⁶ Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000107- RAKE CAR SIDE PART. 07MC005-21-01-0801-0. FLSmidth-Wadgassen GmbH. Escala 1:25.

⁷ Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000107- RAKE CAR TOWER. 07MC005-21-01-0702-0.Rev 2.0. FLSmidth-Wadgassen GmbH. Escala 1:25.

- Las reacciones en las ruedas guías (Ry5, Ry8, Ry18, Ry19) que contiene la cadena que permite el movimiento del Rake Car y genera la fuerza de accionamiento.

El tercer cuerpo corresponde a la contraparte del Active Rake que no está en funcionamiento al momento de la operación; su análisis bidimensional permitía obtener las reacciones Rx20, Ry20, y la tensión en la guaya (Tc) que lo sostenía, para luego hallar las reacciones restantes del cuerpo 2.

Luego de obtener el valor de cada variable se varían algunos parámetros para determinar el comportamiento de la fuerza aplicada al rodamiento. Los parámetros variados son el ángulo entre el Active Rake Car y la horizontal; y la posición de la fuerza ejercida por la piedra caliza a la estructura. Con los datos obtenidos se realizan gráficas que permiten entender como varía la fuerza sobre la rueda inferior en el lado opuesto del movimiento⁸.

Cuando se tienen las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y de momento, se utiliza el programa WxMaxima y Scilab para darles solución.

Luego de tener la fuerza aplicada sobre cada uno de los cojinetes, se lleva a cabo la metodología para análisis de vida útil del cojinete, de la cual se tiene en cuenta los siguientes pasos:

- Considerar la carga la media cuadrática o RMS del conjunto de valores obtenidos como cargas teniendo en cuenta la variación del ángulo de inclinación del Active Rake y la distancia de la fuerza ejercida por la piedra caliza sobre la estructura.
- Adicionalmente se debe tener en cuenta el diámetro de la rueda en la que está el par de cojinetes.
- Determinar la distancia L que recorre la rueda del Rake Car, de forma horizontal de un extremo a otro, y la velocidad máxima de movimiento del Active Rake.
- Hallar el número de revoluciones de la rueda que contiene los cojinetes.
- Hallar el tiempo que tarda el Active Rake en recorrer la distancia L.
- Hallar el número de recorridos de longitud L realizado por el Active Rake.
- Establecer el número de vueltas diarias de la rueda.

⁸ Esto quiere decir que cuando el reclamador se mueve hacia la izquierda se analiza la rueda inferior derecha y si el movimiento es hacia la derecha la rueda analizada sería la inferior izquierda.

Cuando ya se conocen los valores anteriores, se emplea la metodología de Efecto Carga-Vida del cojinete, considerando la vida nominal y vida media. Respecto a la vida nominal o también conocida como vida L10, se interpreta como la cantidad de revoluciones que el 90% de un conjunto de cojinetes sometidos a las mismas condiciones de carga y velocidad logra alcanzar o sobrepasar antes de que se cumpla el criterio de falla.

Por el contrario la vida media o también conocida como vida promedio se refiere al número de revoluciones que el 50% de un conjunto de cojinetes sometidos a las mismas condiciones de carga y velocidad logra alcanzar o sobrepasar antes de que se cumpla el criterio de falla. De forma aproximada se ha logrado establecer que: “Cuando se prueban muchos grupos de cojinetes, el valor de la vida media se encuentra entre 4 y 5 veces el valor de la vida L10”⁹

Para lo descrito anteriormente se tiene en cuenta la siguiente formula:

$$F_R = \frac{F_D(L_D n_D 60)^{1/a}}{(L_R n_R 60)^{1/a}} \quad (2)$$

Dónde:

F_R : Clasificación de catalogo, lbf o kN

L_R : Vida nominal en horas

n_R : Velocidad nominal, rpm

F_D : Carga radial deseada

L_D : Vida deseada en horas

n_D : Velocidad deseada en rpm

⁹ Tomado de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. Novena Edición. Capítulo 11. Cojinete de contacto rodante. 11-2. Vida de los cojinetes. Pág. 550.

4. CÁLCULOS

Para hallar un estimativo de las fuerzas que soportan los rastrillos para jalar la piedra caliza, se necesita conocer los valores de velocidad de la cadena y potencia de la misma, así como la velocidad y potencia del Rake, obteniendo estos datos del documento titulado Data Sheet 131.RE300, entregado como información por parte de la empresa Cementos Argos.

	Velocidad (m/s)	Potencia (W)
Rake	0.06	22000
Cadena-Active Rake	0.5	7500

Tabla 4. Velocidad y Potencia del Rake y Scraper-Active Rake.

La fuerza F1, que es la fuerza generada por la piedra caliza en el contacto en uno de los brazos del Active Rake y que se consideró igual a F2, se halló teniendo en cuenta la potencia y velocidad lineal de la cadena que permite el movimiento de los rastrillos, en el Active Rake mediante la siguiente relación:

$$Fuerza = \frac{Potencia}{Velocidad} \quad (3)$$

Tal que la F1:

$$F1 = \frac{7500 \text{ W}}{0.5 \frac{m}{s}} = \mathbf{15000 \text{ N}} \quad (4)$$

Para el caso de la fuerza de accionamiento ejercida en la plataforma, donde se tiene la cadena que permite mover el Rake Car, se tuvo igualmente en cuenta la potencia y la velocidad lineal del Rake.

$$F_{acc} = \frac{22000 \text{ W}}{0.06 \frac{m}{s}} = \mathbf{366666.7 \text{ N}} \quad (5)$$

Previo al procedimiento para la identificación del centro de masa del Active Rake, fue necesaria primero la identificación del centro de masa de la zona centro usando la ecuación para determinar el centro de masa.

$$CM = \frac{\sum Masa * Distancia}{\sum Masa} \quad (6)$$

PARTE	MASA (kg)	DISTANCIA (mm)	MASA x DISTANCIA (kg*mm)
Rake Middle Part 1	219.1	9440	2068304
Rake Middle Part 2	269.4	4970	1338918
Rake Middle Part 3	530.6	500	265300
Rake Middle Part 4-5	881.5	4970	4381055
Suma	1900.6	-----	8053577

Tabla 5. Centros de masa de las diferentes partes del componente centro del Active Rake

$$CM_{centro} = \frac{8053577kg * mm}{1900.6 kg} = 4237.39 mm \quad (7)$$

Luego se aplicó la misma ecuación para determinar el centro de masa de todo el Active Rake Car

PARTE	MASA (kg)	DISTANCIA (mm)	MASA x DISTANCIA (kg*mm)
Retorno	388.2	15708	6097845.6
Cuerpo Active Rake	6690.8	7958	53245386.4
Zona Movimiento	517.4	250	129350
Centro	1900.6	4237.39	8053583.434
Suma	9497	-----	67526165.43

Tabla 6. Centros de masa de las diferentes partes del Active Rake.

$$CM_{AR} = \frac{67526165.43 kg * mm}{9497 kg} = 7110.26 mm \quad (8)$$

Así se determinó que el centro de masa del Active Rake Car se encuentra a 7.11026 m del origen, sobre la longitud del AR.

En el caso del Rake, como se explicó anteriormente es posible dividir el cuerpo en dos partes, las cuales tienen aproximadamente la misma masa; debido a esto se consideró correcto ubicar el centro de masa en el centro geométrico, a 4.189 m, respecto al origen, medidos en la longitud del AR.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE CON DISTANCIAS – ACTIVE RAKE

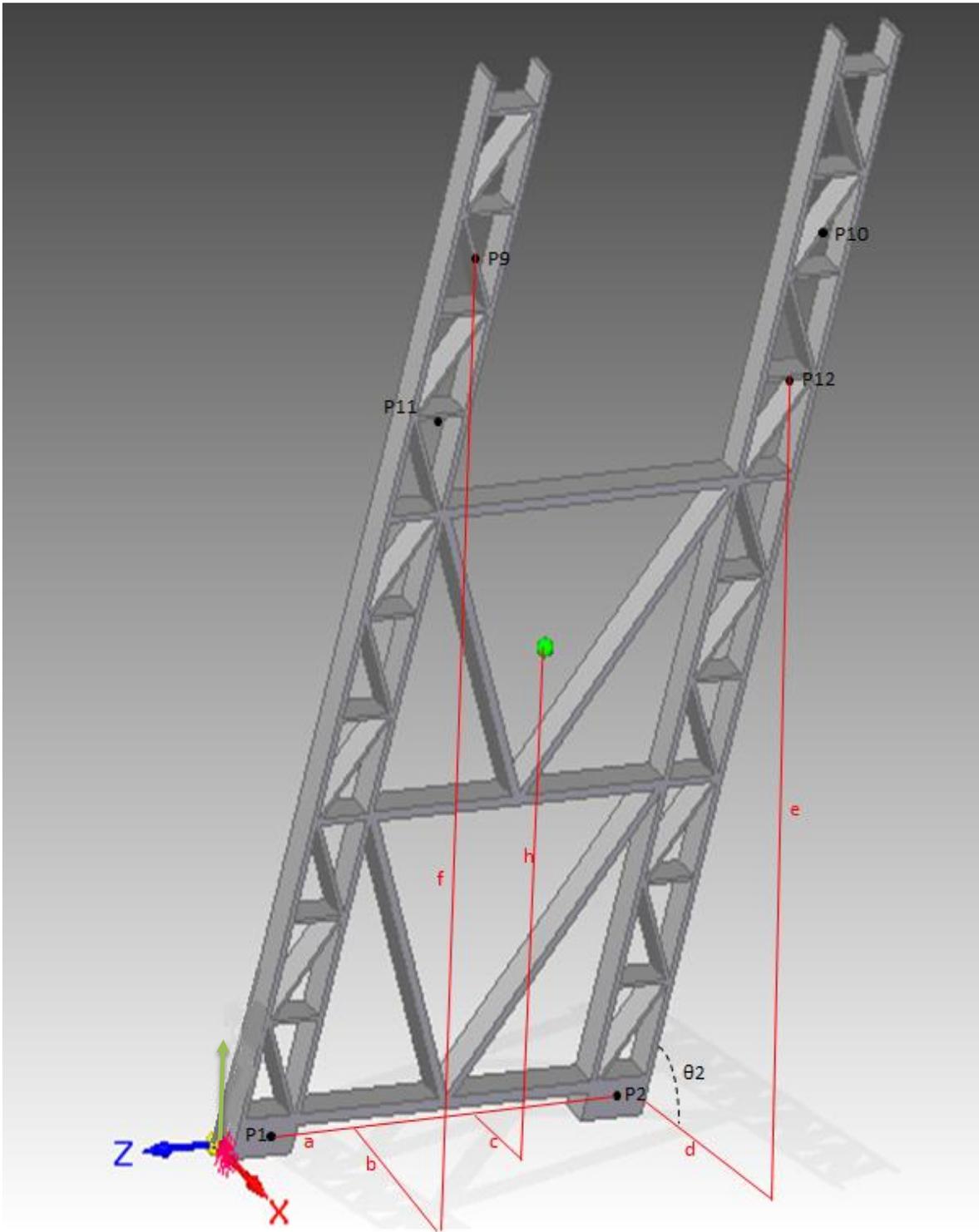


Figura 8 (a). Diagrama de cuerpo libre del Active Rake con distancias.

- a** Distancia entre centros de pivotes (Puntos 1 y 2)
- b** Distancia horizontal¹⁰ desde el punto 1 hasta la fuerza ejercida por la piedra caliza
- c** Distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del Active.
- d** Distancia horizontal desde el punto 1 hasta el cable tensionado.
- e** Distancia vertical desde el punto 1 hasta el cable tensionado.
- f** Distancia vertical¹¹ desde el punto 1 hasta la fuerza ejercida por la piedra caliza.
- h** Distancia vertical desde el punto 1 hasta el peso el centro de masa.

¹⁰ Siempre que se hace referencia a distancias horizontales, estas se medirán a lo largo del eje x

¹¹ Siempre que se hace referencia a distancias verticales, estas son medidas a lo largo del eje y.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE CON FUERZAS- ACTIVE RAKE

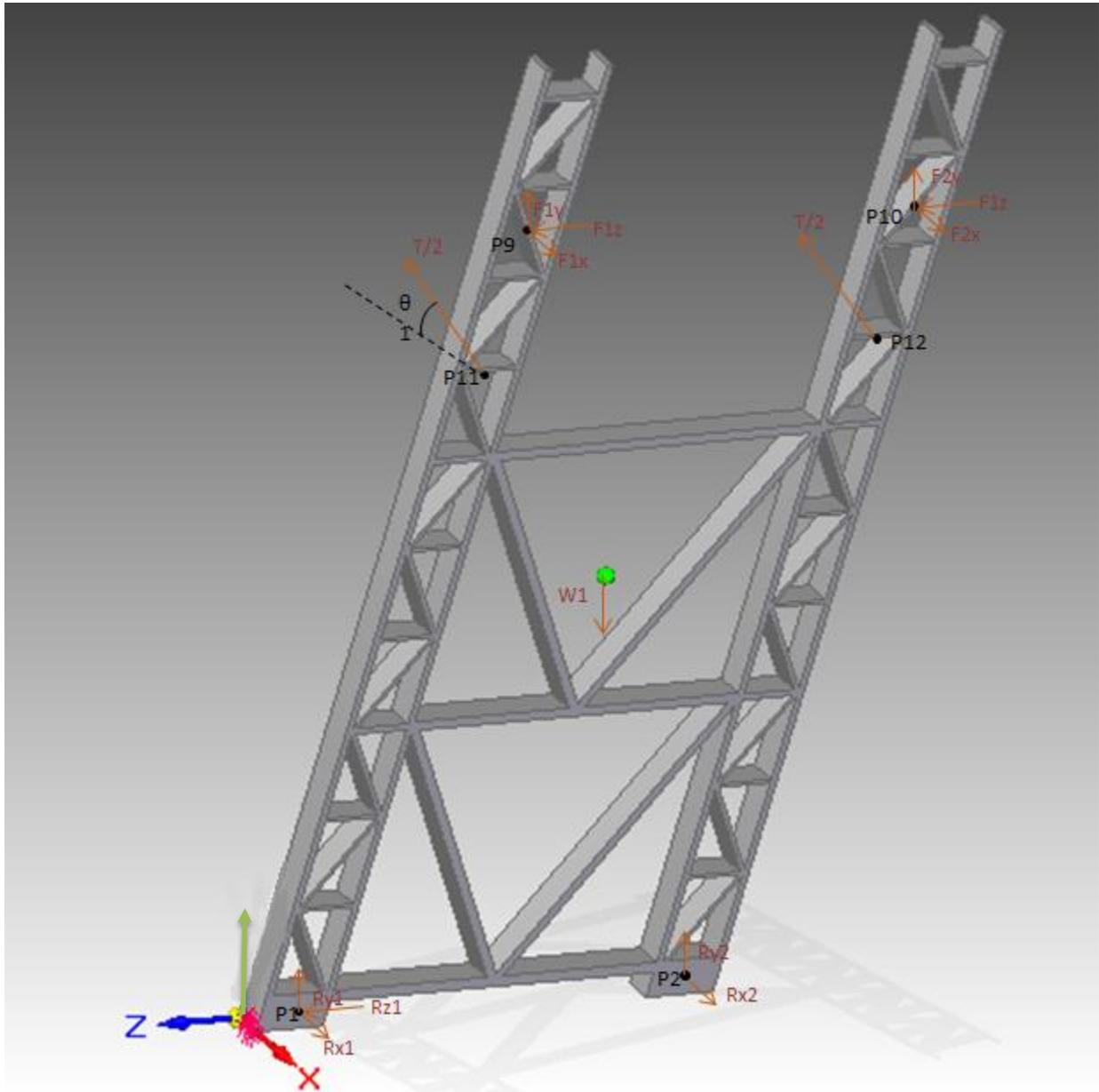


Figura 8 (b). Diagrama de cuerpo libre del Active Rake con fuerzas.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE CON DISTANCIAS – RAKE CAR

