

Anexo B

Viga entre los nodos 24-25 y 29-26

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos y la medida de las vigas. En la miniatura de la derecha se puede observar las vigas calculadas.

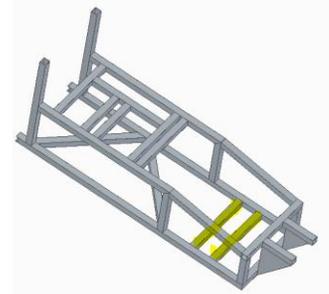
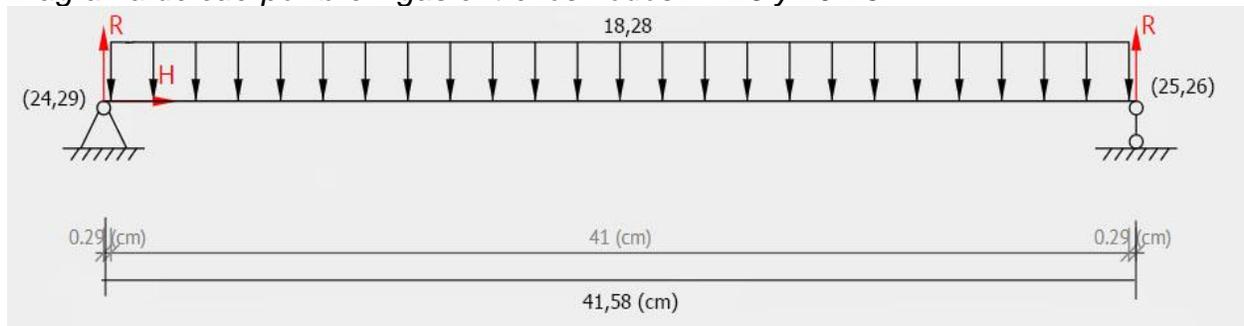


Figura 1

Diagrama de cuerpo libre vigas entre los nodos 24-25 y 29-26.



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

La fuerza distribuida de 18,28 N*cm se obtuvo al dividir la carga del tanque de almacenamiento (588,6 N) por el área que estaba en contacto con la viga (0,13 m²), luego se multiplica por la longitud que se encuentra en contacto con la viga (0,41 m) para obtener la carga distribuida correspondiente.

Para el análisis de la fuerza y de los momentos la carga distribuida se convirtió en una carga puntual con una magnitud de 749,48N y se utilizaron las siguientes formulas.

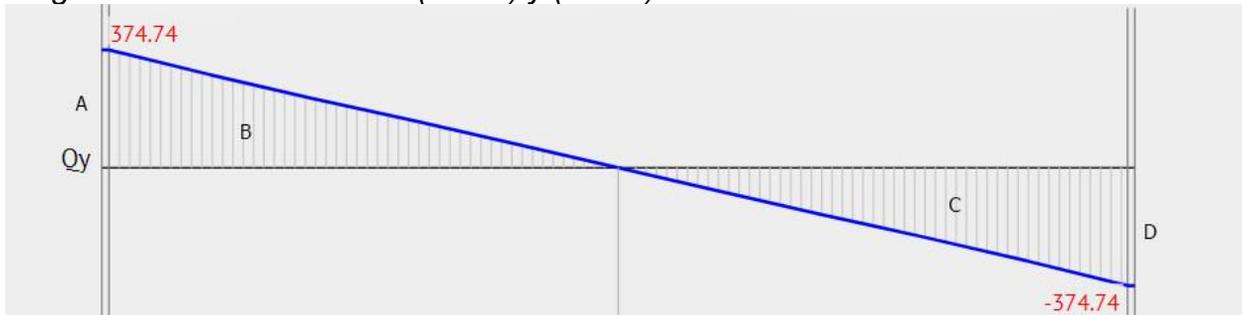
$$\sum F_y = R(24,29) - 749,48N + R(25,26)$$
$$+\circlearrowleft \sum M(24,29) = -749,48N \times 20,79cm + R(25,26) \times 41,58cm$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 374,71N para la reacción en los cuatro nodos analizados.

Con los valores obtenidos anteriormente se construyó el diagrama de fuerza cortante.

Figura 2

Diagrama de fuerza cortante (24-25) y (29-26)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas, dependiendo de la figura obtenida se realiza el cálculo de su área; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 1

Cálculos de áreas (24-25) y (29-26)

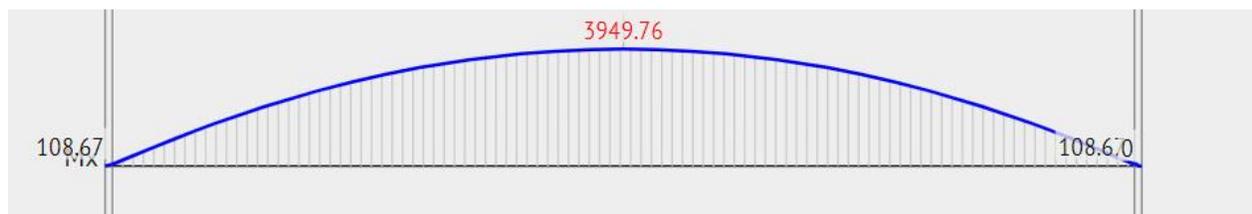
Áreas	
A	108,67
B	3840,82
C	-3840,82
D	-108,67

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector, sumando las áreas obtenidas anteriormente.

Figura 3

Diagrama de momento flector (24-25) y (29-26)



Nota: diagrama de momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 3949,76 N*cm.

Viga entre los nodos 15-18

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos y la medida de las vigas. En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

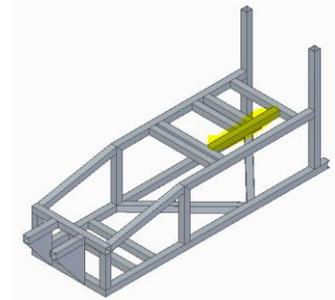
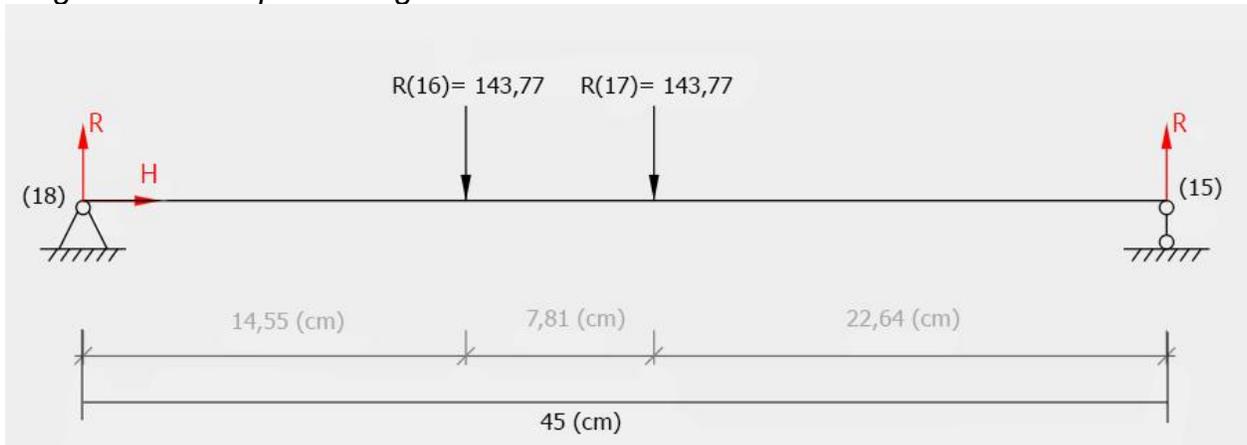


Figura 4

Diagrama de cuerpo libre viga entre los nodos 15-18.



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo 18 y la sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = R(15) - 143,77N - 143,77N + R(18)$$

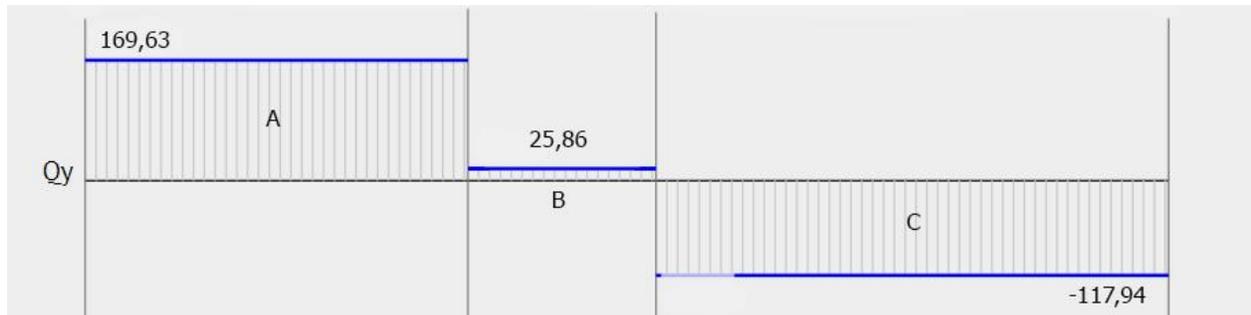
$$+\sum M(18) = -143,77N \times 15,9cm - 143,77N \times 23,71cm + R(15) \times 45cm$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 117,92N para la reacción en el nodo 15 y de 169,62N para la reacción en el nodo 18.

Con los valores obtenidos anteriormente se construyó el diagrama de fuerza cortante.

Figura 5

Diagrama de fuerza cortante (15-18)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 2

Cálculos de áreas (15-18)

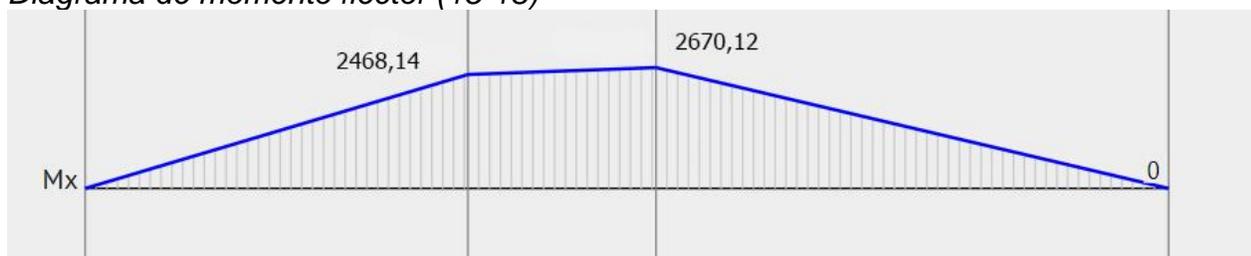
Área	
A	2467,92
B	201,86
C	-2669,78

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector, sumando las áreas obtenidas anteriormente.

Figura 6

Diagrama de momento flector (15-18)



Nota: diagrama de momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 2670,12 N*cm.