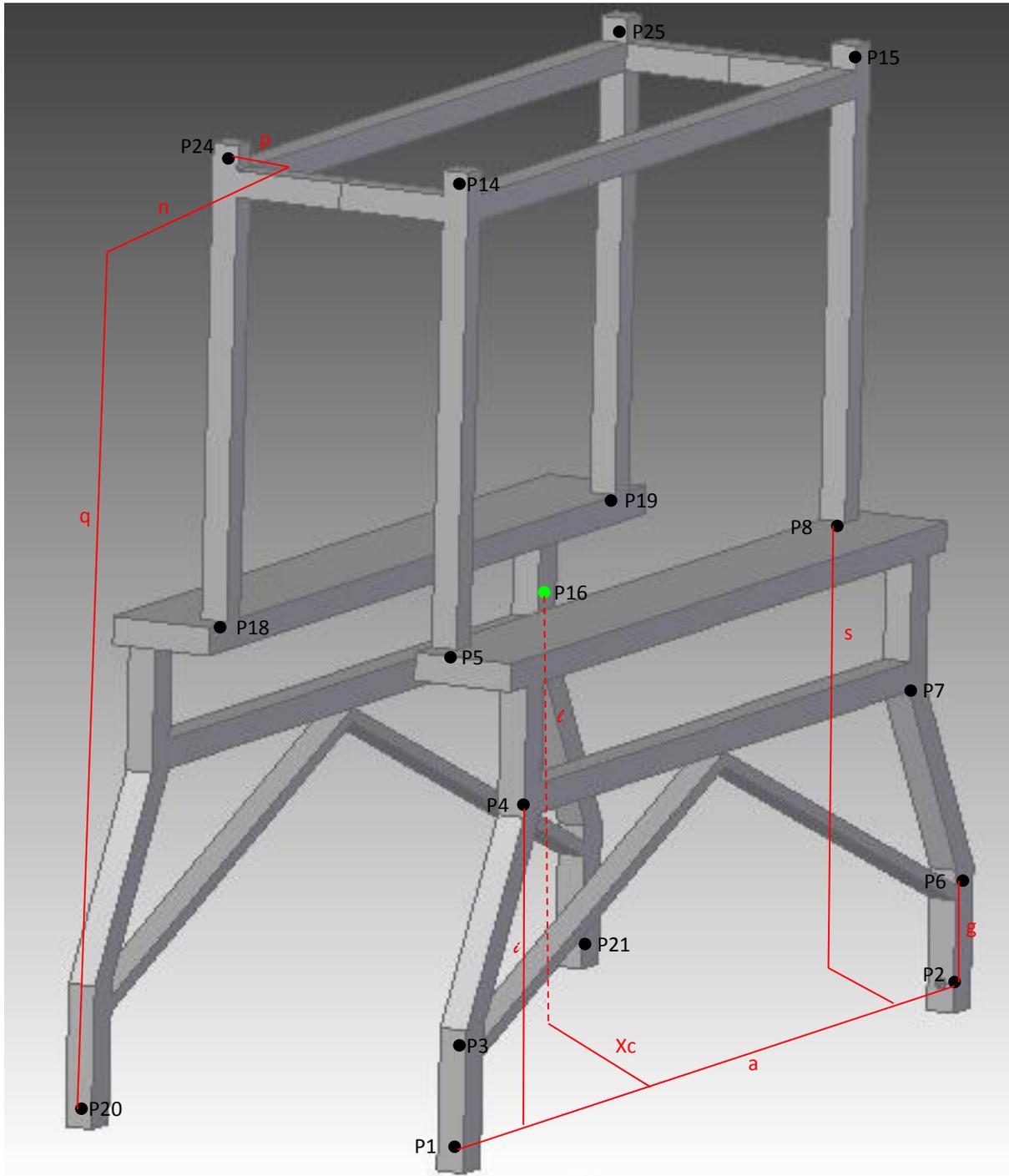


Figura 9 (a). Diagrama de cuerpo libre Rake Car con distancias.

- g** Distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presión inferior.
- i** Distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presión superior.
- k** Distancia horizontal desde el punto 1 hasta centro de masa del rake car.
- l** Distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2.
- s** Distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda guía.
- n** Distancia (sobre el eje z) entre ruedas de presión.
- p** Distancia horizontal entre el punto 1 y el punto 14.
- q** Distancia vertical entre el punto 1 y el punto 14
- t** Distancia entre centros de pivote (punto 1 y punto 2) en el rake car.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE CON FUERZAS – RAKE CAR

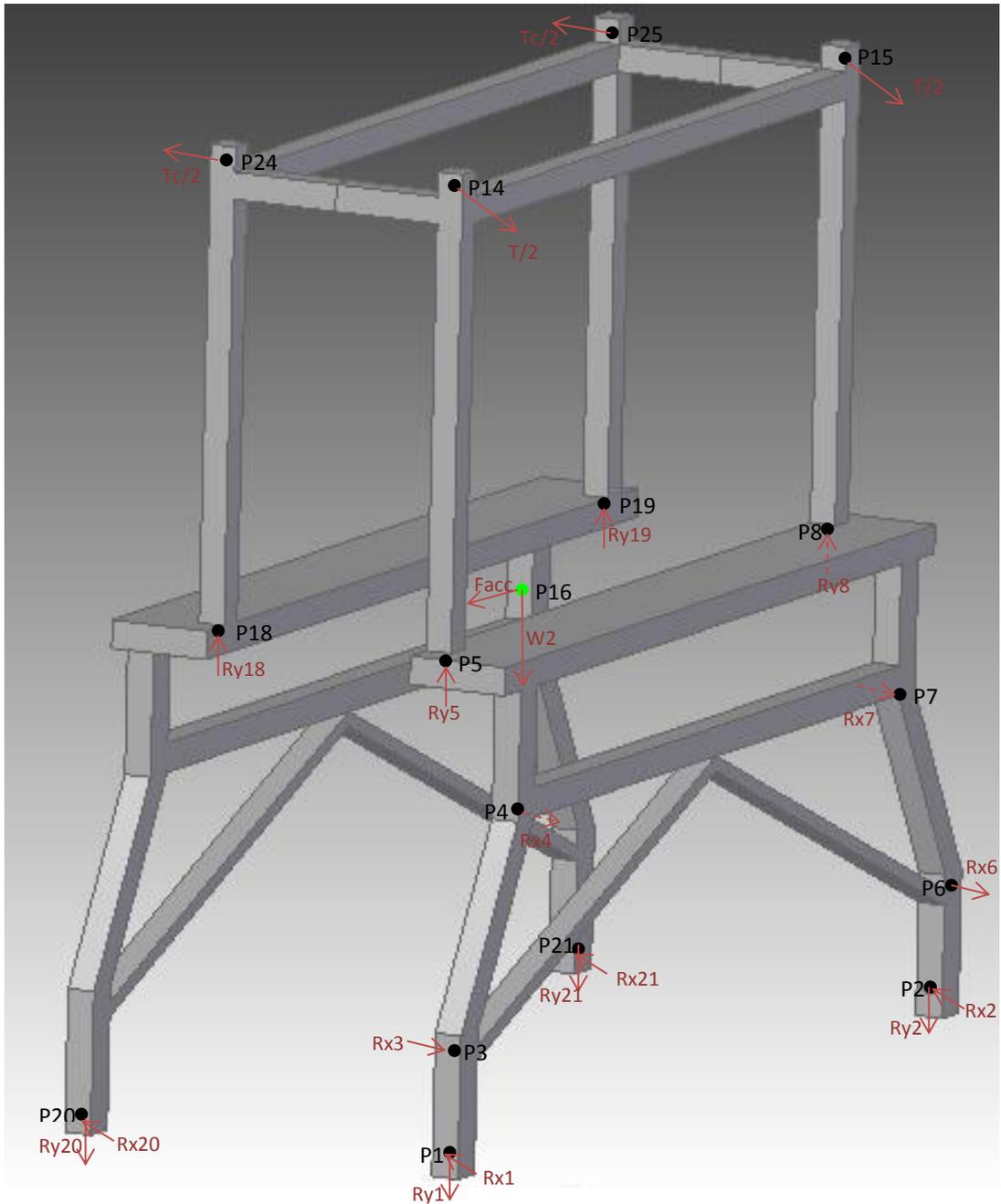


Figura 9 (b). Diagrama de cuerpo libre Rake Car con fuerzas.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE CON FUERZAS – ACTIVE RAKE (CONTRAPARTE)

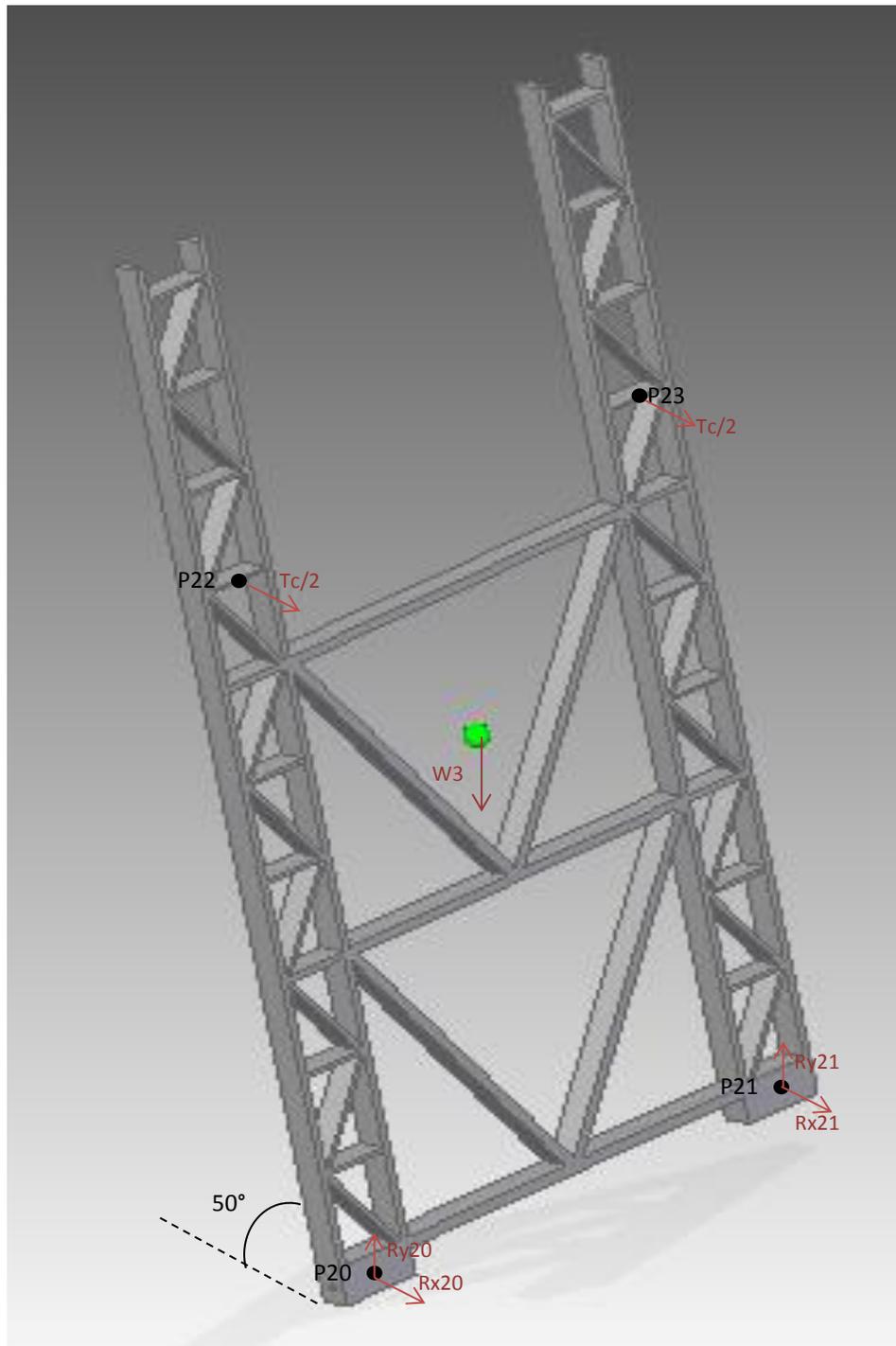


Figura 10. Diagrama de cuerpo libre de la contraparte Active Rake con fuerzas.

Es posible analizar de manera independiente este cuerpo, asumiendo que las fuerzas ejercidas sobre los puntos 20 y 21 son iguales, así:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} = 2 * \begin{bmatrix} R_{x20} \\ R_{y20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -W_3 \end{bmatrix} + 2 * \begin{bmatrix} Tc/2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\sum M = [(W_3) * (7.11026 \text{ m}) * (\cos 50^\circ)] - [(T_c) * (10.93 \text{ m}) * (\sin 50^\circ)] = 0 \quad (10)$$

Las anteriores ecuaciones se solucionaron en el programa wxMaxima y se obtuvo que:

- $R_{x20} = -30302.721 \text{ Newton}$
- $R_{y20} = 46581.804 \text{ Newton}$
- $Tc = 60605.441 \text{ Newton}$

Para los otros dos cuerpos se realizaron diagramas de fuerzas y de momentos los cuales se detallan a continuación:

Fuerzas - Active Rake

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{x1} \\ R_{y1} \\ R_{z1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{x2} \\ R_{y2} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F1 * \cos(\text{Theta}2) \\ F1 * \sin(\text{Theta}2) \\ -F_{z1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F2 * \cos(\text{Theta}2) \\ F2 * \sin(\text{Theta}2) \\ -F_{z1} \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} -\frac{T}{2} * \cos(\text{Theta}1) \\ \frac{T}{2} * \sin(\text{Theta}1) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{T}{2} * \cos(\text{Theta}1) \\ \frac{T}{2} * \sin(\text{Theta}1) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -W_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Momentos – Active Rake

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R_{x2} \\ R_{y2} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ f \\ 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F1 * \cos(\Theta_2) \\ F1 * \sin(\Theta_2) \\ -F_{z1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ f \\ -a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F2 * \cos(\Theta_2) \\ F2 * \sin(\Theta_2) \\ -F_{z1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d \\ e \\ 0 \end{bmatrix} \\
 &* \begin{bmatrix} -\frac{T}{2} * \cos(\Theta_1) \\ \frac{T}{2} * \sin(\Theta_1) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d \\ e \\ -a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -\frac{T}{2} * \cos(\Theta_1) \\ \frac{T}{2} * \sin(\Theta_1) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c \\ h \\ -a/2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ -W_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Fuerzas – Rake Car

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -R_{x1} \\ -R_{y1} \\ -R_{z1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R_{x2} \\ -R_{y2} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{x3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{x4} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ R_{y5} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{x6} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{x7} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ R_{y8} \\ 0 \end{bmatrix} \\
 &+ 2 \begin{bmatrix} \frac{T}{2} * \cos(\Theta_1) \\ -\frac{T}{2} * \sin(\Theta_1) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -W_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_{acc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ R_{y18} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ R_{y19} \\ 0 \end{bmatrix} \\
 &+ 2 \begin{bmatrix} -Tc/2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R_{x20} \\ -R_{y20} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R_{x21} \\ -R_{y21} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Momentos – Rake Car

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -R_{x2} \\ -R_{y2} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ g \\ 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R_{x3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ i \\ -n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R_{x4} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -j \\ s \\ -n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ R_{y5} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ g \\ -a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R_{x6} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} 0 \\ i \\ -(a-n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R_{x7} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -j \\ s \\ -(a-n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ R_{y8} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -p \\ q \\ -n \end{bmatrix} \\
 &* \begin{bmatrix} \frac{T}{2} * \cos(\Theta_1) \\ \frac{T}{2} * \sin(\Theta_1) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -p \\ q \\ -(a-n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{T}{2} * \cos(\Theta_1) \\ -\frac{T}{2} * \sin(\Theta_1) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_c \\ l \\ \frac{a}{2} \end{bmatrix} \\
 &* \begin{bmatrix} 0 \\ -W_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_c \\ l \\ \frac{a}{2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_{acc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2X_c + j \\ s \\ -n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ R_{y18} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2X_c + j \\ s \\ -(a-n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ R_{y19} \\ 0 \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} 2X_c + p \\ q \\ -n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -\frac{Tc}{2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2X_c + p \\ q \\ -(a-n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -\frac{Tc}{2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2X_c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -R_{x20} \\ -R_{y20} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2X_c \\ 0 \\ -a \end{bmatrix} \\
 &* \begin{bmatrix} -R_{x21} \\ -R_{y21} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{14}
 \end{aligned}$$

El sistema anterior se considera indeterminado, puesto que se cuenta con 12 ecuaciones pero existen 15 variables, para conformar una matriz cuadrada, fue necesario añadir tres restricciones:

$$\text{Restricción 1: } R_{y5} = R_{y18} \tag{15}$$

$$\text{Restricción 2: } R_{y8} = R_{y19} \tag{16}$$

Las dos restricciones mostradas anteriormente se mantienen constantes (corresponden a igualdad de la carga soportada por las ruedas guía) sin embargo la tercera cambia de acuerdo a los siguientes casos:

- **Caso 1:** Se quita la rueda de presión superior izquierda (P4)

$$R_{x4} = 0 \tag{17}$$

- **Caso 2:** Se quita la rueda de presión superior derecha (P7)

$$R_{x7} = 0 \quad (18)$$

- **Caso 3:** Se asume que las ruedas de presión superiores (P4 y P7), soportan la misma carga.

$$R_{x4} = R_{x7}$$

(19)

- **Caso 4:** Se quita la rueda de presión inferior izquierda (P3)

$$R_{x3} = 0 \quad (20)$$

- **Caso 5:** Se quita la rueda de presión inferior derecha (P6)

$$R_{x6} = 0 \quad (21)$$

- **Caso 6:** Se asume que las ruedas de presión del lado derecho (P6 y P7), soportan la misma carga.

$$R_{x6} = R_{x7} \quad (22)$$

- **Caso 7:** Se asume que las ruedas de presión del lado izquierdo (P3 y P4), soportan la misma carga.

$$R_{x3} = R_{x4} \quad (23)$$

- **Caso 8:** Se asume que las ruedas de presión inferiores (P3 y P6), soportan la misma carga.

$$R_{x3} = R_{x6} \quad (24)$$

El anterior sistema de ecuaciones es solucionado mediante la herramienta wxMaxima, dando como resultado expresiones en función de la distancia 'z' y del ángulo de inclinación del Active Rake, con respecto a la horizontal.

Posteriormente mediante la herramienta Scilab, variamos los parámetros de distancia, de 0 a 16 metros y de inclinación, de 34° a 46°. Con lo que se obtuvieron gráficas que permitan entender el efecto de las variables en la fuerza ejercida sobre las ruedas de presión inferiores (P3 y P6).

5. RESULTADOS

Se analiza el valor de la reacción sobre el cojinete que se fracturó, como función de: El ángulo de inclinación del *Active Rake* y la posición del *Scraper*, que hala la piedra caliza, sobre él. Para cada una de las combinaciones de restricciones indicadas antes, se obtuvo la solución del sistema de ecuaciones en Maxima y luego se evaluó numéricamente en Scilab para obtener una gráfica de superficie que relacione las variables indicadas.

5.1. Caso 1:

Aplicando la ecuación (17) se grafican los valores obtenidos de las reacciones en el punto 3 y en el punto 6. Se obtiene que la mayor carga se presenta cuando el ángulo es 34° y cuando la fuerza se localiza a los 16 metros, bajo estas condiciones

- Rx3: $8.008 \cdot 10^5$ Newtons (Bajo cualquier condición Rx3 es mayor que Rx6).
- Rx6: $7.7166 \cdot 10^5$ Newtons

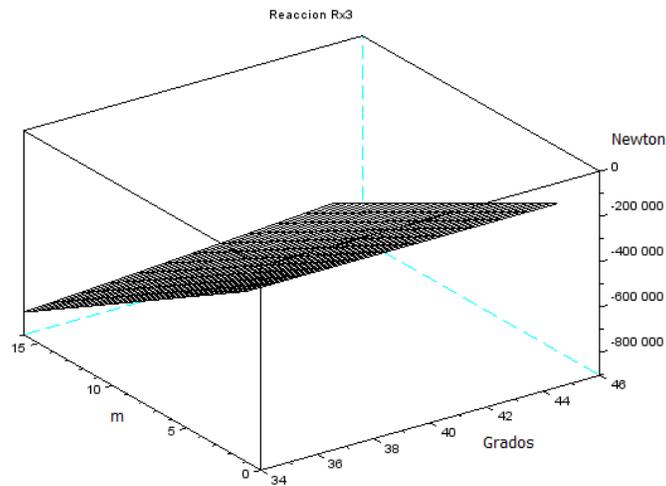


Figura 11 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones del caso 1.

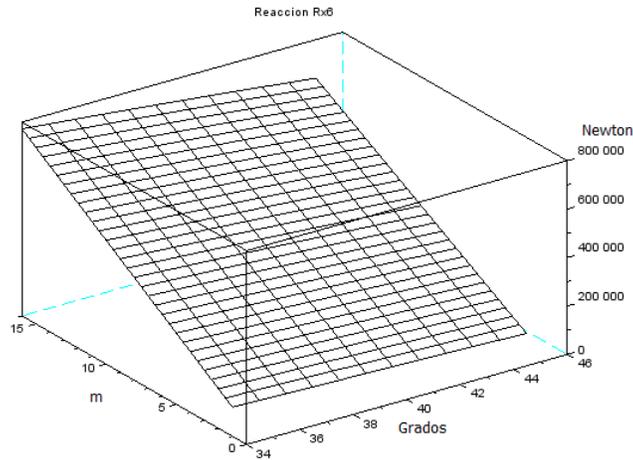


Figura 11 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 1.

5.2. Caso 2

Aplicando la ecuación (18) se grafican los valores obtenidos de las reacciones en el punto 3 y en el punto 6. Se obtiene que la mayor carga se presenta cuando el ángulo es 34° y cuando la fuerza se localiza a los 16 metros, bajo estas condiciones

- Rx3: $8.0391 \cdot 10^5$ Newtons (Bajo cualquier condición Rx3 es mayor que Rx6).
- Rx6: $7.7477 \cdot 10^5$ Newtons

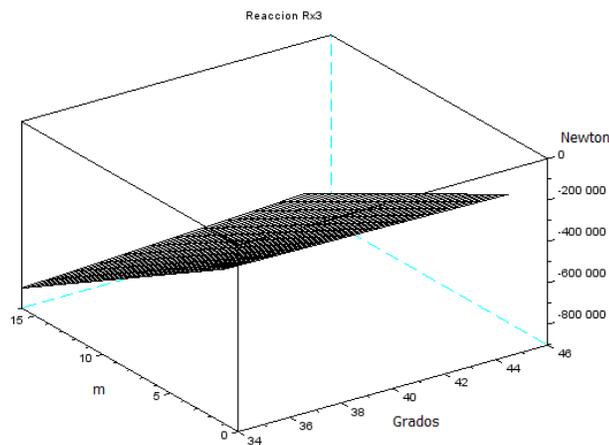


Figura 12 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 2.

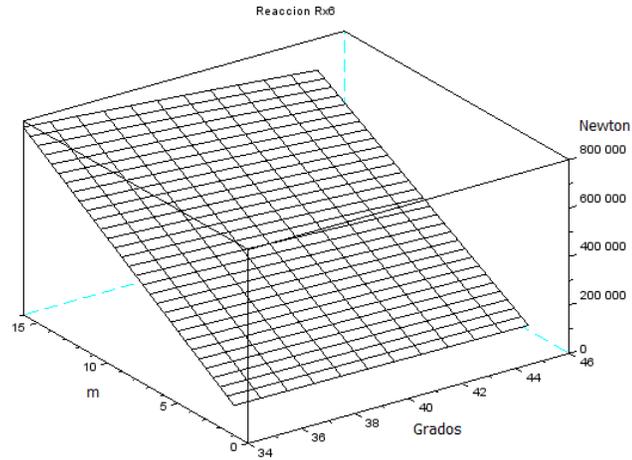


Figura 12 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 2.

5.3. Caso 3

Aplicando la ecuación (19) se grafican los valores obtenidos de las reacciones en el punto 3 y en el punto 6. Se obtiene que la mayor carga se presenta cuando el ángulo es 34° y cuando la fuerza se localiza a los 16 metros, bajo estas condiciones

- Rx3: $8.0236 \cdot 10^5$ Newtons (Bajo cualquier condición Rx3 es mayor que Rx6).
- Rx6: $7.7322 \cdot 10^5$ Newtons

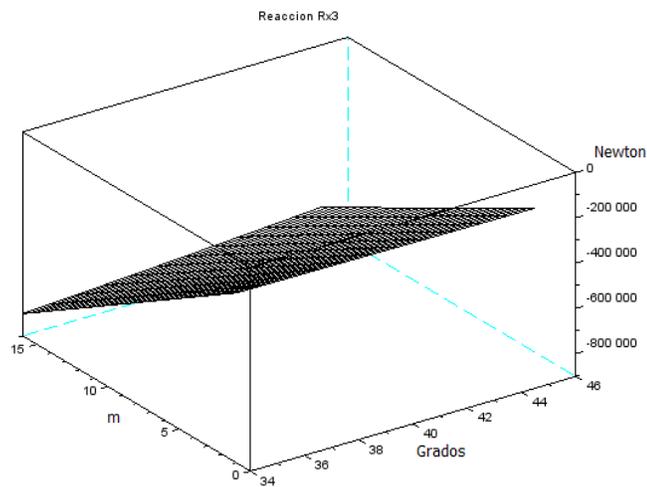


Figura 13 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 3.

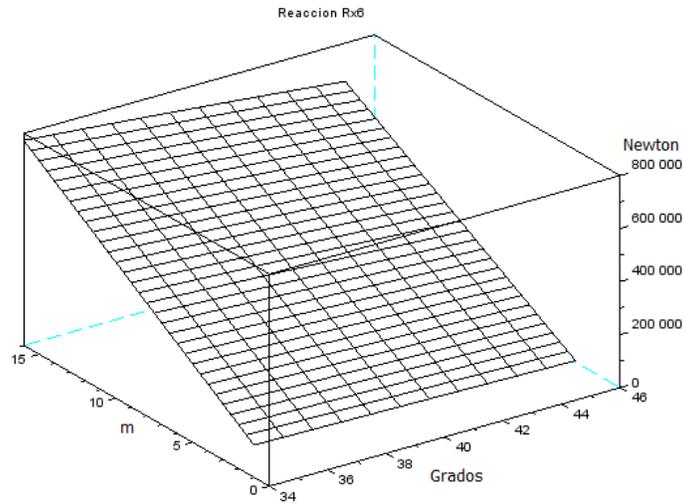


Figura 13 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 3.

5.4 . Caso 4

Aplicando la ecuación (20) se grafican los valores obtenidos de las reacciones en el punto 6. Se obtiene que la mayor carga se presenta cuando el ángulo es 45° y es independiente de la localización de la fuerza, bajo estas condiciones Rx6 es $6.1077 \cdot 10^4$ Newtons

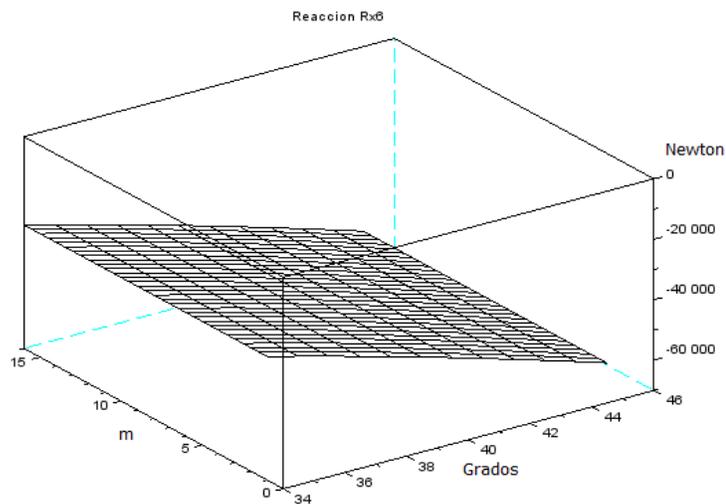


Figura 14. Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 4.

5.5. Caso 5

Aplicando la ecuación (21) se grafican los valores obtenidos de las reacciones en el punto 3. Se obtiene que la mayor carga se presenta cuando el ángulo es 45° y es independiente de la localización de la fuerza, bajo estas condiciones Rx3 es $6.1077 \cdot 10^4$ Newtons

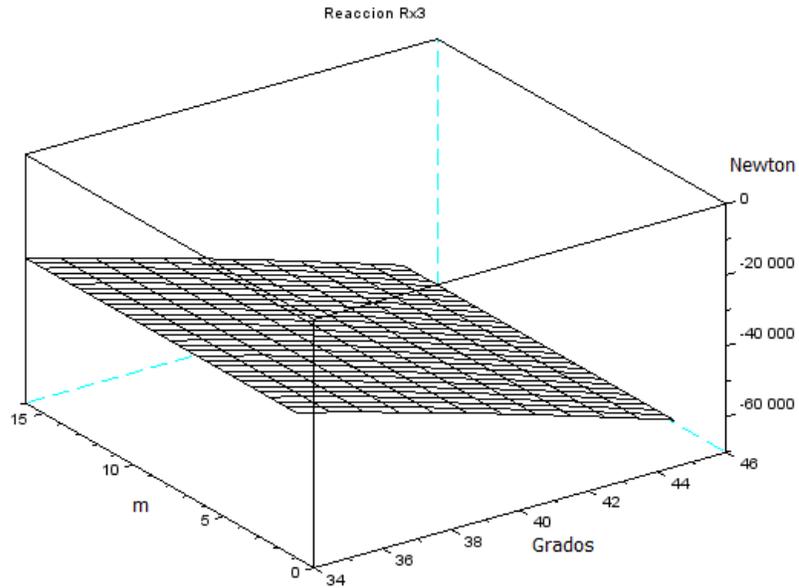


Figura 15. Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 5.

5.6. Caso 6

Aplicando la ecuación (22) se grafican los valores obtenidos de las reacciones en el punto 3 y en el punto 6. Se obtiene que la mayor carga se presenta cuando el ángulo es 34° y cuando la fuerza se localiza a los 16 metros, bajo estas condiciones

- Rx3: $4.7736 \cdot 10^5$ Newtons (Bajo cualquier condición Rx3 es mayor que Rx6).
- Rx6: $4.4822 \cdot 10^5$ Newtons

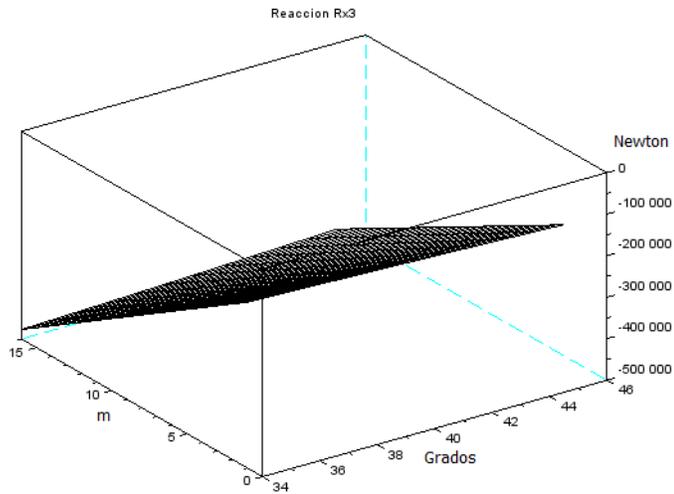


Figura 16 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 6.

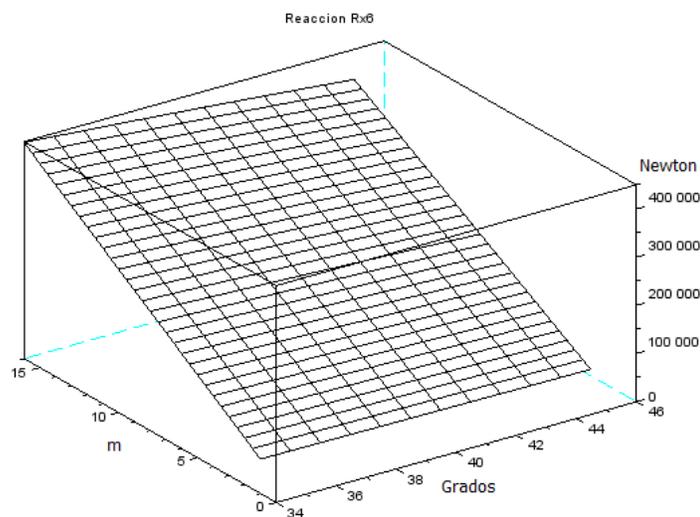


Figura 16 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 6.

5.7. Caso 7

Aplicando la ecuación (23) se grafican los valores obtenidos de las reacciones en el punto 3 y en el punto 6. Se obtiene que la mayor carga se presenta cuando el ángulo es 34° y cuando la fuerza se localiza a los 16 metros, bajo estas condiciones

- Rx3: $4.6327 \cdot 10^5$ Newtons (Bajo cualquier condición Rx3 es mayor que Rx6).
- Rx6: $4.3413 \cdot 10^5$ Newtons

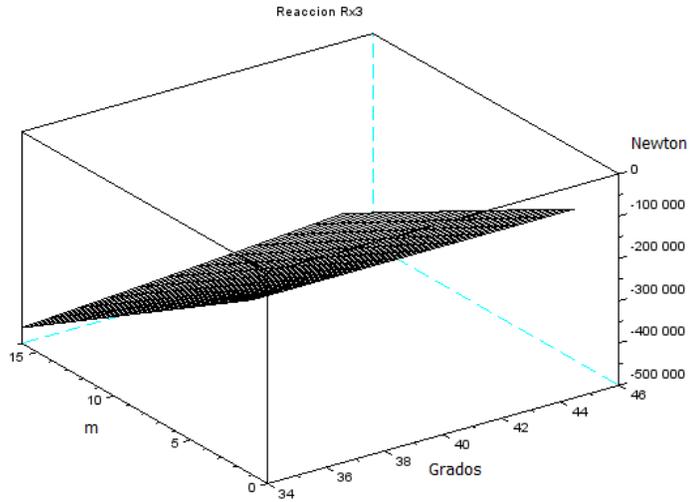


Figura 17 (a). Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 7.

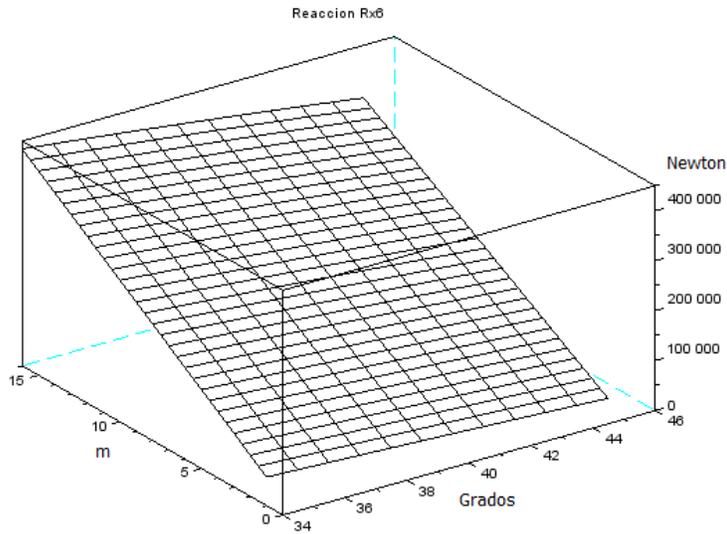


Figura 17 (b). Gráfico de Rx6 según condiciones de caso 7.