Viga entre los nodos 19-20

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos y la medida de las vigas. En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

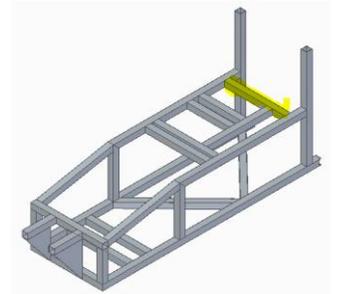
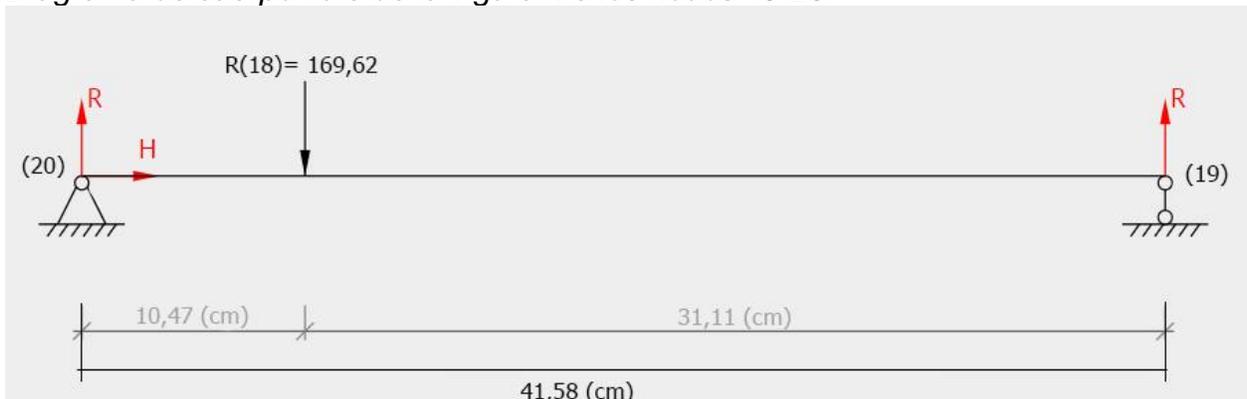


Figura 7

Diagrama de cuerpo libre de la viga entre los nodos 19-20.



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo 20 y la sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum Fy = R(20) - 169,62N + R(19)$$

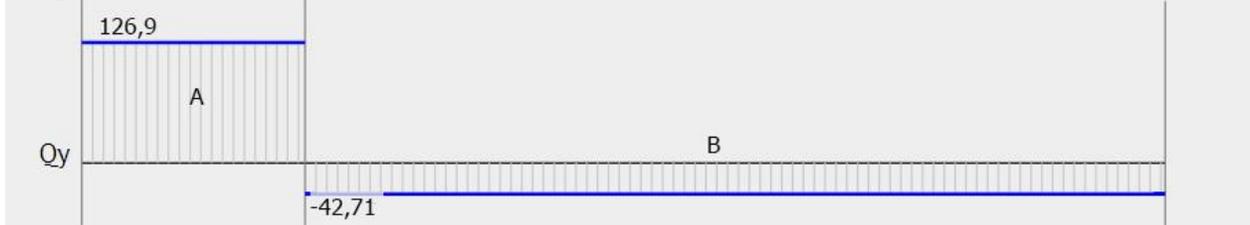
$$+\circlearrowleft \sum M(20) = -169,92N \times 10,47cm + R(19) \times 41,58cm$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 126,90 N para la reacción en el nodo 20 y de 42,71 N para la reacción en el nodo 19.

Con los valores obtenidos anteriormente se construyó el diagrama de fuerza cortante.

Figura 8

Diagrama de fuerza cortante (19-20)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 3

Cálculos de áreas (19-20)

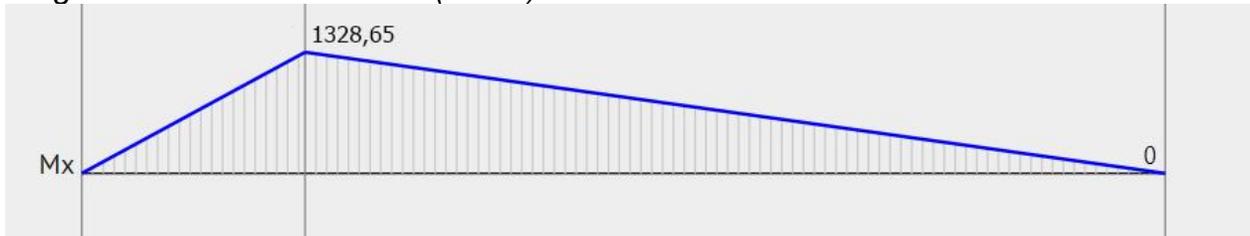
Área	
A	1328,65
B	-1328,65

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector, sumando las áreas obtenidas anteriormente.

Figura 9

Diagrama de momento flector (19-20)



Nota: diagrama de momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 1328,65 Nxcn.

Viga entre los nodos 5-14

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos y la medida de las vigas. En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

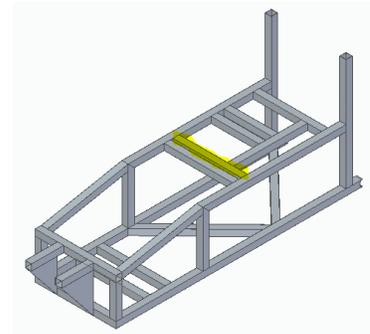
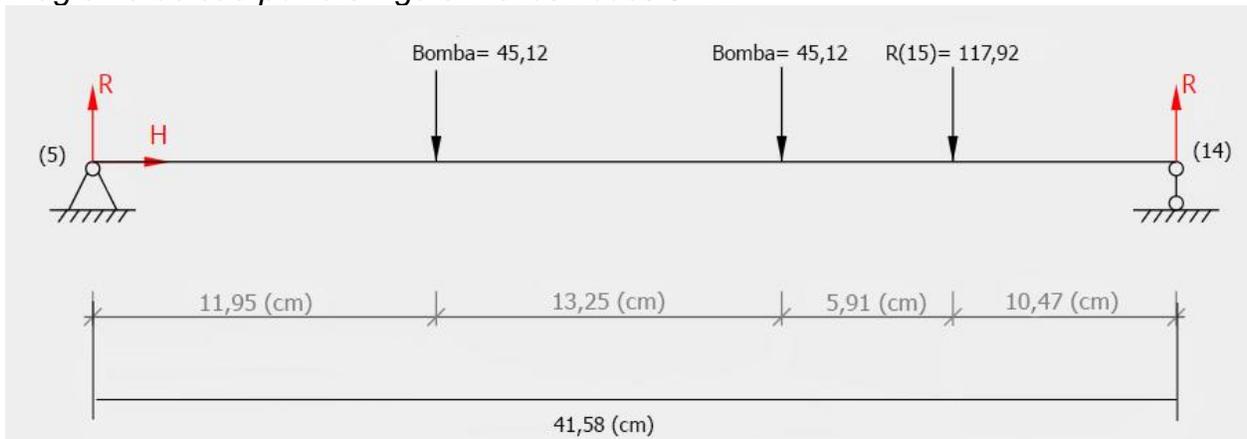


Figura 10

Diagrama de cuerpo libre viga entre los nodos 5-14.



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo 5 y la sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = R(5) - 45,12 N - 45,12 N - 117,92 N + R(14)$$

$$+\sum M(5) = -45,12 N \times 11,59 cm - 45,12 N \times 25,2 cm - 117,92 \times 31,11 cm$$

$$+ R(14) \times 41,58 cm$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 128,54 N para la reacción en el nodo 5 y de 79,62 N para la reacción en el nodo 14.

Con los valores obtenidos anteriormente se construyó el diagrama de fuerza cortante.

Figura 11

Diagrama de fuerza cortante (5-14)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 4

Cálculos de áreas (5-14)

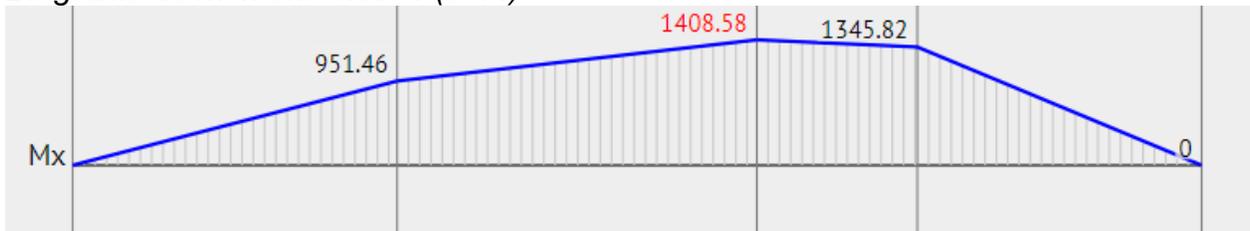
Área	
A	951,46
B	457,12
C	-62,77
D	-1345,82

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector, sumando las áreas obtenidas anteriormente.

Figura 12

Diagrama de momento flector (5-14)



Nota: diagrama de momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 1408,58 Nxcm.

Viga entre los nodos 6-13

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos y la medida de las vigas. En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

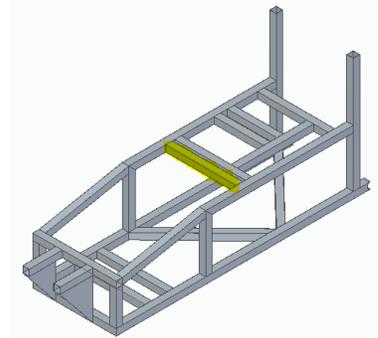
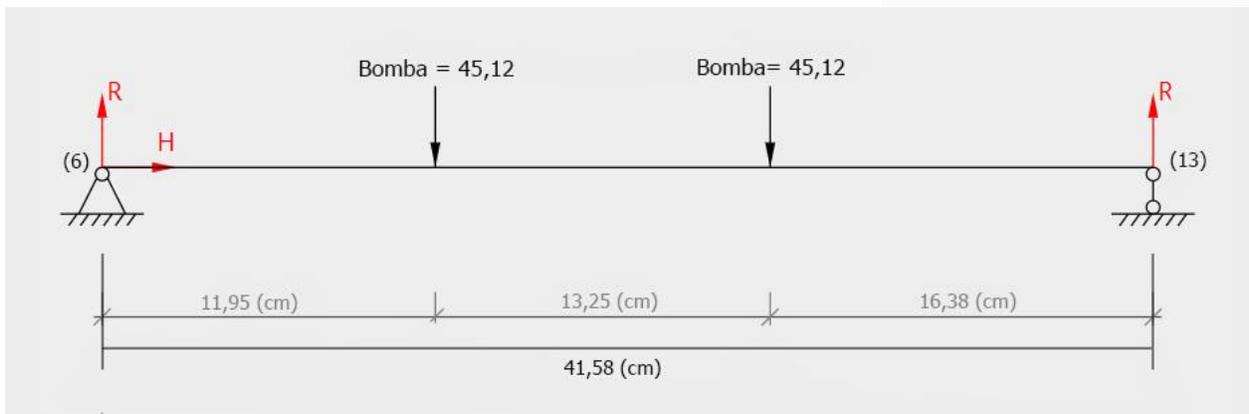


Figura 13

Diagrama de cuerpo libre viga entre los nodos 6-13.



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo 6 y la sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = R(6) - 45,12N - 45,12N + R(13)$$

$$+\sum M(6) = -45,12N \times 11,95cm - 45,12 \times 25,2cm + R(13) \times 41,58cm$$

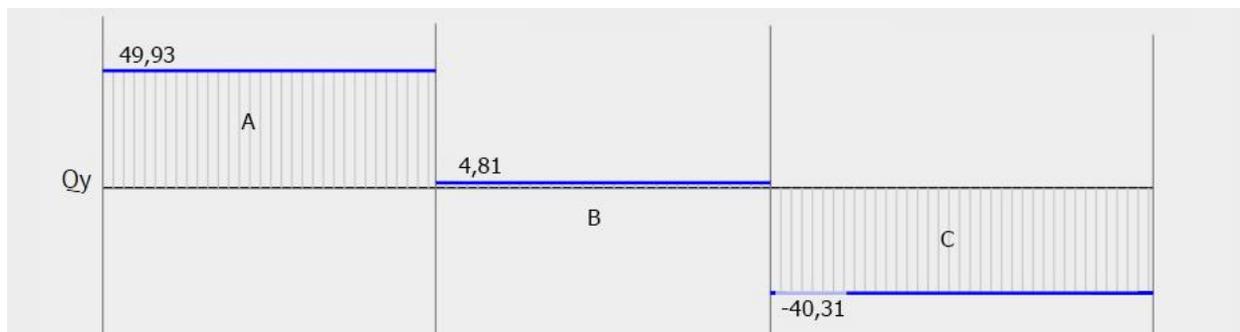
Ambas fuerzas corresponden a la distribución de la carga generada por el motor.