5.8. Caso 8

Aplicando la ecuación (24) se grafican los valores obtenidos de las reacciones en el punto 3. Se obtiene que la mayor carga se presenta cuando el ángulo es 45° y es independiente de la localización de la fuerza, bajo estas condiciones Rx3 es $3.0539 \cdot 10^4$ Newtons

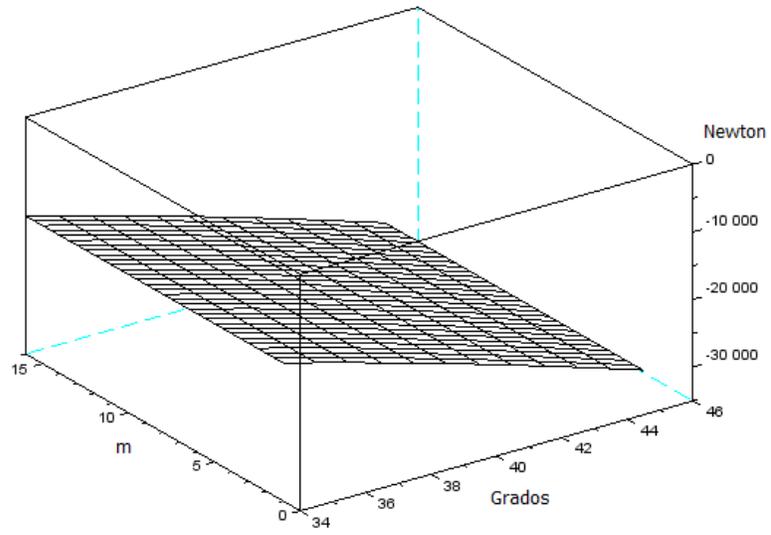


Figura 18. Gráfico de Rx3 según condiciones de caso 8.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a lo mostrado anteriormente, en el caso 6 y en el caso 7, la mayor carga soportada por los cojinetes de presión inferior se presenta cuando el ángulo es 34° y la fuerza se localiza a 16 metros. Sin embargo, el valor de dicha carga sólo alcanza los $4,7 \times 10^5$ Newtons.

De igual forma, también se evidencian similitudes entre los casos 1, 2 y 3. En dichos casos, la mayor reacción se obtiene cuando el ángulo es cercano a los 34° y la fuerza se localiza en su extremo más alto (16 metros). La mayor reacción presentada en la rueda de presión inferior se encuentra alrededor de $7,5 \times 10^5$ Newtons.

En la tabla 7, se muestra un resumen del comportamiento de las reacciones Rx3 y Rx6 (Reacciones sobre los rodamientos inferiores que presentaron la falla) a lo largo de diferentes condiciones de carga, en el caso 1.

Ángulo	Posición (m)	Rx3 (10^5 N)	Rx6 (10^5 N)
34°	1	-1,49	1,2
	3	-2,36	2,07
	5	-3,23	2,94
	7	-4,1	3,81
	9	-4,97	4,68
	11	-5,84	5,54
	13	-6,7	6,41
	15	-7,47	7,28
39°	1	-1,48	1,05
	3	-2,29	1,86
	5	-3,11	2,68
	7	-3,92	3,49
	9	-4,74	4,31
	11	-5,55	5,12
	13	-6,36	5,94
	15	-7,18	6,75

44°	1	-1,46	0,88
	3	-2,22	1,64
	5	2,97	2,39
	7	-3,72	3,14
	9	-4,48	3,9
	11	-5,23	4,65
	13	-5,98	5,41
	15	-6,74	6,16

Tabla 7. Tabla resumen comportamiento carga ruedas de presión inferiores en el caso 1.

Por el contrario, en los casos 4, 5 y 8; la mayor carga se obtiene cuando el ángulo es cercano a los 45° y es independiente de la posición de la fuerza. Los valores de carga soportada son inferiores a $6,2 \times 10^5$ Newtons.

7. ANÁLISIS VIDA ÚTIL DE COJINETE

De acuerdo con los documentos suministrados cada rueda contiene dos cojinetes con referencia SKF 6220 cuyas especificaciones se muestran a continuación:

Principal dimensions			Basic load ratings		Speed ratings	Limiting speed	Designation
d	D	B	dynamic C	static C ₀	Reference speed		
mm			kN		r/min		-
100	180	34	127	93	7500	4800	6220/C3VL0241

The figure contains two technical drawings of the SKF 6220 bearing. The left drawing shows the bearing with dimensions: B 34, r_{1,2min} 2,1, D₂ 160, d 100, D 180, and d₁ 125. The right drawing shows the bearing with dimensions: r_{amax} 2, D_{amax} 168, D_{amin} 165, r_{amax} 2, and d_{amin} 112. Below the drawings, the calculation factors are listed: k_r 0,025 and f₀ 14.

Figura 19. Especificaciones del cojinete SKF 6220¹²

Con estas especificaciones es posible determinar la vida de cada cojinete de acuerdo a la carga a la que está sometido. Para este caso se usará como carga la media cuadrática o RMS del conjunto de valores obtenidos como cargas teniendo en cuenta la variación del ángulo de inclinación del Active Rake y la distancia de la fuerza ejercida por la piedra caliza sobre la estructura.

¹² Tomado de la página de la empresa SKF: < <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/engineered-products/insocoat-bearings/deep-groove-ball-bearings-single-row-insocoat/index.html?prodid=1013010220>>

Adicionalmente se debe tener en cuenta que el diámetro de la rueda en la que está el par de cojinetes es de 315 mm¹³. Así la vida se determinó como:

El diámetro exterior de la rueda es de 315 mm, de forma tal que el perímetro del rodamiento es:

$$P = \pi * D \quad (25)$$

$$P = \pi * 0.315 \text{ m} = \mathbf{0.9896 \text{ m}} \quad (26)$$

Dónde:

P: perímetro del cojinete

D: Diametro exterior del cojinete

La longitud que recorre una rueda del Rake Car de forma horizontal de un extremo derecho a uno izquierdo y viceversa es de: **21.2 metros**

Otro parámetro considerado para este cálculo y que hace parte de las características de operación de la estructura es la velocidad máxima de movimiento del Active Rake, la cual es de:

$$v = 0.06 \text{ m/s}$$

Para conocer el número de vueltas que da la rueda, se tiene en consideración el perímetro del rodamiento y la longitud que recorre el Active Rake.

$$n = \frac{L}{P} \quad (27)$$

$$n = \frac{21.2 \frac{\text{m}}{\text{recorrido}}}{0.9896 \frac{\text{m}}{\text{vuelta}}} = \mathbf{21.422797 \frac{\text{vueltas}}{\text{recorrido}}} \quad (28)$$

Donde:

n: numero de vueltas del cojinete

L: Longitud horizontal recorrida por el Active Rake

¹³ Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000107- RAKE CAR SIDE PART. 07MC005-21-01-0801-0. FLSmidth-Wadgassen GmbH. Escala 1:25.

El tiempo que tarda el Active Rake en recorrer la distancia L, es:

$$t = \frac{L}{v} = \frac{21.2 \text{ m}}{0.06 \text{ m/s}} = \mathbf{353.333 \text{ segundos}} \quad (29)$$

Si se considera que el reclamador de caliza funciona las 24 horas del día, se tiene que el tiempo de operación es: 86400 segundos. Por lo tanto, el número de recorridos realizado por el Active Rake en un día es:

$$R = \frac{T}{t} \quad (30)$$

Dónde:

R: Numero de recorridos de longitud L realizado por el Active Rake

T: Tiempo de operacion del reclamador de caliza

$$R = \frac{86400 \frac{\text{s}}{\text{día}}}{353.333 \frac{\text{s}}{\text{recorrido}}} = \mathbf{244.5283 \frac{\text{recorrido}}{\text{día}}} \quad (31)$$

Sin embargo, de esos recorridos sólo en la mitad se ejerce presión sobre la rueda, así

$$R_{\text{útil}} = \mathbf{122.26415 \frac{\text{recorrido}}{\text{día}}} \quad (32)$$

Se establece el número de vueltas diaria considerando los valores de *n* y *R*, de la siguiente forma:

(33)

$$V = n * R$$

Dónde:

V: numero de vueltas diarias del cojinete

$$V = \left(21.422797 \frac{\text{vuelta}}{\text{recorrido}} \right) * \left(122.26415 \frac{\text{recorrido}}{\text{día}} \right) \quad (34)$$

Teniendo el cálculo para un periodo de 1 año, considerando 365 días, se tiene que el número *V* es:

(35)

$$V = \left(21.422797 \frac{\text{vuelta}}{\text{recorrido}}\right) * \left(122.26415 \frac{\text{recorrido}}{\text{día}}\right) * \left(365 \frac{\text{día}}{\text{año}}\right) = \mathbf{956022.624} \frac{\text{vuelta}}{\text{año}}$$

Efecto Carga-Vida del Cojinete

$$F_R(L_R n_R 60)^{1/a} = F_D(L_D n_D 60)^{1/a} \quad (36)$$

Dónde:

F_R : Clasificación de catalogo, lbf o kN

L_R : Vida nominal en horas

n_R : Velocidad nominal, rpm

F_D : Carga radial deseada

L_D : Vida deseada en horas

n_D : Velocidad deseada en rpm

$$F_R = \frac{F_D(L_D n_D 60)^{1/a}}{(L_R n_R 60)^{1/a}}$$

La compañía SKF clasifica sus cojinetes para un millón de revoluciones de manera que la vida L_{10} , que es lo mismo que $L_R n_R 60$ es de 10^6 revoluciones.

$$\frac{F_R}{F_D} = \left(\frac{N}{10^6}\right)^{1/a} \quad (37)$$

$$N = \left(\frac{F_R}{F_D}\right)^a * 10^6 \quad (38)$$

El valor de a es igual a 3, debido a que los cojinetes son de bolas. Y de acuerdo a especificaciones por el tipo de cojinete el valor de F_R es de 127 kN.

(39)

$$N = \left(\frac{127}{F_D} \right)^3 * 10^6$$

Para el caso 1, se obtiene un valor medio cuadrático (RMS) de la carga para la rueda, que es 274.43123 kN, debido a que cada rueda posee dos cojinetes es aceptable decir que cada cojinete soporta mitad de la carga, así un cojinete soporta 137.215615 kN; valor usado para determinar el número de revoluciones esperadas: (40)

$$N = \left(\frac{127}{137.215615} \right)^3 * 10^6 = 792867.3853 \text{ vueltas}$$

Para conocer la vida útil del cojinete se tiene,

$$N_1 = \frac{N}{V} \quad (41)$$

N_1 : Vida util del cojinete

$$N_1 = \frac{792867.3853 \text{ vuelta}}{956022.624 \frac{\text{vuelta}}{\text{año}}} = 0.829 \text{ años} \quad (42)$$

$$N_1 = 302 \text{ días}$$

El valor de la vida media se encuentra entre 4 y 5 veces el valor de la vida L10, que se consideró para hallar el valor N_1 anterior. De forma que para hallar el valor de la *vida media* se multiplica el valor anterior por 5.

$$N_1 = 302 \text{ días} * 5 = 1510 \text{ días}$$

Esos 1510 días equivalen a 4 años, y considerando el factor de utilización de 59%, el número de días que soporta el cojinete con la carga es de: 2588 días, que equivale a 7 años de uso.

En caso de considerar la *vida nominal*, el número de días de funcionamiento del cojinete o vida útil del mismo es de 302 días, y considerando el 59% de uso, se tiene que el número de días que soporta el cojinete con la carga es de: 518 días, lo que equivale a 1 año y 5 meses.

Cabe resaltar que para los dos casos obtenidos anteriormente el número de días hallado indica que el cojinete deba ser reemplazado porque se dañará, ya que como indica la teoría, a este tiempo (número de revoluciones) el cojinete presentará indicios de inicio de la falla.

8. CONCLUSIONES

- Se presenta una sobrecarga en la rueda de presión inferior. Debido a que la carga a la cual está sometido el rodamiento que ha fallado en la estructura del reclamador de caliza es igual a 137.215615 kN, superando las condiciones de diseño presentadas en la Figura 8., con las especificaciones del cojinete SKF 6220, donde se considera una carga dinámica de 127 kN. Por lo cual, se recomienda un cambio en la selección de los cojinetes de tal forma que la carga para la cual este diseñado iguale o supere las condiciones de carga a la que estará sometida la estructura. En tanto se sugiere, como se establece en la conclusión del estudio realizado por Markus Hoffmann Site Supervisor FLSmidth-Wadgassen GmbH y presentado a la empresa Cementos Argos, cambiar los cojinetes de bolas actuales, por cojinetes de rodillos. Que de acuerdo a la teoría estos soportan mayor carga radial.
- El cojinete falló antes del tiempo esperado. Evaluando la vida del cojinete según criterio L50 se esperaría que el cojinete presentara indicios de falla alrededor de los 7 años de operación. De modo que por el solo efecto de las cargas aplicadas se habría esperado la falla en un tiempo mayor, así que la falla prematura indica posibles ausencias de mantenimiento adecuado
- El tiempo prematuro de manifestación de la falla y el tipo de daño ocurrido, que fue la rotura de uno de los cojinetes de la estructura del reclamador de caliza, refuerza la teoría que la falla puede ser generada por mal mantenimiento del cojinete. Por lo cual, se deberán tener en cuenta temas relacionados con lubricación y limpieza de los cojinetes, dentro de las rutas críticas de planeación del mantenimiento del Rake Car y del reclamador de caliza en general.
- Este estudio puede ser continuado de forma más profunda realizando un estudio estocástico de la vida esperada del cojinete, teniendo en cuenta cargas variables sobre el mismo. Y realizando un trabajo de campo donde se pueda tener monitoreo de las cargas mediante el uso de celdas extensométricas, que funcionan mediante sensores para la

medición de cargas. Sin embargo, el análisis presentado en este trabajo contiene los elementos propios de un análisis de ingeniería para la evaluación de la vida útil de los cojinetes considerados.

- De acuerdo a los dos métodos utilizados para el cálculo de la vida del cojinete, el más empleado es el de vida nominal, en donde se determina la cantidad de revoluciones que el 90% de un conjunto de cojinetes sometidos a las mismas condiciones de carga y velocidad logra alcanzar o sobrepasar antes de que se cumpla el criterio de falla, dando un valor más relacionado a la realidad, con un resultado de 1 año y 5 meses, y que de acuerdo a la teoría de fatiga como fundamento, en donde se establece que si se presentan condiciones favorables de funcionamiento, se pueden superar los valores obtenidos por el método de vida nominal, pero debido a que para este caso la carga dinámica máxima permisible del rodamiento está siendo superada, dicha vida nominal no se extenderá.

BIBLIOGRAFÍA

- RICHARD G. BUDYNAS Y J. KEITH NISBETT. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Novena Edición. Capítulo 11. Cojinete de contacto rodante. 11-2. Vida de los cojinetes. Pág. 550.
- Scilab 5.5.1 es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>
- WxMaxima es una interface basado en documento para el sistema de algebra computacional Maxima. WxMaxima ofrece menús y diálogos para muchos comandos maxima comunes, autocompletados y animaciones simples. WxMaxima se distribuye bajo la licencia GPL. Disponible desde: <http://andrejv.github.io/wxmaxima/>
- AUTODESK INC., *AutoCAD 2015*. Descargado en: <http://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview> Programa computacional.
- Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000109-ACTIVE RAKE ARRANGEMENT. 07MC005-21-01-0901-0. FLSmidth-Wadgassen GmbH. Escala 1:25.
- Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000107-ACTIVE RAKE CAR ARRANGEMENT 07MC005-21-01-0701-0. FLSmidth-Wadgassen GmbH. Escala 1:25.
- Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000109-ACTIVE RAKE ARRANGEMENT. 07MC005-21-01-0901-0. FLSmidth-Wadgassen GmbH. Escala 1:25.

- Cementos Argos SA-Cartagena, Col LIMESTONE RECLAIMER 133.RE3000107-RAKE CAR ARRANGEMENT 07MC005-21-01-0701-0. FLSmidth-Wadgassen GmbH.
Escala 1:25.