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 49,93 N para la reacción en el nodo 6 y de 40,31 N para la reacción en el nodo 13.

Con los valores obtenidos anteriormente se construyó el diagrama de fuerza cortante.

Figura 14

Diagrama de fuerza cortante (6-13)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 5

Cálculos de áreas (6-13)

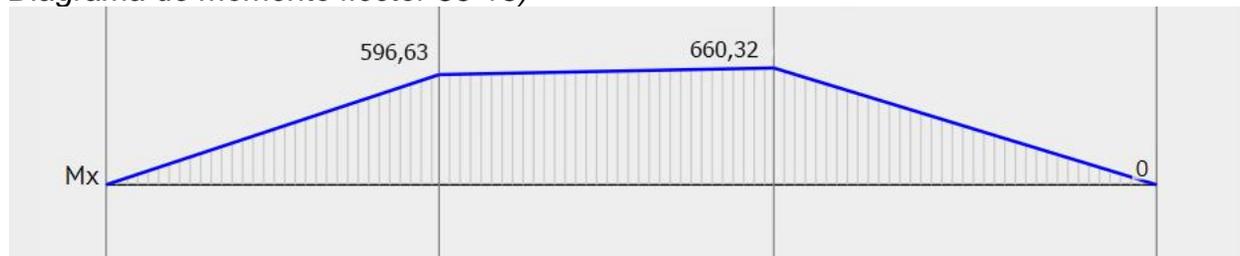
Área	
A	596,63
B	63,69
C	-660,32

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector sumando las áreas obtenidas anteriormente.

Figura 15

Diagrama de momento flector 86-13)



Nota: diagrama de momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 660,32 Nxcm.

Viga entre los nodos 1-7

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos y la medida de las vigas. En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

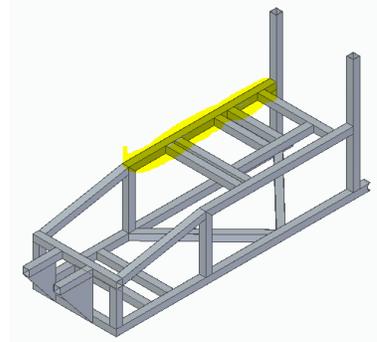
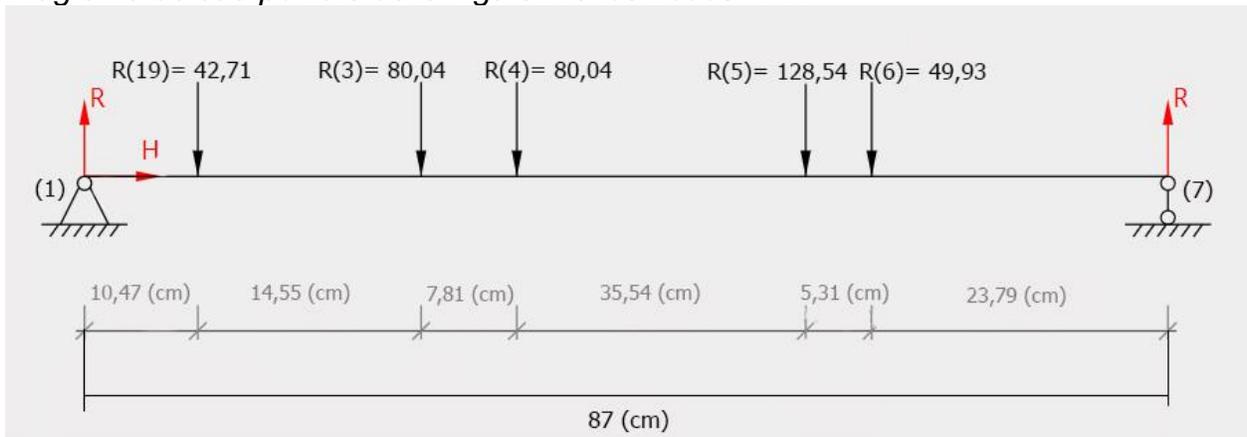


Figura 16

Diagrama de cuerpo libre de la viga entre los nodos 1-7.



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo 1 y la sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = R(1) - 42,71N - 80,04N - 80,04N - 128,54N - 49,93N + R(7)$$

$$+\circlearrowleft \sum M(1) = -42,71N \times 10,47cm - 80,04N \times 26,9cm - 80,04N \times 34,71cm$$

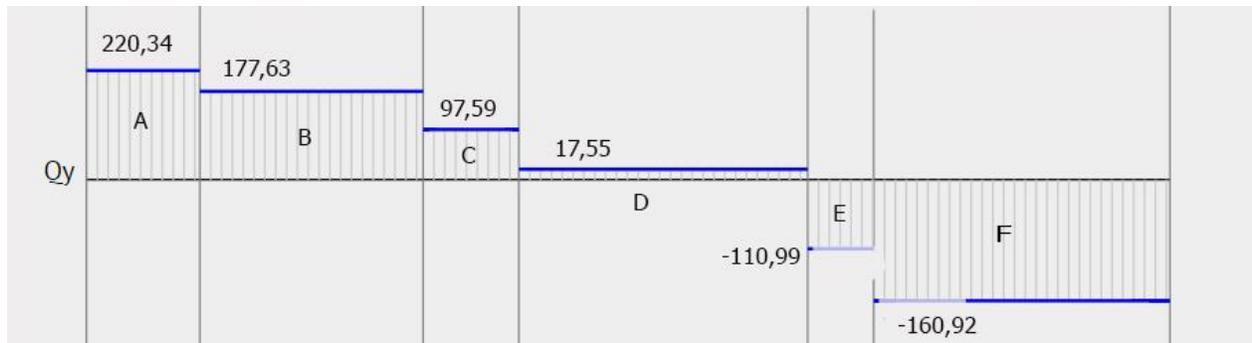
$$- 128,54N \times 57,9cm - 49,93N \times 63,21cm + R(7) \times 87cm$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 220,34 N para la reacción en el nodo 1 y de 160,92 N para la reacción en el nodo 7.

Con los valores obtenidos anteriormente se construyó el diagrama de fuerza cortante.

Figura 17

Diagrama de fuerza cortante (1-7)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 6

Cálculos de áreas (1-7)

Área	
A	2306,97
B	724,73
C	762,18
D	623,75
E	-598,35
F	-3828,27

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector, sumando las áreas obtenidas.

Figura 18

Diagrama de momento flector (1-7)



Nota: diagrama de momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 4417,63 Nxcm.

Viga entre los nodos 2-12

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos y la medida de las vigas. En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

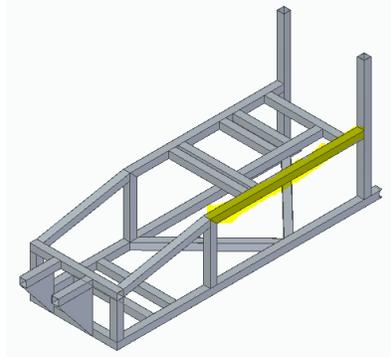
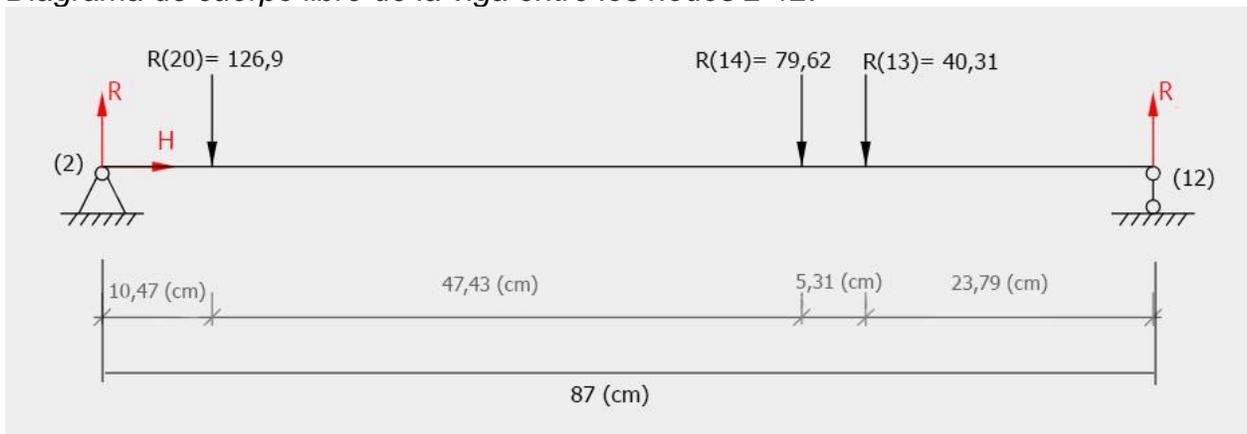


Figura 19

Diagrama de cuerpo libre de la viga entre los nodos 2-12.



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo 2 y la sumatoria de fuerzas en Y.

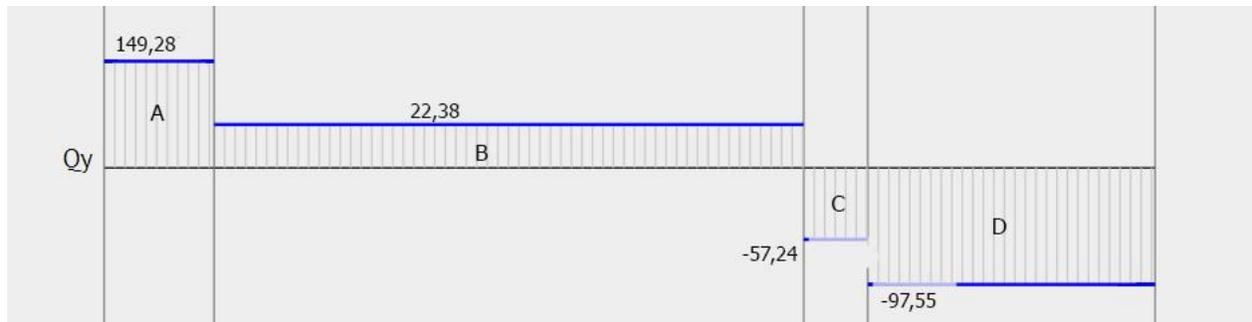
$$\begin{aligned}\sum F_y &= R(2) - 126,9N - 79,62N - 40,31N + R(12) \\ +\varnothing \sum M(2) &= -126,9N \times 10,47cm - 79,62N \times 57,9cm - 40,31N \times 63,21cm \\ &\quad + R(12) \times 870cm\end{aligned}$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 149,28N para la reacción en 2 y de 97,55N para la reacción en 12.

Con los valores obtenidos anteriormente se construyó el diagrama de fuerza cortante.

Figura 20

Diagrama de fuerza cortante (2-12)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 7

Cálculos de áreas (2-12)

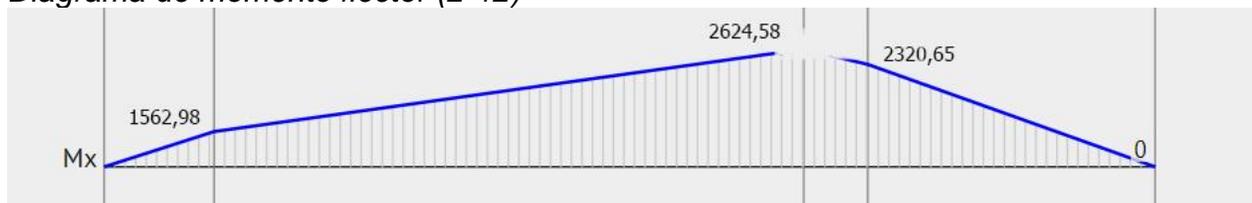
Área	
A	1562,99
B	1061,60
C	-303,93
D	-2320,66

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector, sumando las áreas obtenidas.

Figura 21

Diagrama de momento flector (2-12)



Nota: diagrama de momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

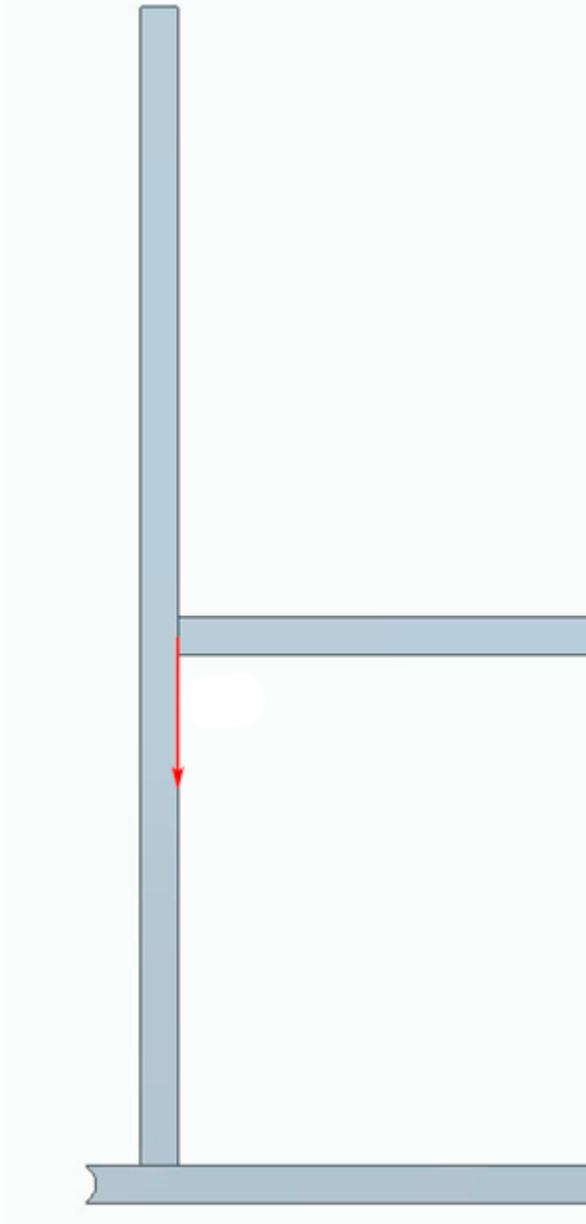
De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 2624,59 Nxcm.

Columnas entre los nodos 1-30 y 2-21

La forma de acople entre las vigas y las columnas causa excentricidad en la carga ya que no se apoya en el centro de la columna de esta manera.

Figura 22

Apoyo entre la columna y la viga aplicación de la fuerza.



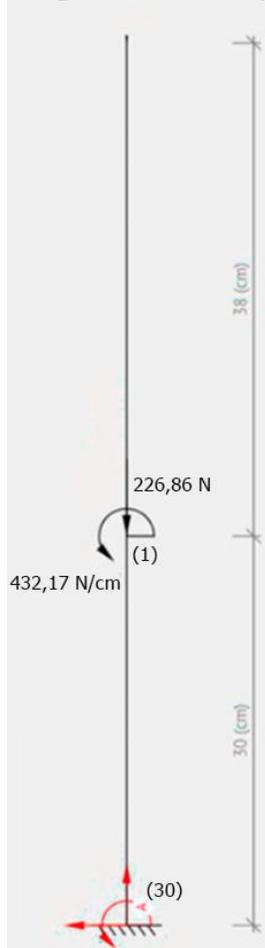
Nota: aplicación de la carga.

Para poder desplazar la carga a el centro de la columna se crea un momento al multiplicar la fuerza por la distancia a la que se encuentra; como resultado de esta condición el

diagrama de cuerpo libre de las dos columnas son los siguientes. Se debe tener en cuenta que la reacción del nodo 1 se le sumo la carga que se aplica en esta viga la cual corresponde a 6,52 N como se puede observar en el diagrama de cuerpo general anteriormente mostrado.

Figura 23

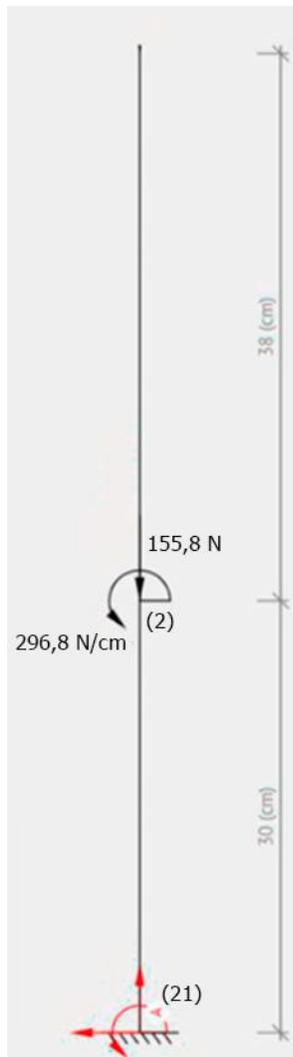
Diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 1-30



Nota: Diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 1-30, la reacción en el nodo 1 se le adiciono la carga del diagrama de cuerpo de 13,04N. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Figura 24

Diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 2-21



Nota: Diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 2-21, la reacción en el nodo 2 se le adiciono la carga del diagrama de cuerpo de 13,04N. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

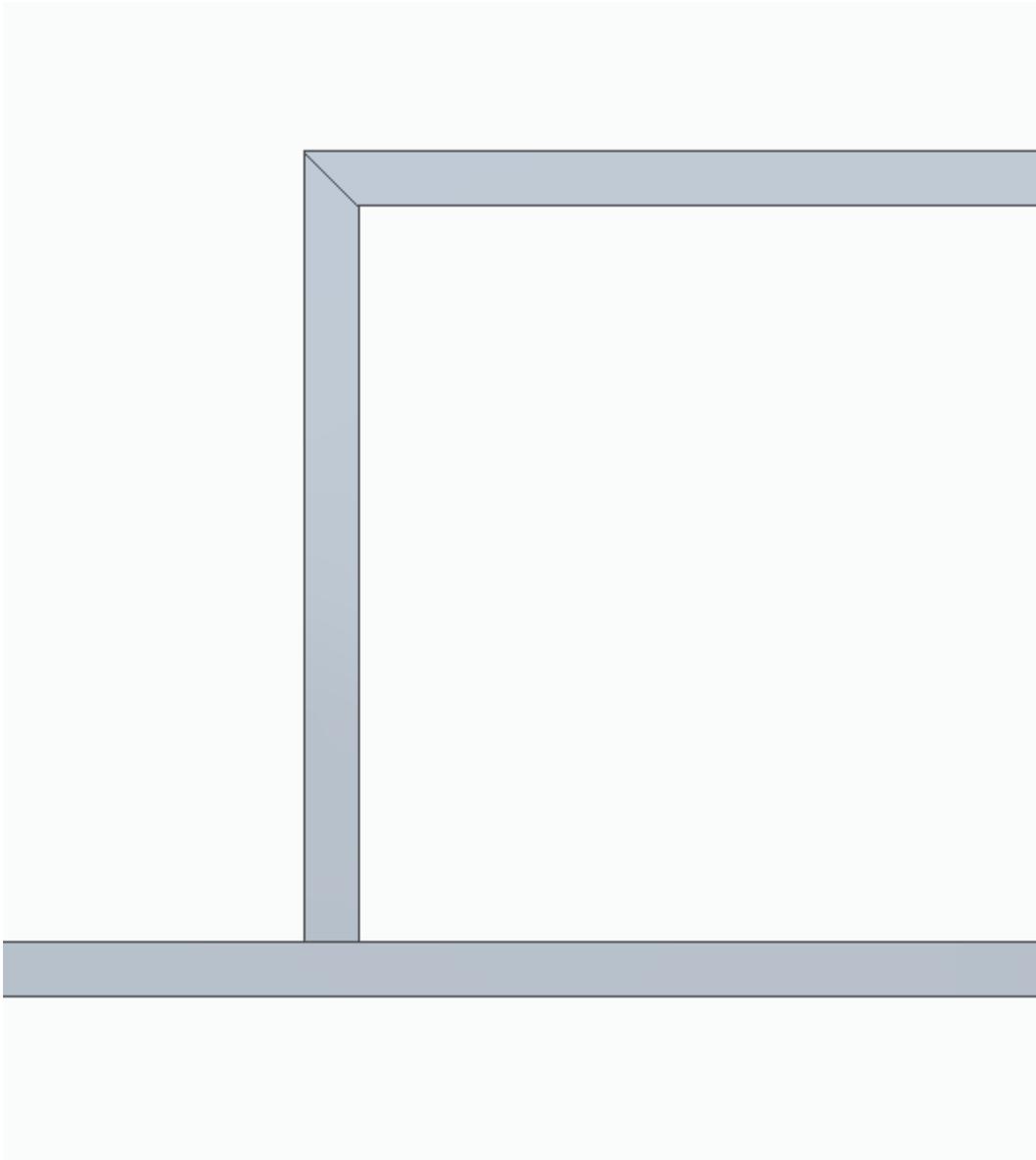
Al no tener más fuerzas sobre la columna las resistencias sobre esta son las mismas en sentido contrario.

Columnas entre los nodos 12-22 y 7-23

La forma de la junta de estas columnas con las vigas nos permite posicionar la fuerza en el centro de la columna por lo que no hay excentricidad en la fuerza de la columna.

Figura 25

Junta de vigas entre los nodos 1 – 2 con columna entre los nodos 1 – 2



Nota: forma junta columna – viga.

En consideración a este tipo de junta el diagrama de cuerpo libre para estas dos comunas es.

Figura 26

Diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 12-22



Nota: diagrama de cuerpo libre columnas entre los nodos 12-22. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Figura 27

Diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 7-23



Nota: diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 7-23. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

La reacción en el apoyo al tener una única fuerza es de la misma magnitud, pero con sentido contrario.