ANEXOS

ANEXO 1: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE EVALUAR VALOR MEDIO CUADRÁTICO (RMS) DE LA FUERZA APLICADA EN EL COJINETE PARA EL CASO 1¹⁴

```
clc
clear

// Evaluar valor RMS de la fuerza aplicada al cojinete

Periodo= 32 // Tiempo para una repetición completa sinusoidal
Maximo = 800 //KiloNewtons
Minimo = 150 //KiloNewtons
Amplitud=(Maximo-Minimo)/2

function y=FuerzaCojinete(t)
    y=Minimo+Amplitud*sin(2*%pi*t/Periodo);
endfunction

function y=FuerzaCuadrado(t)
    y=(FuerzaCojinete(t))^2;
endfunction

FuerzaRMS=((1/Periodo)*intg(0,Periodo,FuerzaCuadrado))^(0.5)

mprintf ('Fuerza')
disp (FuerzaRMS)
```

¹⁴ Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

ANEXO 2: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 1¹⁵

```
clc  
clear
```

```
//Reacciones= [Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1]  
function Reacciones=CalcularReaccion(theta2d, pos)
```

```
theta2=theta2d*%pi /180  
st2=sin(theta2)  
ct2=cos(theta2)
```

```
PotCadena=7500 //en watts, motor que mueve el scraper del active rake  
VelCadena=0.5 //en m/s, velocidad del scraper del active rake  
F1=PotCadena/VelCadena //Fuerza generada por la piedra caliza//  
F2= F1//Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
Potencia=22000 //en watts, que mueve el rake car  
Velmin=0.06 //en m/s, velocidad mínima  
Facc=Potencia/Velmin
```

```
//active rake
```

```
cm1 =7.11026 //Distancia (Hipotenusa) del pivote hasta el centro de masa del cuerpo1 en m//  
c= cm1*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta el peso en m  
h=cm1*sin(theta2)//distancia vertical desde el pivote hasta el peso en m))
```

```
b= pos*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m  
f= pos*sin(theta2)//Distancia vertical desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
w= 10.930//Distancia (Hipotenusa) pivote hasta la tension en m en el active rake  
d=w*cos(theta2) //Distancia horizontal desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake  
e=w*sin(theta2) //Distancia vertical desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
a= 7.000//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el active  
rake en m
```

```
// rake car
```

```
g=0.880//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion inferior en m
```

¹⁵ Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

$i=3.280$ //distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion superior en m
 $j=0.675$ //distancia horizontal desde el punto 1 hasta la rueda de direccion en m
 $k=0.335$ //distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
 $l=4.189$ //distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
 $s=3.908$ //distancia vertical desde punto 1 hasta la rueda guia en m
 $n=0.95$ //distancia entre los puntos de pivotes y las ruedas guia en m
 $p=0.675$ //distancia horizontal entre el punto de pivote y el cable en m
 $q=8.378$ // dstancia vertical entre el punto de pivote y el cable en m
 $t= 8.900$ //Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el rake car en m

$\theta_1 = \text{atan}((q-e)/(p+d))$ //angulo del cable con la horizontal en funcion del ángulo θ_2

$T_c = 60605.441$
 $R_{y20} = 46581.804$
 $R_{x20} = -30302.721$

$st_1 = \text{sin}(\theta_1)$
 $ct_1 = \text{cos}(\theta_1)$

$W_1 = 9496.8 * 9.81$ //Peso de la estructura active rake, en N//
 $W_2 = 5363.2 * 9.81$ //Peso de la estructura rake car, en N

$R_{x1} = (ct_1 * (a * c * W_1 - 2 * b * e * F_{acc}) + (a * ct_1 * ct_2 * f - a * b * ct_1 * st_2) * F_2 + (ct_2 * (ct_1 * (a * f - 2 * a * e) - 2 * a * d * st_1) - a * b * ct_1 * st_2) * F_1 - 2 * b * d * F_{acc} * st_1) / (2 * a * d * st_1 + 2 * a * ct_1 * e)$

$R_{y1} = -(ct_1 * (2 * e * f * F_{acc} - a * e * W_1) + a * (c - d) * st_1 * W_1 + (a * ct_2 * f * st_1 - a * b * st_1 * st_2) * F_2 + (a * (2 * d - b) * st_1 * st_2 + 2 * a * ct_1 * e * st_2 + a * ct_2 * f * st_1) * F_1 + 2 * d * f * F_{acc} * st_1) / (2 * a * d * st_1 + 2 * a * ct_1 * e)$

$R_{z1} = F_{acc}$

$R_{x2} = (ct_1 * (a * c * W_1 + 2 * b * e * F_{acc}) + (ct_2 * (ct_1 * (a * f - 2 * a * e) - 2 * a * d * st_1) - a * b * ct_1 * st_2) * F_2 + (a * ct_1 * ct_2 * f - a * b * ct_1 * st_2) * F_1 + 2 * b * d * F_{acc} * st_1) / (2 * a * d * st_1 + 2 * a * ct_1 * e)$

$R_{y2} = -(ct_1 * (-a * e * W_1 - 2 * e * f * F_{acc}) + a * (c - d) * st_1 * W_1 + (a * (2 * d - b) * st_1 * st_2 + 2 * a * ct_1 * e * st_2 + a * ct_2 * f * st_1) * F_2 + (a * ct_2 * f * st_1 - a * b * st_1 * st_2) * F_1 - 2 * d * f * F_{acc} * st_1) / (2 * a * d * st_1 + 2 * a * ct_1 * e)$

$R_{x3} = (ct_1 * ((40 * c * n * q + 71 * e * n) * W_1 + e * (n * (40 * g - 40 * q) * T_c - 142 * n * R_{y20} + 80 * g * n * R_{x20} + F_{acc} * (71 * g - 71 * i)) + a * e * ((20 * i - 20 * g) * T_c + (40 * i - 40 * g) * R_{x20}) + b * e * F_{acc} * (40 * g - 40 * i)) + (71 * d * n - 40 * c * n * p) * st_1 * W_1 + ((40 * b * n * p - 71 * d * n) * st_1 * st_2 + ct_1 * (-40 * b * n * q - 71 * e * n) * st_2 + ct_2 * ((-40 * f * n * p - 40 * d * g * n) * st_1 + ct_1 * (40 * f * n * q - 40 * e * g * n))) * F_2 + ((40 * b * n * p - 71 * d * n) * st_1 * st_2 + ct_1 * (-40 * b * n * q - 71 * e * n) * st_2 + ct_2 * ((-40 * f * n * p - 40 * d * g * n + a * d * (40 * g - 40 * i)) * st_1 + ct_1 * (40 * f * n * q - 40 * e * g * n + a * e * (40 * g - 40 * i)))) * F_1 + st_1 * (d * (n * (40 * g - 40 * q) * T_c - 142 * n * R_{y20} + 80 * g * n * R_{x20} + F_{acc} * (71 * g - 71 * i)) + a * d * ((20 * i - 20 * g) * T_c + (40 * i - 40 * g) * R_{x20}) + b * d * F_{acc} * (40 * g - 40 * i)) / (a * d * (40 * i - 40 * g) * st_1 + a * ct_1 * e * (40 * i - 40 * g))$

$R_{x4} = 0$

$R_{y5} = (a * (W_2 + 2 * R_{y20}) - 2 * n * W_2 + (a - 2 * n) * W_1 + 2 * n * st_2 * F_2 + (2 * n - 2 * a) * st_2 * F_1 - 4 * n * R_{y20} + 2 * F_{acc} * l - 2 * f * F_{acc}) / (4 * a - 8 * n)$

```

Rx6=(ct1*((a*(40*c*q+71*e)-40*c*n*q-71*e*n)*W1+e*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-
80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*e*((-40*q+20*i+20*g)*Tc-
142*Ry20+(40*i+40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*i-40*g))+a*(71*d-40*c*p)+40*c*n*p-
71*d*n)*st1*W1+((a*(40*b*p-71*d)-40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-
71*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-40*a*p)+40*d*g*n-
40*a*d*i)*st1+ct1*(f*(40*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-40*a*e*i))*F2+((a*(40*b*p-71*d)-
40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-71*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-
40*a*p)+40*d*g*n-40*a*d*g)*st1+ct1*(f*(40*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-
40*a*e*g))*F1+st1*(d*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-
71*g))+a*d*((-40*q+20*i+20*g)*Tc-142*Ry20+(40*i+40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*i-
40*g))/(a*d*(40*i-40*g)*st1+a*ct1*e*(40*i-40*g))

```

```

Rx7=-(ct1*((40*c*q+71*e)*W1+e*((40*g-40*q)*Tc-142*Ry20+80*g*Rx20))+71*d-
40*c*p)*st1*W1+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-
40*d*g)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*g))*F2+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-
71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*g)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*g))*F1+d*st1*((40*g-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*g*Rx20))/(d*(40*i-40*g)*st1+ct1*e*(40*i-40*g))

```

```

Ry8=-(2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)

```

```

T=(c*W1+(ct2*f-b*st2)*F2+(ct2*f-b*st2)*F1)/(d*st1+ct1*e)

```

```

Fz1=Facc/2

```

```

Ry18=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)

```

```

Ry19=-(2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)

```

```

mprintf('theta2')

```

```

disp(theta2d)

```

```

mprintf('theta1')

```

```

disp(theta1d)

```

```

Reacciones=[Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1,Ry18,Ry19];
endfunction

```

```

X=(34:1:45)'

```

```

Y=(1:2:16)'

```

```

NumTet=length(X)

```

```

NumPos=length(Y)

```

```

mprintf('Igualando Rx4 y Rx7')

```

```

Cojinetes=[]

```

```

Errores=[]

```

```

for ii=1:NumTet

```

```

    for jj=1:NumPos

```

```

        Reacciones=CalcularReaccion(X(ii),Y(jj))

```

```
ZRx6(jj,ii)=Reacciones(9)
ZRx3(jj,ii)=Reacciones(6)
ZRy5(jj,ii)=Reacciones(8)
ZRy8(jj,ii)=Reacciones(11)
RCojinetes=Reacciones(1:15)
Cojinetes=[Cojinetes;RCojinetes]
end
end

scf()
mesh(X,Y,ZRx6)
title("Reaccion Rx6")
scf()
mesh(X,Y,ZRx3)
title("Reaccion Rx3")
scf()
mesh(X,Y,ZRy5)
title("Reaccion Ry5")
scf()
mesh(X,Y,ZRy8)
title("Reaccion Ry8")
```

ANEXO 3: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 2¹⁶

```
clc  
clear
```

```
//Reacciones= [Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1]  
function Reacciones=CalcularReaccion(theta2d, pos)
```

```
theta2=theta2d*%pi /180
```

```
st2=sin(theta2)
```

```
ct2=cos(theta2)
```

```
PotCadena=7500 //en watts, motor que mueve el scraper del active rake
```

```
VelCadena=0.5 //en m/s, velocidad del scraper del active rake
```

```
F1=PotCadena/VelCadena //Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
F2= F1//Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
Potencia=22000 //en watts, que mueve el rake car
```

```
Velmin=0.06 //en m/s, velocidad mínima
```

```
Facc=Potencia/Velmin
```

```
//active rake
```

```
cm1 =7.11026 //Distancia (Hipotenusa) del pivote hasta el centro de masa del cuerpo1 en m//
```

```
c= cm1*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta el peso en m
```

```
h=cm1*sin(theta2)//distancia vertical desde el pivote hasta el peso en m))
```

```
b= pos*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
f= pos*sin(theta2)//Distancia vertical desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
w= 10.930//Distancia (Hipotenusa) pivote hasta la tension en m en el active rake
```

```
d=w*cos(theta2) //Distancia horizontal desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
e=w*sin(theta2) //Distancia vertical desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
a= 7.000//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el active  
rake en m
```

¹⁶ Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

// rake car

g=0.880//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion inferior en m
i=3.280//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion superior en m
j=0.675//distancia horizontal desde el punto 1 hasta la rueda de direccion en m
k=0.335//distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
l=4.189//distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
s=3.908 //distancia vertical desde punto 1 hasta la rueda guia en m
n=0.95 //distancia entre los puntos de pivotes y las ruedas guia en m
p=0.675 //distancia horizontal entre el punto de pivote y el cable en m
q=8.378 // distancia vertical entre el punto de pivote y el cable en m
t= 8.900//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el rake
car en m

theta1d=atan((q-e)/(p+d)) //angulo del cable con la horizontal en funcion del ángulo theta2

Tc=60605.441
Ry20=46581.804
Rx20=-30302.721

st1=sind(theta1d)
ct1=cosd(theta1d)

W1= 9496.8*9.81//Peso de la estructura active rake, en N//
W2=5363.2*9.81//Peso de la estructura rake car, en N

Rx1=(ct1*(a*c*W1-2*b*e*Facc)+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F2+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-
2*a*d*st1)-a*b*ct1*st2)*F1-2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)

Ry1=-(ct1*(2*e*f*Facc-a*e*W1)+a*(c-d)*st1*W1+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F2+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F1+2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)

Rz1=Facc

Rx2=(ct1*(a*c*W1+2*b*e*Facc)+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-2*a*d*st1)-
a*b*ct1*st2)*F2+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F1+2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)

Ry2=-(ct1*(-a*e*W1-2*e*f*Facc)+a*(c-d)*st1*W1+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F2+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F1-
2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)

Rx3=(ct1*((a*(40*c*q+71*e)-40*c*n*q-71*e*n)*W1+e*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-
80*g*n*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*e*((-40*q+20*i+20*g)*Tc-
142*Ry20+(40*i+40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*g-40*i))+a*(71*d-40*c*p)+40*c*n*p-
71*d*n)*st1*W1+((a*(40*b*p-71*d)-40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-
71*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-40*a*p)+40*d*g*n-
40*a*d*g)*st1+ct1*(f*(40*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-40*a*e*g))*F2+((a*(40*b*p-71*d)-
40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-71*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-
40*a*p)+40*d*g*n-40*a*d*i)*st1+ct1*(f*(40*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-
40*a*e*i))*F1+st1*(d*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-80*g*n*Rx20+Facc*(71*g-

```

71*i))+a*d*((-40*q+20*i+20*g)*Tc-142*Ry20+(40*i+40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*g-
40*i)))/(a*d*(40*i-40*g)*st1+a*ct1*e*(40*i-40*g))
Rx4=-(ct1*((40*c*q+71*e)*W1+e*((40*g-40*q)*Tc-142*Ry20+80*g*Rx20))+(71*d-
40*c*p)*st1*W1+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-
40*d*g)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*g))*F2+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-
71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*g)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*g))*F1+d*st1*((40*g-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*g*Rx20))/(d*(40*i-40*g)*st1+ct1*e*(40*i-40*g))
Ry5=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
Rx6=(ct1*((40*c*n*q+71*e*n)*W1+e*(n*(40*g-40*q)*Tc-
142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*e*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-
40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*i-40*g))+71*d*n-40*c*n*p)*st1*W1+((40*b*n*p-
71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-40*d*g*n+a*d*(40*g-
40*i))*st1+ct1*(40*f*n*q-40*e*g*n+a*e*(40*g-40*i)))*F2+((40*b*n*p-
71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-
40*d*g*n)*st1+ct1*(40*f*n*q-40*e*g*n))*F1+st1*(d*(n*(40*g-40*q)*Tc-
142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*d*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-
40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*i-40*g))/(a*d*(40*i-40*g)*st1+a*ct1*e*(40*i-40*g))
Rx7=0
Ry8=-(2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
T=(c*W1+(ct2*f-b*st2)*F2+(ct2*f-b*st2)*F1)/(d*st1+ct1*e)
Fz1=Facc/2
Ry18=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
Ry19=-(2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)

```

```

Reacciones=[Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1,Ry18,Ry19];
endfunction

```

```

X=(34:1:45)'
Y=(1:0.5:16)'
NumTet=length(X)
NumPos=length(Y)

```

```

mprintf('Igualando Rx4 y Rx7')

```

```

Cojinetes=[]
Errores=[]
for ii=1:NumTet
    for jj=1:NumPos

```

```

        Reacciones=CalcularReaccion(X(ii),Y(jj))
        ZRx6(jj,ii)=Reacciones(9)
        ZRx3(jj,ii)=Reacciones(6)

```

```
ZRy5(jj,ii)=Reacciones(8)
ZRy8(jj,ii)=Reacciones(11)
RCojinetes=Reacciones(1:15)
Cojinetes=[Cojinetes;RCojinetes]
end
end

scf()
mesh(X,Y,ZRx6)
title("Reaccion Rx6")
scf()
mesh(X,Y,ZRx3)
title("Reaccion Rx3")
scf()
mesh(X,Y,ZRy5)
title("Reaccion Ry5")
scf()
mesh(X,Y,ZRy8)
title("Reaccion Ry8")
```

ANEXO 4: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 3¹⁷

```
clc  
clear
```

```
//Reacciones= [Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1]  
function Reacciones=CalcularReaccion(theta2d, pos)
```

```
theta2=theta2d*%pi /180
```

```
st2=sin(theta2)  
ct2=cos(theta2)
```

```
PotCadena=7500 //en watts, motor que mueve el scraper del active rake  
VelCadena=0.5 //en m/s, velocidad del scraper del active rake  
F1=PotCadena/VelCadena //Fuerza generada por la piedra caliza//  
F2= F1//Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
Potencia=22000 //en watts, que mueve el rake car  
Velmin=0.06 //en m/s, velocidad mínima  
Facc=Potencia/Velmin
```

```
//active rake
```

```
cm1 =7.11026 //Distancia (Hipotenusa) del pivote hasta el centro de masa del cuerpo1 en m//  
c= cm1*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta el peso en m  
h=cm1 *sin(theta2)//distancia vertical desde el pivote hasta el peso en m))
```

```
b= pos*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m  
f= pos*sin(theta2)//Distancia vertical desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
w= 10.930//Distancia (Hipotenusa) pivote hasta la tension en m en el active rake  
d=w*cos(theta2) //Distancia horizontal desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake  
e=w*sin(theta2) //Distancia vertical desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
a= 7.000//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el active  
rake en m
```