Viga entre los nodos B-27

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos y la medida de las vigas. En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

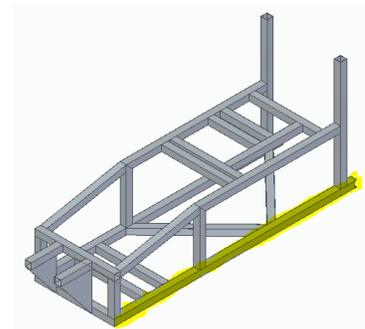
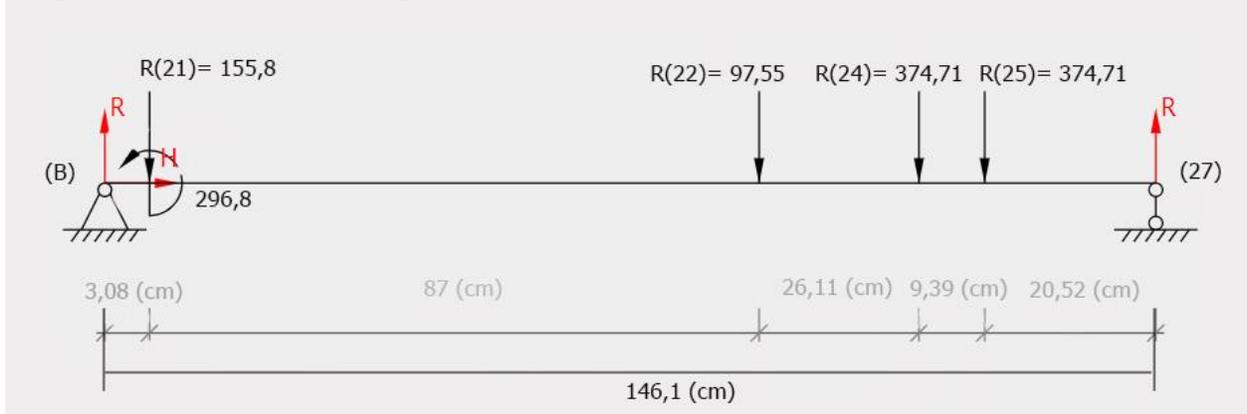


Figura 28

Diagrama de cuerpo libre viga entre los nodos B-27



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

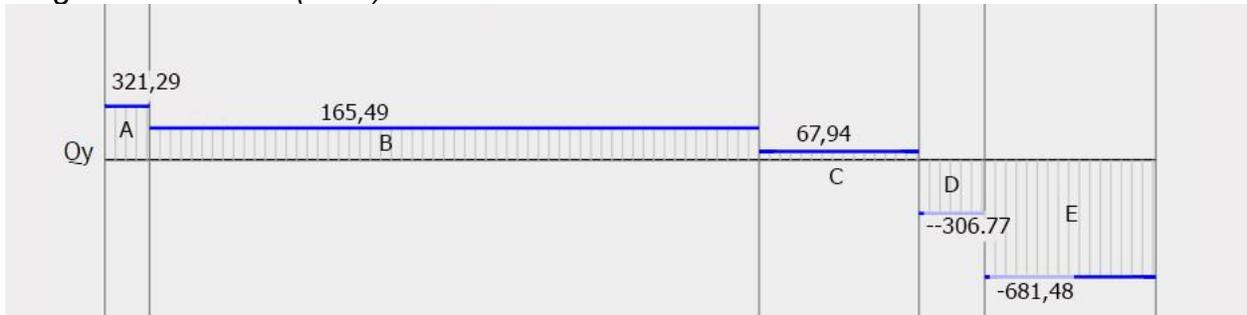
Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo B y la sumatoria de fuerzas en Y.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= R(B) - 155,8N - 97,55N - 374,71N - 374,71N + R(27) \\ + \sum M(B) &= -155,8N \times 3,08cm - 97,55N \times 90,08cm - 374,71N \times 116,19cm \\ &\quad - 374,71N \times 125,58cm - 296,8 N \times cm + R(27) \times 146,1cm \end{aligned}$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 681,48 N para la reacción en el nodo 27 y de 321,29 N para la reacción en el nodo B.

Figura 29

Diagrama de fuerza (B-27)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 8

Cálculos de áreas (B-27)

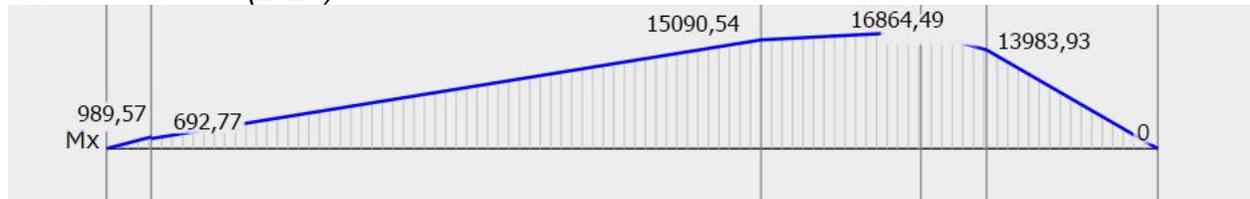
Área	
A	692,78
B	14397,76
C	1773,95
D	-2880,56
E	-13983,94

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector sumando las áreas obtenidas.

Figura 30

Momento flector (B-27)



Nota: momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 16864,49 Nxcm.

Viga entre los nodos B-28

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos, la medida de las vigas y las reacciones de las vigas de apoyo; En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

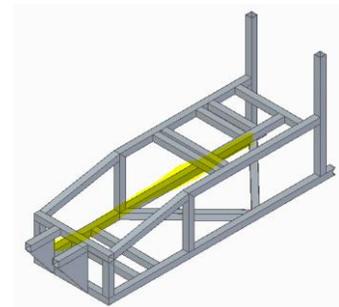
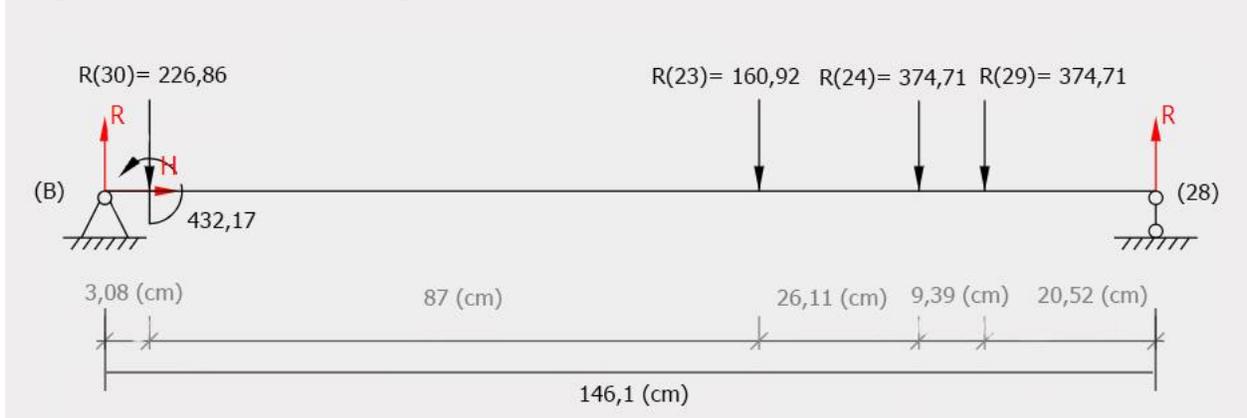


Figura 31

Diagrama de cuerpo libre viga entre los nodos B-28



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

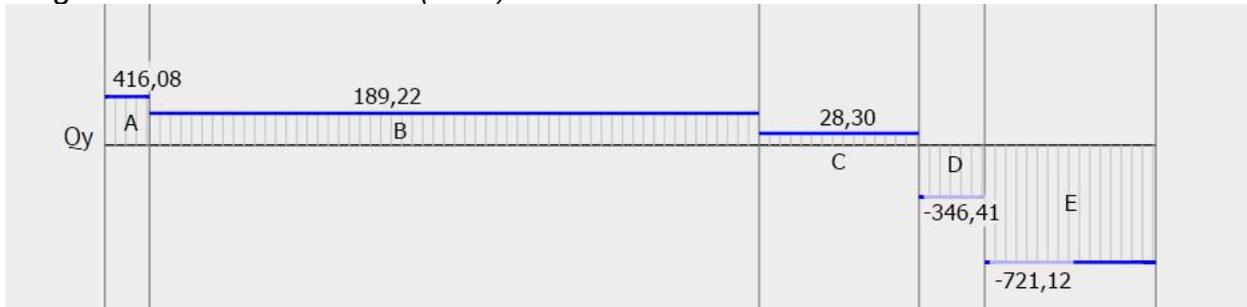
Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo B y la sumatoria de fuerzas en Y.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= R_b - 226,86N - 160,92N - 374,71N - 374,71N + R(28) \\ + \sum M_b &= -226,86N \times 3,08cm - 160,92N \times 90,08cm - 374,716N \times 116,19cm \\ &\quad - 374,71N \times 125,584 + 432,17 N \times cm + R(28) \times 146,1cm \end{aligned}$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 416,08 N para la reacción en el nodo B y de 721,12 N para la reacción en el nodo 28.

Figura 32

Diagrama de fuerza cortante (B-28)



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 9

Cálculos de áreas (B-28)

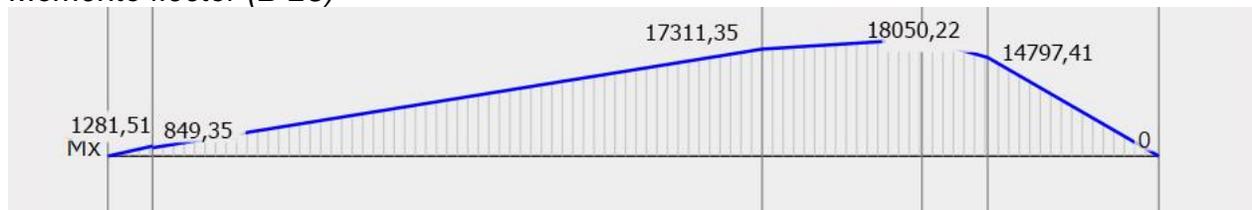
Área	
A	849,35
B	16462
C	738,87
D	-3252,81
E	-14797,42

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector, sumando las áreas obtenidas.

Figura 33

Momento flector (B-28)



Nota: momento flector con valores de áreas. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 18050,22 Nxcm.

Vigas entre los nodos A-9 y A-10

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos, la medida de las vigas y las reacciones de las vigas de apoyo; En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

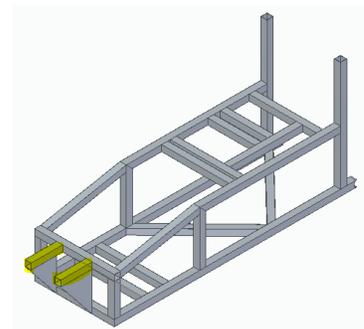
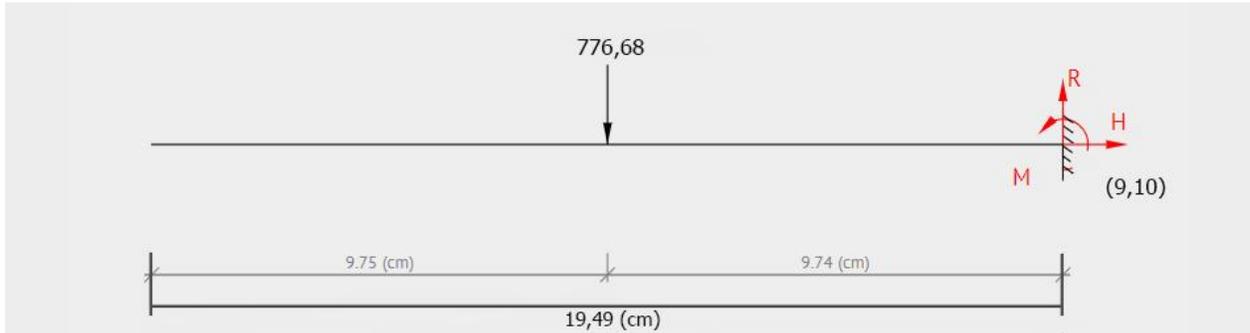


Figura 34

Diagrama de cuerpo libre A-9 y A-10



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en los nodos 9,10 y la sumatoria de fuerzas en Y.

La carga de 776,68 N corresponde a la reacción calculada en el diagrama de cuerpo libre de la estructura completa explicado anteriormente.

$$\sum F_y = R(9,10) - 776,68N$$
$$+\circlearrowleft \sum M(9,10) = 776,68N \times 9,74cm$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 776,68 para la reacción en los nodos B y un momento de 7566,791 Nxcn.