¹⁷ Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

// rake car

g=0.880//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion inferior en m
i=3.280//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion superior en m
j=0.675//distancia horizontal desde el punto 1 hasta la rueda de direccion en m
k=0.335//distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
l=4.189//distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
s=3.908 //distancia vertical desde punto 1 hasta la rueda guia en m
n=0.95 //distancia entre los puntos de pivotes y las ruedas guia en m
p=0.675 //distancia horizontal entre el punto de pivote y el cable en m
q=8.378 // distancia vertical entre el punto de pivote y el cable en m
t= 8.900//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el rake
car en m

theta1d=atan((q-e)/(p+d)) //angulo del cable con la horizontal en funcion del ángulo theta2

Tc=60605.441
Ry20=46581.804
Rx20=-30302.721

st1=sind(theta1d)
ct1=cosd(theta1d)

W1= 9496.8*9.81//Peso de la estructura active rake, en N//
W2=5363.2*9.81//Peso de la estructura rake car, en N

Rx1=(ct1*(a*c*W1-2*b*e*Facc)+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F2+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-
2*a*d*st1)-a*b*ct1*st2)*F1-2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Ry1=-(ct1*(2*e*f*Facc-a*e*W1)+a*(c-d)*st1*W1+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F2+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F1+2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Rz1=Facc
Rx2=(ct1*(a*c*W1+2*b*e*Facc)+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-2*a*d*st1)-
a*b*ct1*st2)*F2+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F1+2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Ry2=-(ct1*(-a*e*W1-2*e*f*Facc)+a*(c-d)*st1*W1+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F2+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F1-
2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Rx3=(ct1*(a*(40*c*q+71*e)*W1+a*e*((40*i-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*i*Rx20)+b*e*Facc*(80*g-80*i)+e*Facc*(142*g-142*i))+a*(71*d-
40*c*p)*st1*W1+(a*(40*b*p-71*d)*st1*st2+a*ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*a*f*p-
40*a*d*g)*st1+ct1*(40*a*f*q-40*a*e*g))*F2+(a*(40*b*p-71*d)*st1*st2+a*ct1*(-40*b*q-
71*e)*st2+ct2*((a*d*(40*g-80*i)-40*a*f*p)*st1+ct1*(40*a*f*q+a*e*(40*g-
80*i))))*F1+st1*(a*d*((40*i-40*q)*Tc-142*Ry20+80*i*Rx20)+b*d*Facc*(80*g-
80*i)+d*Facc*(142*g-142*i))/(a*d*(80*i-80*g)*st1+a*ct1*e*(80*i-80*g))
Rx4=-(ct1*((40*c*q+71*e)*W1+a*e*((40*g-40*q)*Tc-142*Ry20+80*g*Rx20))+71*d-
40*c*p)*st1*W1+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-

```

40*d*g)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*g))*F2+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-
71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*g)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*g))*F1+d*st1*((40*g-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*g*Rx20))/(d*(80*i-80*g)*st1+ct1*e*(80*i-80*g))
Ry5=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
Rx6=(ct1*(a*(40*c*q+71*e)*W1+a*e*((40*i-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*i*Rx20)+e*Facc*(142*i-142*g)+b*e*Facc*(80*i-80*g))+a*(71*d-
40*c*p)*st1*W1+(a*(40*b*p-71*d)*st1*st2+a*ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((a*d*(40*g-
80*i)-40*a*f*p)*st1+ct1*(40*a*f*q+a*e*(40*g-80*i))))*F2+(a*(40*b*p-
71*d)*st1*st2+a*ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*a*f*p-40*a*d*g)*st1+ct1*(40*a*f*q-
40*a*e*g))*F1+st1*(a*d*((40*i-40*q)*Tc-142*Ry20+80*i*Rx20)+d*Facc*(142*i-
142*g)+b*d*Facc*(80*i-80*g)))/(a*d*(80*i-80*g)*st1+a*ct1*e*(80*i-80*g))
Rx7=-(ct1*((40*c*q+71*e)*W1+e*((40*g-40*q)*Tc-142*Ry20+80*g*Rx20))+71*d-
40*c*p)*st1*W1+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-
40*d*g)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*g))*F2+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-
71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*g)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*g))*F1+d*st1*((40*g-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*g*Rx20))/(d*(80*i-80*g)*st1+ct1*e*(80*i-80*g))
Ry8=-(2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
T=(c*W1+(ct2*f-b*st2)*F2+(ct2*f-b*st2)*F1)/(d*st1+ct1*e)
Fz1=Facc/2
Ry18=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
Ry19=-(2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)

```

```

Reacciones=[Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1,Ry18,Ry19];
endfunction

```

```

X=(34:1:45)'
Y=(1:0.5:16)'
NumTet=length(X)
NumPos=length(Y)

```

```

mprintf('Igualando Rx4 y Rx7')

```

```

Cojinetes=[]
Errores=[]
for ii=1:NumTet
    for jj=1:NumPos

```

```

        Reacciones=CalcularReaccion(X(ii),Y(jj))
        ZRx6(jj,ii)=Reacciones(9)
        ZRx3(jj,ii)=Reacciones(6)
        ZRy5(jj,ii)=Reacciones(8)
        ZRy8(jj,ii)=Reacciones(11)

```

```
RCojinetes=Reacciones(1:15)
Cojinetes=[Cojinetes;RCojinetes]
end
end
```

```
scf()
mesh(X,Y,ZRx6)
title("Reaccion Rx6")
scf()
mesh(X,Y,ZRx3)
title("Reaccion Rx3")
scf()
mesh(X,Y,ZRy5)
title("Reaccion Ry5")
scf()
mesh(X,Y,ZRy8)
title("Reaccion Ry8")
```

ANEXO 5: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 4¹⁸

```
clc  
clear
```

```
//Reacciones= [Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1]  
function Reacciones=CalcularReaccion(theta2d, pos)
```

```
theta2=theta2d*%pi /180
```

```
st2=sin(theta2)
```

```
ct2=cos(theta2)
```

```
PotCadena=7500 //en watts, motor que mueve el scraper del active rake
```

```
VelCadena=0.5 //en m/s, velocidad del scraper del active rake
```

```
F1=PotCadena/VelCadena //Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
F2= F1//Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
Potencia=22000 //en watts, que mueve el rake car
```

```
Velmin=0.06 //en m/s, velocidad mínima
```

```
Facc=Potencia/Velmin
```

```
//active rake
```

```
cm1 =7.11026 //Distancia (Hipotenusa) del pivote hasta el centro de masa del cuerpo1 en m//
```

```
c= cm1*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta el peso en m
```

```
h=cm1 *sin(theta2)//distancia vertical desde el pivote hasta el peso en m))
```

```
b= pos*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra caliza en m
```

```
f= pos*sin(theta2)//Distancia vertical desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra caliza en m
```

```
w= 10.930//Distancia (Hipotenusa) pivote hasta la tension en m en el active rake
```

```
d=w*cos(theta2) //Distancia horizontal desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el active rake
```

```
e=w*sin(theta2) //Distancia vertical desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el active rake
```

```
a= 7.000//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el active rake en m
```

¹⁸ Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

// rake car

g=0.880//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion inferior en m
i=3.280//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion superior en m
j=0.675//distancia horizontal desde el punto 1 hasta la rueda de direccion en m
k=0.335//distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
l=4.189//distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
s=3.908 //distancia vertical desde punto 1 hasta la rueda guia en m
n=0.95 //distancia entre los puntos de pivotes y las ruedas guia en m
p=0.675 //distancia horizontal entre el punto de pivote y el cable en m
q=8.378 // distancia vertical entre el punto de pivote y el cable en m
t= 8.900//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el rake
car en m

theta1d=atan((q-e)/(p+d)) //angulo del cable con la horizontal en funcion del ángulo theta2

Tc=60605.441
Ry20=46581.804
Rx20=-30302.721

st1=sind(theta1d)
ct1=cosd(theta1d)

W1= 9496.8*9.81//Peso de la estructura active rake, en N//
W2=5363.2*9.81//Peso de la estructura rake car, en N

Rx1=(ct1*(a*c*W1-2*b*e*Facc)+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F2+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-
2*a*d*st1)-a*b*ct1*st2)*F1-2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)

Ry1=-(ct1*(2*e*f*Facc-a*e*W1)+a*(c-d)*st1*W1+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F2+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F1+2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)

Rz1=Facc

Rx2=(ct1*(a*c*W1+2*b*e*Facc)+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-2*a*d*st1)-
a*b*ct1*st2)*F2+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F1+2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)

Ry2=-(ct1*(-a*e*W1-2*e*f*Facc)+a*(c-d)*st1*W1+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F2+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F1-
2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)

Rx3=0

Rx4=(ct1*((40*c*n*q+71*e*n)*W1+e*(n*(40*g-40*q)*Tc-
142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*e*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-
40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*g-40*i))+71*d*n-40*c*n*p)*st1*W1+((40*b*n*p-
71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-
40*d*g*n)*st1+ct1*(40*f*n*q-40*e*g*n))*F2+((40*b*n*p-71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-
71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-40*d*g*n+a*d*(40*g-40*i))*st1+ct1*(40*f*n*q-
40*e*g*n+a*e*(40*g-40*i))*F1+st1*(d*(n*(40*g-40*q)*Tc-
142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*d*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-

$$40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*g-40*i))/((d*(80*g-80*i)^n+a*d*(40*i-40*g))^st1+ct1*(e*(80*g-80*i)^n+a*e*(40*i-40*g)))$$

$$Ry5=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)$$

$$Rx6=(ct1*((40*c*q+71*e)*W1+e*((40*i-40*q)*Tc-142*Ry20+80*i)*Rx20))+71*d-40*c*p)*st1*W1+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*i)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*i))*F2+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*i)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*i))*F1+d*st1*((40*i-40*q)*Tc-142*Ry20+80*i)*Rx20))/((d*(40*i-40*g))^st1+ct1*e*(40*i-40*g))$$

$$Rx7=-(ct1*((a*(40*c*q+71*e)-40*c*n*q-71*e*n)*W1+e*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-80*g*n)*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*e*((-40*q+20*i+20*g)*Tc-142*Ry20+(40*i+40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*g-40*i))+a*(71*d-40*c*p)+40*c*n*p-71*d*n)*st1*W1+((a*(40*b*p-71*d)-40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-71*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-40*a*p)+40*d*g*n-40*a*d*g)*st1+ct1*(f*(40*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-40*a*e*g))*F2+((a*(40*b*p-71*d)-40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-71*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-40*a*p)+40*d*g*n-40*a*d*i)*st1+ct1*(f*(40*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-40*a*e*i))*F1+st1*(d*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-80*g*n)*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*d*((-40*q+20*i+20*g)*Tc-142*Ry20+(40*i+40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*g-40*i))/((d*(80*g-80*i)^n+a*d*(40*i-40*g))^st1+ct1*(e*(80*g-80*i)^n+a*e*(40*i-40*g)))$$

$$Ry8=(-2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n), T=(c*W1+(ct2*f-b*st2)*F2+(ct2*f-b*st2)*F1)/(d*st1+ct1*e)$$

$$Fz1=Facc/2$$

$$Ry18=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)$$

$$Ry19=(-2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)$$

Reacciones=[Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1,Ry18,Ry19];
endfunction

X=(34:1:45)'

Y=(1:0.5:16)'

NumTet=length(X)

NumPos=length(Y)

mprintf('Igualando Rx4 y Rx7')

Cojinetes=[]

Errores=[]

for ii=1:NumTet

for jj=1:NumPos

Reacciones=CalcularReaccion(X(ii),Y(jj))

ZRx6(jj,ii)=Reacciones(9)

```
ZRx3(jj,ii)=Reacciones(6)
ZRy5(jj,ii)=Reacciones(8)
ZRy8(jj,ii)=Reacciones(11)
RCojinetes=Reacciones(1:15)
Cojinetes=[Cojinetes;RCojinetes]
end
end

scf()
mesh(X,Y,ZRx6)
title("Reaccion Rx6")
scf()
mesh(X,Y,ZRx3)
title("Reaccion Rx3")
scf()
mesh(X,Y,ZRy5)
title("Reaccion Ry5")
scf()
mesh(X,Y,ZRy8)
title("Reaccion Ry8")
```

ANEXO 6: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 5¹⁹

```
clc
clear

//Reacciones= [Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1]
function Reacciones=CalcularReaccion(theta2d, pos)

theta2=theta2d*%pi /180

st2=sin(theta2)
ct2=cos(theta2)

PotCadena=7500 //en watts, motor que mueve el scraper del active rake
VelCadena=0.5 //en m/s, velocidad del scraper del active rake
F1=PotCadena/VelCadena //Fuerza generada por la piedra caliza//
F2= F1//Fuerza generada por la piedra caliza//

Potencia=22000 //en watts, que mueve el rake car
Velmin=0.06 //en m/s, velocidad mínima
Facc=Potencia/Velmin

//active rake

cm1 =7.11026 //Distancia (Hipotenusa) del pivote hasta el centro de masa del cuerpo1 en m//
c= cm1*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta el peso en m
h=cm1*sin(theta2)//distancia vertical desde el pivote hasta el peso en m))

b= pos*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra
caliza en m
f= pos*sin(theta2)//Distancia vertical desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra
caliza en m

w= 10.930//Distancia (Hipotenusa) pivote hasta la tension en m en el active rake
d=w*cos(theta2) //Distancia horizontal desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el
active rake
e=w*sin(theta2) //Distancia vertical desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el
active rake
```

¹⁹ Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

$a=7.000$ //Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el active rake en m

// rake car

$g=0.880$ //distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion inferior en m

$i=3.280$ //distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion superior en m

$j=0.675$ //distancia horizontal desde el punto 1 hasta la rueda de direccion en m

$k=0.335$ //distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,

$l=4.189$ //distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,

$s=3.908$ //distancia vertical desde punto 1 hasta la rueda guia en m

$n=0.95$ //distancia entre los puntos de pivotes y las ruedas guia en m

$p=0.675$ //distancia horizontal entre el punto de pivote y el cable en m

$q=8.378$ // dstancia vertical entre el punto de pivote y el cable en m

$t=8.900$ //Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el rake car en m

$\theta_{1d}=\text{atand}((q-e)/(p+d))$ //angulo del cable con la horizontal en funcion del ángulo θ_{2}

$T_c=60605.441$

$R_{y20}=46581.804$

$R_{x20}=-30302.721$

$st1=\text{sind}(\theta_{1d})$

$ct1=\text{cosd}(\theta_{1d})$

$W1=9496.8*9.81$ //Peso de la estructura active rake, en N//

$W2=5363.2*9.81$ //Peso de la estructura rake car, en N

$R_{x1}=(ct1*(a*c*W1-2*b*e*F_{acc})+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F_2+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-2*a*d*st1)-a*b*ct1*st2)*F_1-2*b*d*F_{acc}*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)$

$R_{y1}=(ct1*(2*e*f*F_{acc}-a*e*W1)+a*(c-d)*st1*W1+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F_2+(a*(2*d-b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F_1+2*d*f*F_{acc}*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)$

$R_{z1}=F_{acc}$

$R_{x2}=(ct1*(a*c*W1+2*b*e*F_{acc})+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-2*a*d*st1)-a*b*ct1*st2)*F_2+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F_1+2*b*d*F_{acc}*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)$

$R_{y2}=(ct1*(-a*e*W1-2*e*f*F_{acc})+a*(c-d)*st1*W1+(a*(2*d-b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F_2+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F_1-2*d*f*F_{acc}*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)$

$R_{x3}=(ct1*((40*c*q+71*e)*W1+e*((40*i-40*q)*T_c-142*R_{y20}+80*i*R_{x20}))+((71*d-40*c*p)*st1*W1+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*i)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*i)))*F_2+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*i)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*i)))*F_1+d*st1*((40*i-40*q)*T_c-142*R_{y20}+80*i*R_{x20}))/((d*(40*i-40*g)*st1+ct1*e*(40*i-40*g))$