Vigas entre los nodos 8-11

Acorde a las distancias que se tienen de los apoyos, la medida de las vigas y las reacciones de las vigas de apoyo; En la miniatura de la derecha se puede observar las viga calculada.

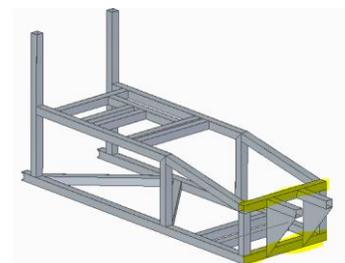
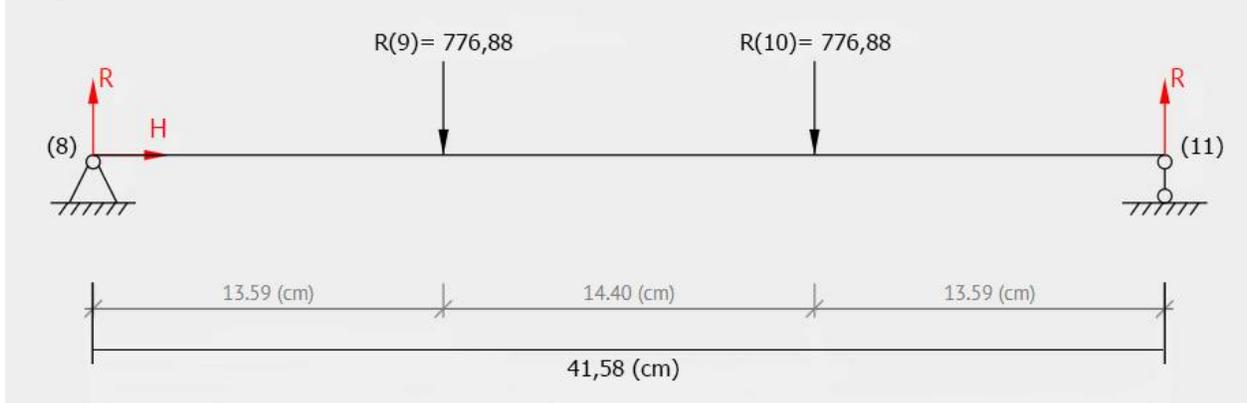


Figura 35

Diagrama de cuerpo libre 8-11



Nota: diagrama de cuerpo libre. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

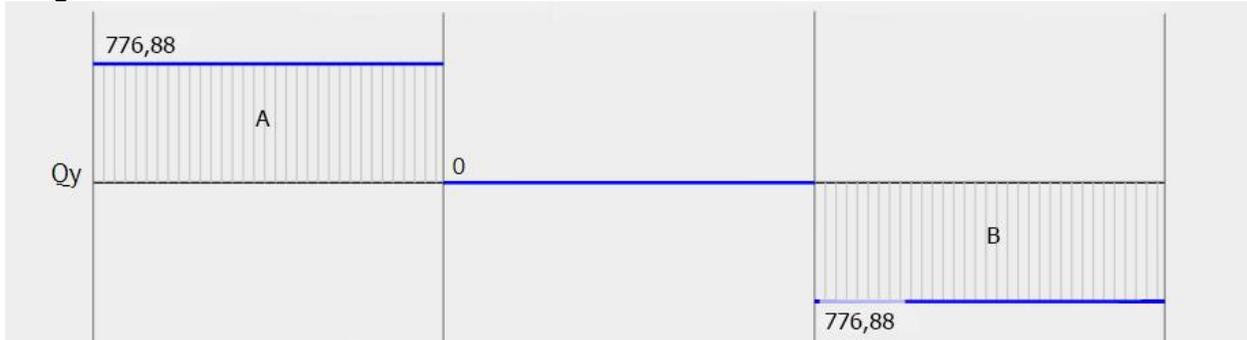
Para el cálculo de las reacciones en los apoyos se tomaron las ecuaciones de sumatoria de momentos en el nodo 8 y la sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = R(8) - 776,68N - 776,68N + R(11)$$
$$+\circlearrowleft \sum M(8) = -776,88N \times 13,59cm - 776,88N \times 27,99cm + R(11) \times 41,58cm$$

Se obtuvo de las anteriores ecuaciones el valor de 776,88 N para la reacción en el nodo 8 y de 776,88 N para la reacción en el nodo 11.

Figura 36

Diagrama de fuerza cortante 8-11



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: Beam Calculator Online (Calculate the reactions, Draws Bending Moment, Shear Force, Axial Force). <https://beamguru.com/online/beam-calculator/> (accessed Feb. 19, 2021).

Para el diagrama de momento flector se utilizó la metodología de áreas en el que se multiplica la base que representa la distancia por la altura que muestra la fuerza; Obteniendo los siguientes valores.

Tabla 10

Cálculos de áreas 8-11

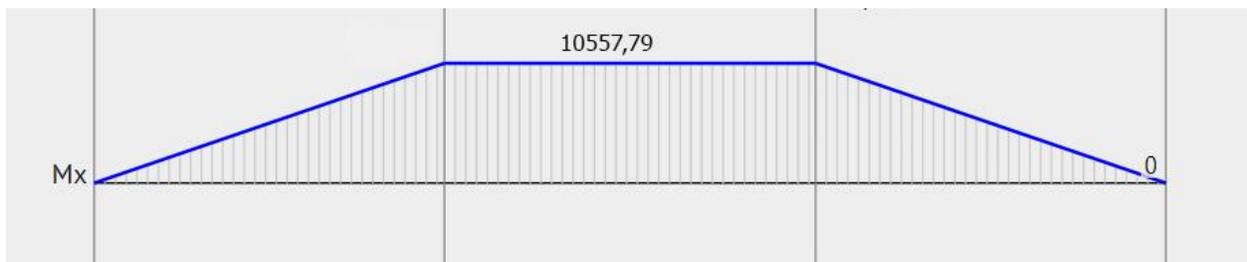
Área	
A	10557,80
B	0,00
C	-10557,80

Nota: cálculo de áreas.

Y se obtiene el siguiente diagrama de momento flector.

Figura 37

Momento flector 8-11



Nota: momento flector con valores de áreas. Tomado de [37].

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que el momento flector máximo tiene un valor de 10557,79 N*cm.

Esta viga también se encuentra bajo la acción de un momento torsor de 6852,01N*cm equivalente al momento en los nodos 9 y 10 anteriormente calculados, siendo distribuido en sus apoyos.

Columnas entre los nodos 8-28 y 11-27

Las columnas para analizar se pueden observar en la miniatura de la derecha, teniendo los siguientes diagramas de cuerpo libre acorde a las fuerzas sobre estas.

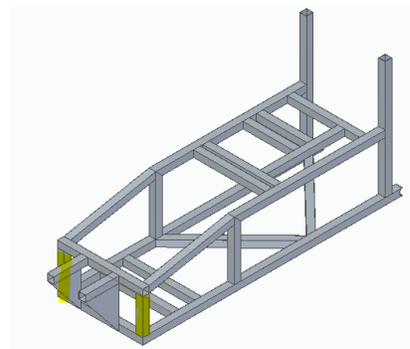
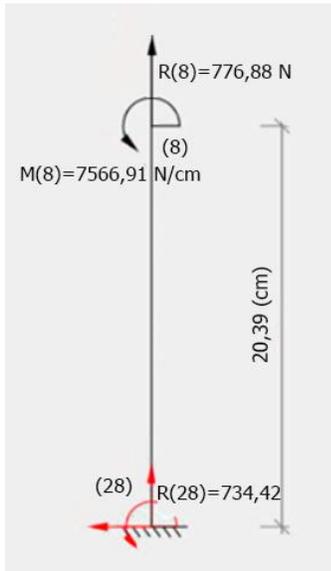


Figura 38

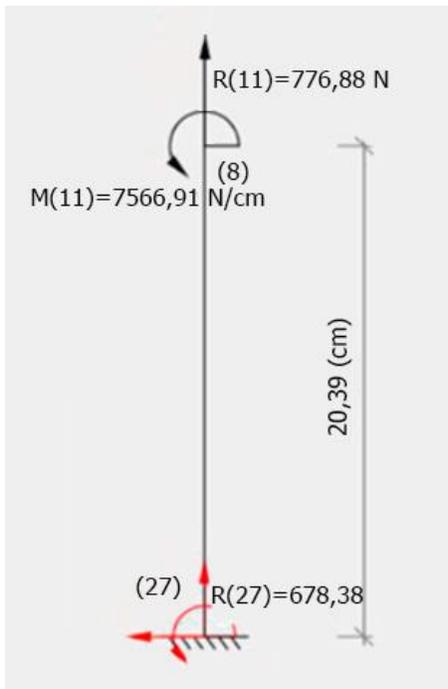
Diagrama de cuerpo libre columna 8-28



Nota: Diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 8-28. Tomado de [37].

Figura 39

Diagrama de cuerpo libre columna 11-27



Nota: Diagrama de cuerpo libre columna entre los nodos 2-21. Tomado de [37].

Al no tener más fuerzas sobre la columna las resistencias sobre esta son las mismas en sentido contrario.

Columna entre los nodos 8-28 y 11-27.

Se realiza el mismo procedimiento para el análisis de estas dos vigas.

Calculo resistencia admisible

$$esbeltez = \frac{K * L}{r} = \frac{1 * 20,39cm}{1,51 cm} = 13,43 < 200$$

$$4,71 * \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4,71 * \sqrt{\frac{200GPa}{343MPa}} = 113,73 > 13,43$$

$$Fe = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 200GPa}{\left(\frac{2 * 20,39cm}{1,51cm}\right)^2} = 2,706GPa$$

$$Fcr = \left(0,658^{\frac{343MPa}{2,706GPa}}\right) * 343MPa = 325,27MPa$$

$$\frac{b}{t} \leq 1,4 * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{38,1 mm}{1,194 mm} \leq 1,4 * \sqrt{\frac{200GPa}{343MPa}}$$

$$31,9095 \leq 33,806$$

$$Pn = Fcr * Ag = 325,27MPa * 1,7x10^{-4}m^2 = 56,59KN$$

$$Resistencia admisible = 0,66 * Pn = 0,66 * 56,59 KN = 37,35KN$$

La resistencia admisible obtenida por el código ASD es menor a la carga a la que se está sometiendo ambas columnas, cumpliendo por el cálculo de columna.

Comparación entre la combinación de esfuerzos y norma ASD

El momento flector en la columna entre los nodos 8-28 es de 6852,01 N*cm y para la columna entre los nodos 2-21 es de 6852,01 N*cm mostrados en la tabla 28, el esfuerzo generado en la primera columna es de 33,75MPa y para la segunda columna de 33,75MPa, estos esfuerzos se obtienen dividiendo el momento entre el módulo de sección que se encuentra en la figura 75.

Luego se compara el esfuerzo admisible con la combinación de esfuerzos de compresión y de deflexión.

Columna entre los nodos 1-30

$$0,66 * Fy > 33,75MPa + \left(\frac{702,77N}{1,7 \times 10^{-4} m^2} \right)$$

$$257MPa > 37,78MPa$$

Columna entre los nodos 2-21

$$0,66 * Fy > 33,75MPa + \left(\frac{702,77N}{1,7 \times 10^{-4} m^2} \right)$$

$$257MPa > 37,78MPa$$

Columnas 7-23 y 12-22.

Como esta columna no presenta momento por el desplazamiento de la fuerza se puede realizar el análisis solo como columna como se explica anteriormente.

Obteniendo los siguientes datos y formulas.

K=0,8 porque un extremo es fijo y el otro permite rotación al estar soldado.

L=30 cm

r= 1,51 cm

$$esbeltez = \frac{0,8 * 30cm}{1,51cm} = 15,89 < 200$$

Se determina el rango de la columna y que ecuación utilizar

$$4,71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 * \sqrt{\frac{200GPa}{343MPa}} = 113,73 > 15,89$$

Al igual que en la anterior viga se utiliza la primer formula tanto para la fuerza de Euler como para la fuerza critica.