$R_{x4}=(ct1*((a*(40*c*q+71*e)-40*c*n*q-71*e*n)*W1+e*(n*(40*q-40*g)*T_c+142*n*R_{y20}-80*g*n*R_{x20}+F_{acc}*(71*i-71*g))+a*e*((-40*q+20*i+20*g)*T_c-$

```

142*Ry20+(40*i+40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*i-40*g))+(a*(71*d-40*c*p)+40*c*n*p-
71*d*n)*st1*W1+((a*(40*b*p-71*d)-40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-
71*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-40*a*p)+40*d*g*n-
40*a*d*i)*st1+ct1*(f*(40*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-40*a*e*i))*F2+((a*(40*b*p-71*d)-
40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-71*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-
40*a*p)+40*d*g*n-40*a*d*g)*st1+ct1*(f*(40*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-
40*a*e*g))*F1+st1*(d*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-
71*g))+a*d*((-40*q+20*i+20*g)*Tc-142*Ry20+(40*i+40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*i-
40*g))/((d*(80*g-80*i)*n+a*d*(40*i-40*g))*st1+ct1*(e*(80*g-80*i)*n+a*e*(40*i-40*g)))
Ry5=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
Rx6=0
Rx7=(ct1*((40*c*n*q+71*e*n)*W1+e*(n*(40*g-40*q)*Tc-
142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*e*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-
40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*i-40*g))+(71*d*n-40*c*n*p)*st1*W1+((40*b*n*p-
71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-40*d*g*n+a*d*(40*g-
40*i))*st1+ct1*(40*f*n*q-40*e*g*n+a*e*(40*g-40*i))*F2+((40*b*n*p-
71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-
40*d*g*n)*st1+ct1*(40*f*n*q-40*c*g*n))*F1+st1*(d*(n*(40*g-40*q)*Tc-
142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*d*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-
40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*i-40*g))/((d*(80*g-80*i)*n+a*d*(40*i-40*g))*st1+ct1*(e*(80*g-
80*i)*n+a*e*(40*i-40*g)))
Ry8=(-2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n),T=(c*W1+(ct2*f-b*st2)*F2+(ct2*f-
b*st2)*F1)/(d*st1+ct1*e)
Fz1=Facc/2
Ry18=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
Ry19=(-2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)

```

```

Reacciones=[Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1,Ry18,Ry19];
endfunction

```

```

X=(34:1:45)'
Y=(1:0.5:16)'

```

```

NumTet=length(X)
NumPos=length(Y)

```

```

mprintf('Igualando Rx4 y Rx7')

```

```

Cojinetes=[]
Errores=[]
for ii=1:NumTet
    for jj=1:NumPos

```

```
Reacciones=CalcularReaccion(X(ii),Y(jj))
ZRx6(jj,ii)=Reacciones(9)
ZRx3(jj,ii)=Reacciones(6)
ZRy5(jj,ii)=Reacciones(8)
ZRy8(jj,ii)=Reacciones(11)
RCojinetes=Reacciones(1:15)
Cojinetes=[Cojinetes;RCojinetes]
end
end
```

```
scf()
mesh(X,Y,ZRx6)
title("Reaccion Rx6")
scf()
mesh(X,Y,ZRx3)
title("Reaccion Rx3")
scf()
mesh(X,Y,ZRy5)
title("Reaccion Ry5")
scf()
mesh(X,Y,ZRy8)
title("Reaccion Ry8")
```

ANEXO 7: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 6²⁰

```
clc  
clear
```

```
//Reacciones= [Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1]  
function Reacciones=CalcularReaccion(theta2d, pos)
```

```
theta2=theta2d*%pi /180
```

```
st2=sin(theta2)
```

```
ct2=cos(theta2)
```

```
PotCadena=7500 //en watts, motor que mueve el scraper del active rake
```

```
VelCadena=0.5 //en m/s, velocidad del scraper del active rake
```

```
F1=PotCadena/VelCadena //Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
F2= F1//Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
Potencia=22000 //en watts, que mueve el rake car
```

```
Velmin=0.06 //en m/s, velocidad mínima
```

```
Facc=Potencia/Velmin
```

```
//active rake
```

```
cm1 =7.11026 //Distancia (Hipotenusa) del pivote hasta el centro de masa del cuerpo1 en m//
```

```
c= cm1*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta el peso en m
```

```
h=cm1 *sin(theta2)//distancia vertical desde el pivote hasta el peso en m))
```

```
b= pos*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
f= pos*sin(theta2)//Distancia vertical desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
w= 10.930//Distancia (Hipotenusa) pivote hasta la tension en m en el active rake
```

```
d=w*cos(theta2) //Distancia horizontal desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
e=w*sin(theta2) //Distancia vertical desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
a= 7.000//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el active  
rake en m
```

²⁰ Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

// rake car

g=0.880//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion inferior en m
i=3.280//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion superior en m
j=0.675//distancia horizontal desde el punto 1 hasta la rueda de direccion en m
k=0.335//distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
l=4.189//distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
s=3.908 //distancia vertical desde punto 1 hasta la rueda guia en m
n=0.95 //distancia entre los puntos de pivotes y las ruedas guia en m
p=0.675 //distancia horizontal entre el punto de pivote y el cable en m
q=8.378 // distancia vertical entre el punto de pivote y el cable en m
t= 8.900//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el rake
car en m

theta1d=atan((q-e)/(p+d)) //angulo del cable con la horizontal en funcion del ángulo theta2

Tc=60605.441
Ry20=46581.804
Rx20=-30302.721

st1=sind(theta1d)
ct1=cosd(theta1d)

W1= 9496.8*9.81//Peso de la estructura active rake, en N//
W2=5363.2*9.81//Peso de la estructura rake car, en N

Rx1=(ct1*(a*c*W1-2*b*e*Facc)+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F2+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-
2*a*d*st1)-a*b*ct1*st2)*F1-2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Ry1=-(ct1*(2*e*f*Facc-a*e*W1)+a*(c-d)*st1*W1+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F2+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F1+2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Rz1=Facc
Rx2=(ct1*(a*c*W1+2*b*e*Facc)+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-2*a*d*st1)-
a*b*ct1*st2)*F2+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F1+2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Ry2=-(ct1*(-a*e*W1-2*e*f*Facc)+a*(c-d)*st1*W1+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F2+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F1-
2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Rx3=(ct1*((a*(80*c*q+142*e)-120*c*n*q-213*e*n)*W1+e*(n*(120*q-80*i-
40*g)*Tc+426*n*Ry20+(-160*i-80*g)*n*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*e*((-
80*q+60*i+20*g)*Tc-284*Ry20+(120*i+40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*g-40*i))+a*(142*d-
80*c*p)+120*c*n*p-213*d*n)*st1*W1+((a*(80*b*p-142*d)-
120*b*n*p+213*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-80*b*q-
142*e)+120*b*n*q+213*e*n)*st2+ct2*((f*(120*n*p-80*a*p)+d*(80*i+40*g)*n+a*d*(-40*i-
40*g)*st1+ct1*(f*(80*a*q-120*n*q)+e*(80*i+40*g)*n+a*e*(-40*i-40*g))))*F2+((a*(80*b*p-
142*d)-120*b*n*p+213*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-80*b*q-
142*e)+120*b*n*q+213*e*n)*st2+ct2*((f*(120*n*p-80*a*p)+d*(80*i+40*g)*n-

$$80*a*d*i)*st1+ct1*(f*(80*a*q-120*n*q)+e*(80*i+40*g)*n-80*a*e*i))*F1+st1*(d*(n*(120*q-80*i-40*g)*Tc+426*n*Ry20+(-160*i-80*g)*n*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*d*((-80*q+60*i+20*g)*Tc-284*Ry20+(120*i+40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*g-40*i)))/((d*(80*g-80*i)*n+a*d*(80*i-80*g))*st1+ct1*(e*(80*g-80*i)*n+a*e*(80*i-80*g)))$$

$$Rx4=-(ct1*((a*(80*c*q+142*e)-40*c*n*q-71*e*n)*W1+e*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*e*((-80*q+20*i+60*g)*Tc-284*Ry20+(40*i+120*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*i-40*g))+a*(142*d-80*c*p)+40*c*n*p-71*d*n)*st1*W1+((a*(80*b*p-142*d)-40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-80*b*q-142*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-80*a*p)+40*d*g*n+a*d*(-40*i-40*g))*st1+ct1*(f*(80*a*q-40*n*q)+40*e*g*n+a*e*(-40*i-40*g))))*F2+((a*(80*b*p-142*d)-40*b*n*p+71*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-80*b*q-142*e)+40*b*n*q+71*e*n)*st2+ct2*((f*(40*n*p-80*a*p)+40*d*g*n-80*a*d*g)*st1+ct1*(f*(80*a*q-40*n*q)+40*e*g*n-80*a*e*g))*F1+st1*(d*(n*(40*q-40*g)*Tc+142*n*Ry20-80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*d*((-80*q+20*i+60*g)*Tc-284*Ry20+(40*i+120*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*i-40*g)))/((d*(80*g-80*i)*n+a*d*(80*i-80*g))*st1+ct1*(e*(80*g-80*i)*n+a*e*(80*i-80*g)))$$

$$Ry5=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)$$

$$Rx6=(ct1*((40*c*n*q+71*e*n)*W1+e*(n*(40*g-40*q)*Tc-142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*e*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*i-40*g))+71*d*n-40*c*n*p)*st1*W1+((40*b*n*p-71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-40*d*g*n+a*d*(40*g-40*i))*st1+ct1*(40*f*n*q-40*e*g*n+a*e*(40*g-40*i))))*F2+((40*b*n*p-71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-40*d*g*n)*st1+ct1*(40*f*n*q-40*e*g*n))*F1+st1*(d*(n*(40*g-40*q)*Tc-142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*d*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*i-40*g)))/((d*(80*g-80*i)*n+a*d*(80*i-80*g))*st1+ct1*(e*(80*g-80*i)*n+a*e*(80*i-80*g)))$$

$$Rx7=(ct1*((40*c*n*q+71*e*n)*W1+e*(n*(40*g-40*q)*Tc-142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*e*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*i-40*g))+71*d*n-40*c*n*p)*st1*W1+((40*b*n*p-71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-40*d*g*n+a*d*(40*g-40*i))*st1+ct1*(40*f*n*q-40*e*g*n+a*e*(40*g-40*i))))*F2+((40*b*n*p-71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-40*d*g*n)*st1+ct1*(40*f*n*q-40*e*g*n))*F1+st1*(d*(n*(40*g-40*q)*Tc-142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*i-71*g))+a*d*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-40*g)*Rx20)+b*d*Facc*(40*i-40*g)))/((d*(80*g-80*i)*n+a*d*(80*i-80*g))*st1+ct1*(e*(80*g-80*i)*n+a*e*(80*i-80*g)))$$

$$Ry8=-((2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n), T=(c*W1+(ct2*f-b*st2)*F2+(ct2*f-b*st2)*F1)/(d*st1+ct1*e)$$

$$Fz1=Facc/2$$

$$Ry18=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)$$

$$Ry19=-((2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)$$

```
Reacciones=[Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1,Ry18,Ry19];  
endfunction
```

```
X=(34:1:45)'  
Y=(1:0.5:16)'  
NumTet=length(X)  
NumPos=length(Y)
```

```
mprintf('Igualando Rx4 y Rx7')
```

```
Cojinetes=[]  
Errores=[]  
for ii=1:NumTet  
    for jj=1:NumPos  
  
        Reacciones=CalcularReaccion(X(ii),Y(jj))  
        ZRx6(jj,ii)=Reacciones(9)  
        ZRx3(jj,ii)=Reacciones(6)  
        ZRy5(jj,ii)=Reacciones(8)  
        ZRy8(jj,ii)=Reacciones(11)  
        RCojinetes=Reacciones(1:15)  
        Cojinetes=[Cojinetes;RCojinetes]  
    end  
end
```

```
scf()  
mesh(X,Y,ZRx6)  
title("Reaccion Rx6")  
scf()  
mesh(X,Y,ZRx3)  
title("Reaccion Rx3")  
scf()  
mesh(X,Y,ZRy5)  
title("Reaccion Ry5")  
scf()  
mesh(X,Y,ZRy8)  
title("Reaccion Ry8")
```

ANEXO 8: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 7²¹

```
clc  
clear
```

```
//Reacciones= [Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1]  
function Reacciones=CalcularReaccion(theta2d, pos)
```

```
theta2=theta2d*%pi /180
```

```
st2=sin(theta2)
```

```
ct2=cos(theta2)
```

```
PotCadena=7500 //en watts, motor que mueve el scraper del active rake
```

```
VelCadena=0.5 //en m/s, velocidad del scraper del active rake
```

```
F1=PotCadena/VelCadena //Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
F2= F1//Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
Potencia=22000 //en watts, que mueve el rake car
```

```
Velmin=0.06 //en m/s, velocidad mínima
```

```
Facc=Potencia/Velmin
```

```
//active rake
```

```
cm1 =7.11026 //Distancia (Hipotenusa) del pivote hasta el centro de masa del cuerpo1 en m//
```

```
c= cm1*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta el peso en m
```

```
h=cm1*sin(theta2)//distancia vertical desde el pivote hasta el peso en m))
```

```
b= pos*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
f= pos*sin(theta2)//Distancia vertical desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
w= 10.930//Distancia (Hipotenusa) pivote hasta la tension en m en el active rake
```

```
d=w*cos(theta2) //Distancia horizontal desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
e=w*sin(theta2) //Distancia vertical desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
a= 7.000//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el active  
rake en m
```

²¹ Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

// rake car

g=0.880//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion inferior en m
i=3.280//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion superior en m
j=0.675//distancia horizontal desde el punto 1 hasta la rueda de direccion en m
k=0.335//distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
l=4.189//distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
s=3.908 //distancia vertical desde punto 1 hasta la rueda guia en m
n=0.95 //distancia entre los puntos de pivotes y las ruedas guia en m
p=0.675 //distancia horizontal entre el punto de pivote y el cable en m
q=8.378 // distancia vertical entre el punto de pivote y el cable en m
t= 8.900//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el rake
car en m

theta1d=atan((q-e)/(p+d)) //angulo del cable con la horizontal en funcion del ángulo theta2

Tc=60605.441
Ry20=46581.804
Rx20=-30302.721

st1=sind(theta1d)
ct1=cosd(theta1d)

W1= 9496.8*9.81//Peso de la estructura active rake, en N//
W2=5363.2*9.81//Peso de la estructura rake car, en N

Rx1=(ct1*(a*c*W1-2*b*e*Facc)+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F2+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-
2*a*d*st1)-a*b*ct1*st2)*F1-2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Ry1=-(ct1*(2*e*f*Facc-a*e*W1)+a*(c-d)*st1*W1+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F2+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F1+2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Rz1=Facc
Rx2=(ct1*(a*c*W1+2*b*e*Facc)+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-2*a*d*st1)-
a*b*ct1*st2)*F2+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F1+2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Ry2=-(ct1*(-a*e*W1-2*e*f*Facc)+a*(c-d)*st1*W1+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F2+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F1-
2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Rx3=(ct1*((40*c*n*q+71*e*n)*W1+e*(n*(40*g-40*q)*Tc-
142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*e*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-
40*g)*Rx20)+b*e*Facc*(40*g-40*i))+71*d*n-40*c*n*p)*st1*W1+((40*b*n*p-
71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-
40*d*g*n)*st1+ct1*(40*f*n*q-40*c*g*n))*F2+((40*b*n*p-71*d*n)*st1*st2+ct1*(-40*b*n*q-
71*e*n)*st2+ct2*((-40*f*n*p-40*d*g*n+a*d*(40*g-40*i))*st1+ct1*(40*f*n*q-
40*e*g*n+a*e*(40*g-40*i)))*F1+st1*(d*(n*(40*g-40*q)*Tc-
142*n*Ry20+80*g*n*Rx20+Facc*(71*g-71*i))+a*d*((20*i-20*g)*Tc+(40*i-

$$40^*g)^*Rx20)+b^*d^*Facc^*(40^*g-40^*i))/((d^*(80^*g-80^*i)^*n+a^*d^*(80^*i-80^*g))^*st1+ct1^*(e^*(80^*g-80^*i)^*n+a^*e^*(80^*i-80^*g)))$$

$$Rx4=(ct1^*((40^*c^*n^*q+71^*e^*n)^*W1+e^*(n^*(40^*g-40^*q)^*Tc-142^*n^*Ry20+80^*g^*n^*Rx20+Facc^*(71^*g-71^*i))+a^*e^*((20^*i-20^*g)^*Tc+(40^*i-40^*g)^*Rx20)+b^*e^*Facc^*(40^*g-40^*i))+71^*d^*n-40^*c^*n^*p)^*st1^*W1+((40^*b^*n^*p-71^*d^*n)^*st1^*st2+ct1^*(-40^*b^*n^*q-71^*e^*n)^*st2+ct2^*((-40^*f^*n^*p-40^*d^*g^*n)^*st1+ct1^*(40^*f^*n^*q-40^*e^*g^*n))^*F2+((40^*b^*n^*p-71^*d^*n)^*st1^*st2+ct1^*(-40^*b^*n^*q-71^*e^*n)^*st2+ct2^*((-40^*f^*n^*p-40^*d^*g^*n+a^*d^*(40^*g-40^*i))^*st1+ct1^*(40^*f^*n^*q-40^*e^*g^*n+a^*e^*(40^*g-40^*i))))^*F1+st1^*(d^*(n^*(40^*g-40^*q)^*Tc-142^*n^*Ry20+80^*g^*n^*Rx20+Facc^*(71^*g-71^*i))+a^*d^*((20^*i-20^*g)^*Tc+(40^*i-40^*g)^*Rx20)+b^*d^*Facc^*(40^*g-40^*i))/((d^*(80^*g-80^*i)^*n+a^*d^*(80^*i-80^*g))^*st1+ct1^*(e^*(80^*g-80^*i)^*n+a^*e^*(80^*i-80^*g)))$$