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 200GPa}{\left(\frac{0,8 * 30cm}{1,51cm}\right)^2} = 7,81GPa$$

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{343MPa}{7,81GPa}}\right) * 343MPa = 336,75MPa$$

Se determinar la estabilidad local para determinar si el área requiere cambio.

$$\frac{38,1 mm}{1,194 mm} \leq 1,4 * \sqrt{\frac{200GPa}{343MPa}}$$

$$31,9095 \leq 33,806$$

Se calcula la resistencia nominal y la resistencia de diseño por el código ASD.

$$P_n = F_{cr} * A_g = 336,75MPa * 1,7x10^{-4}m^2 = 57,24KN$$

$$Resistencia admisible = 0,66 * P_n = 0,66 * 57,24 KN = 37,78KN$$

Al compararlo con las cargas aplicadas se determina que el perfil cumple al ser menor.

Con resultados obtenidos se concluye que con el perfil seleccionado la columna cumple y para ahorrar en materiales se puede seleccionar este perfil para la construcción de toda la estructura.

Memoria de cálculo sistema de transmisión.

1. Selección de poleas y correas.

En el siguiente anexo dará continuidad de los cálculos de la caja reductora de la máquina, donde se explicará a detalle cómo fue la selección de las poleas que no se encuentran en la memoria de cálculos y el diseño de los ejes.

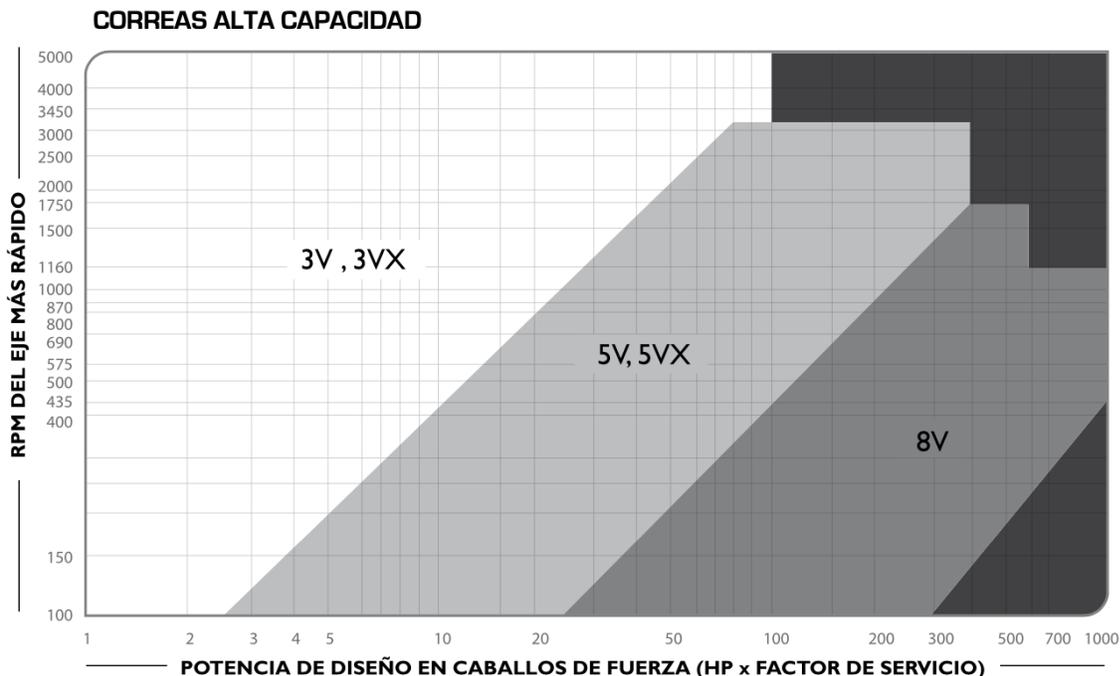
Como ya se explicó anteriormente, la potencia con la cual se van a calcular los ejes de la caja reductora va a ser de 1.28 hp, este valor ya tiene en cuenta el factor de seguridad recomendado por el catálogo para el diseño.

Para poder diseñar el eje es necesario tener en cuenta la polea que va a transmitir potencia entre el primer eje y el segundo eje de la caja reductora, todo el diseño se realizó en base a los diseños de poleas y bujes de Intermecc:

El primer paso para realizar es escoger el tipo de correas que se van a utilizar para la transmisión de potencia:

Figura 40

Tabla de selección de tipo de correas



Nota. tabla propuesta por la empresa para la selección del tipo de polea. Tomado de: Intermecc S.A., "Catálogo de Poleas en 'V,'" p. 80, 2015, [Online]. Available: <http://www.intermecc.com.co/literatura.php>

Con las potencias de diseño y las Rpm requeridas se seleccionan las correas 3V y 3VX.

A continuación, se procede a realizar los cálculos de la relación de las poleas, en este caso la polea 3 y la polea 4, gracias a la siguiente ecuación se calcula la relación de diámetros que se van a utilizar:

$$D3 \times N3 = D4 \times N4$$

Después de despejar:

$$(2)N4 = \frac{D3 \times N3}{D4}$$

En primer lugar, se va a realizar una reducción de 1:4 con la segunda polea mas pequeña del catalogo

Figura 41

Tabla de poleas para correa tipo 3VX

CORREAS TIPO 3VX		TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)									
RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)										
	55	60	65	67	70	75	80	85	90	105	
100	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.26	0.29	0.35	
200	0.22	0.26	0.29	0.33	0.36	0.41	0.44	0.48	0.55	0.66	
300	0.31	0.37	0.42	0.47	0.52	0.58	0.63	0.70	0.80	0.95	
400	0.40	0.47	0.54	0.60	0.67	0.75	0.82	0.91	1.03	1.24	
500	0.49	0.57	0.65	0.73	0.81	0.92	1.00	1.10	1.27	1.50	
575	0.55	0.64	0.73	0.83	0.92	1.04	1.13	1.25	1.43	1.72	
600	0.57	0.66	0.76	0.86	0.95	1.08	1.18	1.30	1.50	1.78	
690	0.64	0.75	0.86	0.97	1.08	1.22	1.33	1.48	1.60	2.02	
700	0.65	0.76	0.87	0.98	1.10	1.24	1.35	1.50	1.70	2.05	
725	0.66	0.78	0.90	1.00	1.13	1.28	1.40	1.54	1.77	2.12	
800	0.72	0.85	0.98	1.10	1.23	1.40	1.52	1.68	1.93	2.30	
870	0.77	0.91	1.05	1.18	1.32	1.50	1.63	1.80	2.08	2.50	
900	0.80	0.94	1.08	1.22	1.36	1.54	1.68	1.87	2.14	2.57	
950	0.83	0.98	1.13	1.28	1.42	1.62	1.77	1.96	2.25	2.70	
1000	0.87	1.02	1.18	1.34	1.50	1.70	1.85	2.05	2.35	2.82	
1100	0.94	1.10	1.28	1.45	1.62	1.84	2.00	2.23	2.56	3.07	
1160	0.98	1.16	1.34	1.52	1.69	1.93	2.10	2.34	2.68	3.22	
1200	1.00	1.20	1.38	1.56	1.74	2.00	2.17	2.40	2.76	3.32	
1300	1.08	1.28	1.47	1.67	1.87	2.13	2.32	2.58	2.97	3.56	
1400	1.14	1.36	1.57	1.78	2.00	2.27	2.48	2.75	3.17	3.80	
1425	1.16	1.38	1.60	1.80	2.02	2.30	2.52	2.80	3.22	3.86	
1500	1.20	1.44	1.66	1.90	2.10	2.40	2.63	2.93	3.36	4.04	
1600	1.27	1.52	1.76	2.00	2.23	2.55	2.78	3.10	3.56	4.28	
1700	1.34	1.60	1.85	2.10	2.35	2.68	2.93	3.26	3.75	4.50	
1750	1.37	1.63	1.90	2.15	2.40	2.75	3.00	3.34	3.85	4.63	

Nota. Con ayuda del catálogo de Intermec se seleccionan las poleas necesarias. Tomado de: Tomado de: Intermec S.A., "Catálogo de Poleas en 'V,'" p. 30, 2015, [Online]. Available: <http://www.intermec.com.co/literatura.php>.

Para saber el número de canales necesarias para la transmisión de potencia es necesario realizar una interpolación:

RPM	hp
600	0,76
611	0,7722
690	0,86

Para este caso es necesario utilizar una polea de 0,065 m con dos canales para cumplir con la potencia de diseño.

Figura 42
Especificaciones de polea de dos canales.

2 CANALES									
Ancho (F) = 27.8 mm									
Diámetro Exterior (D)		Referencia Polea	Ref. Buje	Hueco máximo con cuñero estándar (d)		Longitud del Buje en mm (L)	Diámetro del buje en mm (M)	Modelo	Peso sin Buje en Lb
pulg	mm			mm	pulg				
2.2	55	PQ 2-3V55	JA	25.4	1	27	50	T1	0.9
2.3	60	PQ 2-3V60	JA	25.4	1	27	50	T1	1.0
2.5	65	PQ 2-3V65	JA	25.4	1	27	50	T1	1.2
2.6	67	PQ 2-3V67	JA	25.4	1	27	50	T1	1.3
2.8	70	PQ 2-3V70	JA	25.4	1	27	50	T1	1.4
3.0	75	PQ 2-3V75	JA	25.4	1	27	50	T1	1.6
3.1	80	PQ 2-3V80	JA	25.4	1	27	50	T1	1.8
3.3	85	PQ 2-3V85	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.0
3.6	90	PQ 2-3V90	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.4
3.9	100	PQ 2-3V100	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.6
4.1	105	PQ 2-3V105	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.7
4.3	110	PQ 2-3V110	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.8
4.5	115	PQ 2-3V115	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.9
4.7	120	PQ 2-3V120	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.1
5.0	125	PQ 2-3V125	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	3.6
5.1	130	PQ 2-3V130	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	4.3
5.3	135	PQ 2-3V135	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	4.5
5.6	140	PQ 2-3V140	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	5.0
6.0	150	PQ 2-3V150	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	5.5
6.3	160	PQ 2-3V160	SH	34.9	1-3/8	33	70	T2	5.8
6.5	165	PQ 2-3V165	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.2
6.7	170	PQ 2-3V170	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.4
6.9	175	PQ 2-3V175	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.6
7.0	180	PQ 2-3V180	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.7
7.5	190	PQ 2-3V190	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.8
8.0	200	PQ 2-3V200	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T3	7.0
9.0	230	PQ 2-3V230	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	7.9
9.9	250	PQ 2-3V250	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	8.7
10.6	270	PQ 2-3V270	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	10.0
11.0	280	PQ 2-3V280	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	10.4
11.8	300	PQ 2-3V300	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	13.5
12.5	320	PQ 2-3V320	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	14.3
13.7	350	PQ 2-3V350	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	15.7
14.0	355	PQ 2-3V355	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	16.0
15.7	400	PQ 2-3V400	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	18.0
19.0	485	PQ 2-3V485	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	25.0
25.0	635	PQ 2-3V635	SF	57.1	2-1/4	52	120	T3	28.0

Nota. En la imagen se encuentra la descripción de la polea que se eligió para trabajar. Tomado de: Intermecc S.A., "Catálogo de Poleas en 'V,'" p. 59, 2015, [Online]. Available: <http://www.intermecc.com.co/literatura.php> [44]

Según el catálogo la Polea escogida es PQ2-3V65 esta polea requiere un Buje JA para ser acoplada al eje, para acoplar las poleas al buje el proveedor aconseja utilizar los bujes QD de Intermec.