$$Ry5=(a^*(W2+2^*Ry20)-2^*n^*W2+(a-2^*n)^*W1+2^*n^*st2^*F2+(2^*n-2^*a)^*st2^*F1-4^*n^*Ry20+2^*Facc^*l-2^*f^*Facc)/(4^*a-8^*n)$$

$$Rx6=(ct1^*((a^*(80^*c^*q+142^*e)-120^*c^*n^*q-213^*e^*n)^*W1+e^*(n^*(120^*q-80^*i-40^*g)^*Tc+426^*n^*Ry20+(-160^*i-80^*g)^*n^*Rx20+Facc^*(71^*i-71^*g))+a^*e^*((80^*q+60^*i+20^*g)^*Tc-284^*Ry20+(120^*i+40^*g)^*Rx20)+b^*e^*Facc^*(40^*i-40^*g))+a^*(142^*d-80^*c^*p)+120^*c^*n^*p-213^*d^*n)^*st1^*W1+((a^*(80^*b^*p-142^*d)-120^*b^*n^*p+213^*d^*n)^*st1^*st2+ct1^*(a^*(-80^*b^*q-142^*e)+120^*b^*n^*q+213^*e^*n)^*st2+ct2^*((f^*(120^*n^*p-80^*a^*p)+d^*(80^*i+40^*g)^*n-80^*a^*d^*i)^*st1+ct1^*(f^*(80^*a^*q-120^*n^*q)+e^*(80^*i+40^*g)^*n-80^*a^*e^*i))^*F2+((a^*(80^*b^*p-142^*d)-120^*b^*n^*p+213^*d^*n)^*st1^*st2+ct1^*(a^*(-80^*b^*q-142^*e)+120^*b^*n^*q+213^*e^*n)^*st2+ct2^*((f^*(120^*n^*p-80^*a^*p)+d^*(80^*i+40^*g)^*n+a^*d^*(-40^*i-40^*g))^*st1+ct1^*(f^*(80^*a^*q-120^*n^*q)+e^*(80^*i+40^*g)^*n+a^*e^*(-40^*i-40^*g))))^*F1+st1^*(d^*(n^*(120^*q-80^*i-40^*g)^*Tc+426^*n^*Ry20+(-160^*i-80^*g)^*n^*Rx20+Facc^*(71^*i-71^*g))+a^*d^*((-80^*q+60^*i+20^*g)^*Tc-284^*Ry20+(120^*i+40^*g)^*Rx20)+b^*d^*Facc^*(40^*i-40^*g))/((d^*(80^*g-80^*i)^*n+a^*d^*(80^*i-80^*g))^*st1+ct1^*(e^*(80^*g-80^*i)^*n+a^*e^*(80^*i-80^*g)))$$

$$Rx7=(ct1^*((a^*(80^*c^*q+142^*e)-40^*c^*n^*q-71^*e^*n)^*W1+e^*(n^*(40^*q-40^*g)^*Tc+142^*n^*Ry20-80^*g^*n^*Rx20+Facc^*(71^*g-71^*i))+a^*e^*((-80^*q+20^*i+60^*g)^*Tc-284^*Ry20+(40^*i+120^*g)^*Rx20)+b^*e^*Facc^*(40^*g-40^*i))+a^*(142^*d-80^*c^*p)+40^*c^*n^*p-71^*d^*n)^*st1^*W1+((a^*(80^*b^*p-142^*d)-40^*b^*n^*p+71^*d^*n)^*st1^*st2+ct1^*(a^*(-80^*b^*q-142^*e)+40^*b^*n^*q+71^*e^*n)^*st2+ct2^*((f^*(40^*n^*p-80^*a^*p)+40^*d^*g^*n-80^*a^*d^*g)^*st1+ct1^*(f^*(80^*a^*q-40^*n^*q)+40^*e^*g^*n-80^*a^*e^*g))^*F2+((a^*(80^*b^*p-142^*d)-40^*b^*n^*p+71^*d^*n)^*st1^*st2+ct1^*(a^*(-80^*b^*q-142^*e)+40^*b^*n^*q+71^*e^*n)^*st2+ct2^*((f^*(40^*n^*p-80^*a^*p)+40^*d^*g^*n+a^*d^*(-40^*i-40^*g))^*st1+ct1^*(f^*(80^*a^*q-40^*n^*q)+40^*e^*g^*n+a^*e^*(-40^*i-40^*g))))^*F1+st1^*(d^*(n^*(40^*q-40^*g)^*Tc+142^*n^*Ry20-80^*g^*n^*Rx20+Facc^*(71^*g-71^*i))+a^*d^*((-80^*q+20^*i+60^*g)^*Tc-284^*Ry20+(40^*i+120^*g)^*Rx20)+b^*d^*Facc^*(40^*g-40^*i))/((d^*(80^*g-80^*i)^*n+a^*d^*(80^*i-80^*g))^*st1+ct1^*(e^*(80^*g-80^*i)^*n+a^*e^*(80^*i-80^*g)))$$

$$Ry8=(-2^*n^*W2+a^*(-W2-2^*Ry20)+(2^*n-a)^*W1+(2^*a-2^*n)^*st2^*F2-2^*n^*st2^*F1+4^*n^*Ry20+2^*Facc^*l-2^*f^*Facc)/(4^*a-8^*n),T=(c^*W1+(ct2^*f-b^*st2)^*F2+(ct2^*f-b^*st2)^*F1)/(d^*st1+ct1^*e)$$

$$Fz1=Facc/2$$

$$Ry18=(a^*(W2+2^*Ry20)-2^*n^*W2+(a-2^*n)^*W1+2^*n^*st2^*F2+(2^*n-2^*a)^*st2^*F1-4^*n^*Ry20+2^*Facc^*l-2^*f^*Facc)/(4^*a-8^*n)$$

$$Ry19 = -(2*n*W2 + a*(-W2 - 2*Ry20) + (2*n-a)*W1 + (2*a-2*n)*st2*F2 - 2*n*st2*F1 + 4*n*Ry20 + 2*Facc*1 - 2*f*Facc) / (4*a - 8*n)$$

```
Reacciones=[Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1,Ry18,Ry19];
endfunction
```

```
X=(34:1:45)'
Y=(1:0.5:16)'
NumTet=length(X)
NumPos=length(Y)
```

```
mprintf('Igualando Rx4 y Rx7')
```

```
Cojinetes=[]
Errores=[]
for ii=1:NumTet
    for jj=1:NumPos

        Reacciones=CalcularReaccion(X(ii),Y(jj))
        ZRx6(jj,ii)=Reacciones(9)
        ZRx3(jj,ii)=Reacciones(6)
        ZRy5(jj,ii)=Reacciones(8)
        ZRy8(jj,ii)=Reacciones(11)
        RCojinetes=Reacciones(1:15)
        Cojinetes=[Cojinetes;RCojinetes]
    end
end
```

```
scf()
mesh(X,Y,ZRx6)
title("Reaccion Rx6")
scf()
mesh(X,Y,ZRx3)
title("Reaccion Rx3")
scf()
mesh(X,Y,ZRy5)
title("Reaccion Ry5")
scf()
mesh(X,Y,ZRy8)
title("Reaccion Ry8")
```

ANEXO 9: CÓDIGO SCILAB QUE PERMITE OBTENER VALORES Y GRÁFICO DE LA CARGA APLICADA EN RUEDA DE PRESIÓN INFERIOR CONSIDERANDO EL CASO 8²²

```
clc  
clear
```

```
//Reacciones= [Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1]  
function Reacciones=CalcularReaccion(theta2d, pos)
```

```
theta2=theta2d*%pi /180
```

```
st2=sin(theta2)  
ct2=cos(theta2)
```

```
PotCadena=7500 //en watts, motor que mueve el scraper del active rake  
VelCadena=0.5 //en m/s, velocidad del scraper del active rake  
F1=PotCadena/VelCadena //Fuerza generada por la piedra caliza//  
F2= F1//Fuerza generada por la piedra caliza//
```

```
Potencia=22000 //en watts, que mueve el rake car  
Velmin=0.06 //en m/s, velocidad mínima  
Facc=Potencia/Velmin
```

```
//active rake
```

```
cm1 =7.11026 //Distancia (Hipotenusa) del pivote hasta el centro de masa del cuerpo1 en m//  
c= cm1*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta el peso en m  
h=cm1 *sin(theta2)//distancia vertical desde el pivote hasta el peso en m))
```

```
b= pos*cos(theta2)//Distancia horizontal desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m  
f= pos*sin(theta2)//Distancia vertical desde el pivote hasta la fuerza ejercida por la piedra  
caliza en m
```

```
w= 10.930//Distancia (Hipotenusa) pivote hasta la tension en m en el active rake  
d=w*cos(theta2) //Distancia horizontal desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake  
e=w*sin(theta2) //Distancia vertical desde el pivote hasta el cable tensionado en m en el  
active rake
```

```
a= 7.000//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el active  
rake en m
```

²² Este código ha sido escrito con Scilab 5.5.1 que es un paquete de software libre y de código abierto distribuido con la licencia CeCILL – GPL compatible. Desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible desde: <http://www.scilab.org>

// rake car

g=0.880//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion inferior en m
i=3.280//distancia vertical desde el punto 1 hasta la rueda de presion superior en m
j=0.675//distancia horizontal desde el punto 1 hasta la rueda de direccion en m
k=0.335//distancia horizontal desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
l=4.189//distancia vertical desde el punto 1 hasta el centro de masa del cuerpo 2,
s=3.908 //distancia vertical desde punto 1 hasta la rueda guia en m
n=0.95 //distancia entre los puntos de pivotes y las ruedas guia en m
p=0.675 //distancia horizontal entre el punto de pivote y el cable en m
q=8.378 // distancia vertical entre el punto de pivote y el cable en m
t= 8.900//Distancia entre centros de pivotes (Donde se presentan las reacciones) en el rake
car en m

theta1d=atan((q-e)/(p+d)) //angulo del cable con la horizontal en funcion del ángulo theta2

Tc=60605.441
Ry20=46581.804
Rx20=-30302.721

st1=sind(theta1d)
ct1=cosd(theta1d)

W1= 9496.8*9.81//Peso de la estructura active rake, en N//
W2=5363.2*9.81//Peso de la estructura rake car, en N

Rx1=(ct1*(a*c*W1-2*b*e*Facc)+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F2+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-
2*a*d*st1)-a*b*ct1*st2)*F1-2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Ry1=-(ct1*(2*e*f*Facc-a*e*W1)+a*(c-d)*st1*W1+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F2+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F1+2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Rz1=Facc
Rx2=(ct1*(a*c*W1+2*b*e*Facc)+(ct2*(ct1*(a*f-2*a*e)-2*a*d*st1)-
a*b*ct1*st2)*F2+(a*ct1*ct2*f-a*b*ct1*st2)*F1+2*b*d*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Ry2=-(ct1*(-a*e*W1-2*e*f*Facc)+a*(c-d)*st1*W1+(a*(2*d-
b)*st1*st2+2*a*ct1*e*st2+a*ct2*f*st1)*F2+(a*ct2*f*st1-a*b*st1*st2)*F1-
2*d*f*Facc*st1)/(2*a*d*st1+2*a*ct1*e)
Rx3=(ct1*((40*c*q+71*e)*W1+e*((40*i-40*q)*Tc-142*Ry20+80*i*Rx20))+71*d-
40*c*p)*st1*W1+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-
40*d*i)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*i))*F2+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-
71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*i)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*i))*F1+d*st1*((40*i-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*i*Rx20))/(d*(80*i-80*g)*st1+ct1*e*(80*i-80*g))
Rx4=-(ct1*((a*(40*c*q+71*e)-80*c*n*q-142*e*n)*W1+e*(n*(80*q-
80*g)*Tc+284*n*Ry20-160*g*n*Rx20+Facc*(142*i-142*g))+a*e*((40*g-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*g*Rx20)+b*e*Facc*(80*i-80*g))+a*(71*d-40*c*p)+80*c*n*p-
142*d*n)*st1*W1+((a*(40*b*p-71*d)-80*b*n*p+142*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-

```

71*e)+80*b*n*q+142*e*n)*st2+ct2*((f*(80*n*p-40*a*p)+80*d*g*n-
40*a*d*i)*st1+ct1*(f*(40*a*q-80*n*q)+80*e*g*n-40*a*e*i))*F2+((a*(40*b*p-71*d)-
80*b*n*p+142*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-
71*e)+80*b*n*q+142*e*n)*st2+ct2*((f*(80*n*p-40*a*p)+80*d*g*n+a*d*(40*i-
80*g))*st1+ct1*(f*(40*a*q-80*n*q)+80*e*g*n+a*e*(40*i-80*g)))*F1+st1*(d*(n*(80*q-
80*g)*Tc+284*n*Ry20-160*g*n*Rx20+Facc*(142*i-142*g))+a*d*((40*g-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*g*Rx20)+b*d*Facc*(80*i-80*g))/((d*(160*g-160*i)*n+a*d*(80*i-
80*g))*st1+ct1*(e*(160*g-160*i)*n+a*e*(80*i-80*g)))
Ry5=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
Rx6=(ct1*((40*c*q+71*e)*W1+e*((40*i-40*q)*Tc-142*Ry20+80*i*Rx20))+71*d-
40*c*p)*st1*W1+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-
40*d*i)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*i))*F2+((40*b*p-71*d)*st1*st2+ct1*(-40*b*q-
71*e)*st2+ct2*((-40*f*p-40*d*i)*st1+ct1*(40*f*q-40*e*i))*F1+d*st1*((40*i-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*i*Rx20))/(d*(80*i-80*g)*st1+ct1*e*(80*i-80*g))
Rx7=-(ct1*((a*(40*c*q+71*e)-80*c*n*q-142*e*n)*W1+e*(n*(80*q-
80*g)*Tc+284*n*Ry20-160*g*n*Rx20+Facc*(142*g-142*i))+a*e*((40*g-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*g*Rx20)+b*e*Facc*(80*g-80*i))+a*(71*d-40*c*p)+80*c*n*p-
142*d*n)*st1*W1+((a*(40*b*p-71*d)-80*b*n*p+142*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-
71*e)+80*b*n*q+142*e*n)*st2+ct2*((f*(80*n*p-40*a*p)+80*d*g*n+a*d*(40*i-
80*g))*st1+ct1*(f*(40*a*q-80*n*q)+80*e*g*n+a*e*(40*i-80*g)))*F2+((a*(40*b*p-71*d)-
80*b*n*p+142*d*n)*st1*st2+ct1*(a*(-40*b*q-
71*e)+80*b*n*q+142*e*n)*st2+ct2*((f*(80*n*p-40*a*p)+80*d*g*n-
40*a*d*i)*st1+ct1*(f*(40*a*q-80*n*q)+80*e*g*n-40*a*e*i))*F1+st1*(d*(n*(80*q-
80*g)*Tc+284*n*Ry20-160*g*n*Rx20+Facc*(142*g-142*i))+a*d*((40*g-40*q)*Tc-
142*Ry20+80*g*Rx20)+b*d*Facc*(80*g-80*i))/((d*(160*g-160*i)*n+a*d*(80*i-
80*g))*st1+ct1*(e*(160*g-160*i)*n+a*e*(80*i-80*g)))
Ry8=-(2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n),T=(c*W1+(ct2*f-b*st2)*F2+(ct2*f-
b*st2)*F1)/(d*st1+ct1*e)
Fz1=Facc/2
Ry18=(a*(W2+2*Ry20)-2*n*W2+(a-2*n)*W1+2*n*st2*F2+(2*n-2*a)*st2*F1-
4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)
Ry19=-(2*n*W2+a*(-W2-2*Ry20)+(2*n-a)*W1+(2*a-2*n)*st2*F2-
2*n*st2*F1+4*n*Ry20+2*Facc*1-2*f*Facc)/(4*a-8*n)

```

```

Reacciones=[Rx1,Ry1,Rz1,Rx2,Ry2,Rx3,Rx4,Ry5,Rx6,Rx7,Ry8,T,Fz1,Ry18,Ry19];
endfunction

```

```

X=(34:1:45)'
Y=(1:0.5:16)'
NumTet=length(X)
NumPos=length(Y)

```

```

mprintf('Igualando Rx4 y Rx7')

```

```

Cojinetes=[]
Errores=[]
for ii=1:NumTet
    for jj=1:NumPos

        Reacciones=CalcularReaccion(X(ii),Y(jj))
        ZRx6(jj,ii)=Reacciones(9)
        ZRx3(jj,ii)=Reacciones(6)
        ZRy5(jj,ii)=Reacciones(8)
        ZRy8(jj,ii)=Reacciones(11)
        RCojinetes=Reacciones(1:15)
        Cojinetes=[Cojinetes;RCojinetes]
    end
end

scf()
mesh(X,Y,ZRx6)
title("Reaccion Rx6")
scf()
mesh(X,Y,ZRx3)
title("Reaccion Rx3")
scf()
mesh(X,Y,ZRy5)
title("Reaccion Ry5")
scf()
mesh(X,Y,ZRy8)
title("Reaccion Ry8")

```