$$\text{Relacion: } \frac{611.11 \text{ Rpm}}{4} = 152.77 \text{ Rpm}$$

De la ecuación (2)

$$D_{\text{Polea } 4} = \frac{0.065 \times 611.11}{152.77} = 0,26m$$

Se continúa calculando la polea de ingreso al segundo eje de la caja reductora:

Figura 43

Tabla de poleas para correa tipo 3V



www.intermec.com.co

TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)										CORREAS TIPO 3V
Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)										RPM del Eje más Rápido
115	120	125	135	140	150	165	175	200	270	
0.37	0.40	0.43	0.47	0.50	0.55	0.61	0.65	0.78	1.07	100
0.70	0.75	0.81	0.88	0.95	1.04	1.15	1.23	1.48	2.04	200
1.01	1.10	1.17	1.27	1.37	1.50	1.66	1.80	2.14	2.95	300
1.30	1.40	1.52	1.64	1.77	1.94	2.15	2.32	2.78	3.84	400
1.60	1.72	1.85	2.00	2.17	2.37	2.63	2.84	3.40	4.70	500
1.80	1.95	2.10	2.28	2.46	2.70	3.00	3.22	3.86	5.32	575
2.07	2.25	2.45	2.67	2.95	3.30	3.70	4.05	4.90	6.65	600

Nota. diámetro para poleas. Tomado de: Intermec S.A., “Catalogo de Poleas en ‘V,’” p. 28, 2015, [Online]. Available: <http://www.intermec.com.co/literatura.php> [44]

Al volver al catálogo es evidente que la polea requerida no se encuentra disponible es por esto por lo que se decide trabajar con la de 270 y se procede a calcular el número de rpm de entrada a este eje:

De la ecuación (1):

$$N_{\text{Polea } 4} = \frac{0.065 \times 611.11}{0.27} = 147.12 \text{ rpm}$$

Para poder determinar el material de las poleas es necesario conocer la velocidad a cuál estará sometida la polea:

$$(3) \quad v = \frac{rpm_{polea} \times 2\pi}{60} \times \frac{D_{polea}}{2 \times 1000} \quad [45]$$

Según la ecuación (3)

$$v_{polea3} = 2.1m/s$$

$$v_{polea4} = 8.31m/s$$

Según el catálogo de Intermec se recomienda utilizar una polea hecha con una fundición gris GG20 para que pueda soportar las velocidades a las cuales será sometida la polea.

Se continúa con los cálculos de la relación de las poleas, en este caso la polea 5 y la polea 6, gracias a la siguiente ecuación se calcula la relación de diámetros que se van a utilizar:

$$D5 \times N5 = D6 \times N6$$

Después de despejar:

$$(2) \quad N6 = \frac{D5 \times N5}{D6}$$

En primer lugar, se va a realizar una reducción de 1:3 con la polea de 0.09 m

Figura 44

Tabla de poleas para correa tipo 3VX

CORREAS TIPO 3VX		TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)									
RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)										
	55	60	65	67	70	75	80	85	90	105	
100	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.26	0.29	0.35	
200	0.22	0.26	0.29	0.33	0.36	0.41	0.44	0.48	0.55	0.66	
300	0.31	0.37	0.42	0.47	0.52	0.58	0.63	0.70	0.80	0.95	
400	0.40	0.47	0.54	0.60	0.67	0.75	0.82	0.91	1.03	1.24	
500	0.49	0.57	0.65	0.73	0.81	0.92	1.00	1.10	1.27	1.50	
575	0.55	0.64	0.73	0.83	0.92	1.04	1.13	1.25	1.43	1.72	
600	0.57	0.66	0.76	0.86	0.95	1.08	1.18	1.30	1.50	1.78	
690	0.64	0.75	0.86	0.97	1.08	1.22	1.33	1.48	1.60	2.02	
700	0.65	0.76	0.87	0.98	1.10	1.24	1.35	1.50	1.70	2.05	
725	0.66	0.78	0.90	1.00	1.13	1.28	1.40	1.54	1.77	2.12	
800	0.72	0.85	0.98	1.10	1.23	1.40	1.52	1.68	1.93	2.30	
870	0.77	0.91	1.05	1.18	1.32	1.50	1.63	1.80	2.08	2.50	
900	0.80	0.94	1.08	1.22	1.36	1.54	1.68	1.87	2.14	2.57	
950	0.83	0.98	1.13	1.28	1.42	1.62	1.77	1.96	2.25	2.70	
1000	0.87	1.02	1.18	1.34	1.50	1.70	1.85	2.05	2.35	2.82	
1100	0.94	1.10	1.28	1.45	1.62	1.84	2.00	2.23	2.56	3.07	
1160	0.98	1.16	1.34	1.52	1.69	1.93	2.10	2.34	2.68	3.22	
1200	1.00	1.20	1.38	1.56	1.74	2.00	2.17	2.40	2.76	3.32	
1300	1.08	1.28	1.47	1.67	1.87	2.13	2.32	2.58	2.97	3.56	
1400	1.14	1.36	1.57	1.78	2.00	2.27	2.48	2.75	3.17	3.80	
1425	1.16	1.38	1.60	1.80	2.02	2.30	2.52	2.80	3.22	3.86	
1500	1.20	1.44	1.66	1.90	2.10	2.40	2.63	2.93	3.36	4.04	
1600	1.27	1.52	1.76	2.00	2.23	2.55	2.78	3.10	3.56	4.28	
1700	1.34	1.60	1.85	2.10	2.35	2.68	2.93	3.26	3.75	4.50	
1750	1.37	1.63	1.90	2.15	2.40	2.75	3.00	3.34	3.85	4.63	

Nota. Con ayuda del catálogo de Intermec se seleccionan las poleas necesarias. Tomado de: Tomado de: Intermec S.A., "Catálogo de Poleas en 'V,'" p. 30, 2015, [Online]. Available: <http://www.intermec.com.co/literatura.php> [44] .

Para saber el número de canales necesarias para la transmisión de potencia es necesario realizar una interpolación:

RPM	hp
100	0,29
147,11	0,4125
200	0,55

En este caso se va a utilizar una polea de 0,09 m con tres canales para cumplir con la potencia de diseño.

Figura 45
Especificaciones de polea de tres canales.

3 CANALES									
Ancho (F) = 38.1 mm									
Diámetro Exterior (D)		Referencia Polea	Ref. Buje	Hueco máximo con cuñero estándar (d)		Longitud del Buje en mm (L)	Diámetro del buje en mm (M)	Modelo	Peso sin Buje en Lb
pulg	mm			mm	pulg				
2.5	65	PQ 3-3V65	JA	25.4	1	27	50	T1	1.6
2.6	67	PQ 3-3V67	JA	25.4	1	27	50	T1	1.8
2.8	70	PQ 3-3V70	JA	25.4	1	27	50	T1	2.0
3.0	75	PQ 3-3V75	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.2
3.1	80	PQ 3-3V80	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.5
3.3	85	PQ 3-3V85	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	2.8
3.6	90	PQ 3-3V90	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.0
3.9	100	PQ 3-3V100	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.2
4.1	105	PQ 3-3V105	SH	34.9	1-3/8	33	70	T1	3.3
4.3	110	PQ 3-3V110	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T1	3.4
4.5	115	PQ 3-3V115	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T1	3.5
4.7	120	PQ 3-3V120	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T1	3.7
5.0	125	PQ 3-3V125	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	4.0
5.1	130	PQ 3-3V130	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	4.1
5.3	135	PQ 3-3V135	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	4.3
5.6	140	PQ 3-3V140	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	4.9
6.0	150	PQ 3-3V150	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	5.9
6.3	160	PQ 3-3V160	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.1
6.5	165	PQ 3-3V165	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.3
6.7	170	PQ 3-3V170	SDS	42.9	1-11/16	35	80	T2	6.5
6.9	175	VQ 3-3V175	SDS	42.9	1-11/16	35	100	T2	6.8
7.0	180	VQ 3-3V180	SK	54.0	2-1/8	50	100	T2	6.9
7.5	190	VQ 3-3V190	SK	54.0	2-1/8	50	100	T2	9.9
8.0	200	VQ 3-3V200	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	10.6
9.0	230	VQ 3-3V230	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	12.0
9.9	250	VQ 3-3V250	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	13.1
10.6	270	VQ 3-3V270	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	14.0
11.0	280	VQ 3-3V280	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	14.5
11.8	300	VQ 3-3V300	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	15.6
12.5	320	VQ 3-3V320	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	16.5
13.7	350	VQ 3-3V350	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	19.6
14.0	355	VQ 3-3V355	SK	54.0	2-1/8	50	100	T3	20.0
15.7	400	VQ 3-3V400	SF	57.1	2-1/4	52	120	T3	22.5
19.0	485	VQ 3-3V485	SF	57.1	2-1/4	52	120	T3	33.0
25.0	635	VQ 3-3V635	SF	57.1	2-1/4	52	120	T3	45.0
33.5	850	VQ 3-3V900	SF	57.1	2-1/4	52	120	T3	75.0

Nota. En la imagen se encuentra la descripción de la polea que se eligió para trabajar. Tomado de: Intermecc S.A., "Catálogo de Poleas en 'V,'" p. 60, 2015, [Online]. Available: <http://www.intermec.com.co/literatura.php> [44]

Según el catálogo la Polea escogida es PQ3-3V90 esta polea requiere un Buje SH para ser acoplada al eje, para acoplar las poleas al buje el proveedor aconseja utilizar los bujes QD de Intermecc.

$$Relacion: \frac{147.12 \text{ Rpm}}{2} = 73.56 \text{ Rpm}$$

De la ecuación (2)

$$D_{Polea\ 6} = \frac{0.09 \times 147.12}{73.56} = 0,18m$$

Se continúa calculando la polea de ingreso al tercer eje, eje de salida:

Figura 46

Tabla de poleas para correa tipo 3V



www.intermec.com.co

TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)										CORREAS TIPO 3V
Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)										RPM del Eje más Rápido
115	120	125	135	140	150	165	175	200	270	
0.37	0.40	0.43	0.47	0.50	0.55	0.61	0.65	0.78	1.07	100
0.70	0.75	0.81	0.88	0.95	1.04	1.15	1.23	1.48	2.04	200
1.01	1.10	1.17	1.27	1.37	1.50	1.66	1.80	2.14	2.95	300
1.30	1.40	1.52	1.64	1.77	1.94	2.15	2.32	2.78	3.84	400
1.60	1.72	1.85	2.00	2.17	2.37	2.63	2.84	3.40	4.70	500
1.80	1.95	2.10	2.28	2.46	2.70	3.00	3.22	3.86	5.32	575
2.07	2.25	2.45	2.67	2.95	3.30	3.70	4.05	4.90	6.50	600

Nota. Diámetro para poleas. Tomado de: Intermec S.A., “Catalogo de Poleas en “V,”” p. 28, 2015, [Online]. Available: <http://www.intermec.com.co/literatura.php> [44]

Al volver al catálogo es evidente que la polea requerida no se encuentra disponible es por esto por lo que se decide trabajar con la de 200 y se procede a calcular el número de Rpm de entrada a este eje:

De la ecuación (1):

$$N_{Polea\ 6} = \frac{0.09 \times 147.12}{0.2} = 66.204Rpm$$

Para poder determinar el material de las poleas es necesario conocer la velocidad a cuál estará sometida la polea:

$$(3) \ v = \frac{Rpm_{Polea} \times 2\pi}{60} \times \frac{D_{Polea}}{2 \times 1000}$$

Según la ecuación (3)

$$v_{Polea5} = 2.8 \text{ m/s}$$

$$v_{Polea6} = 0.69 \text{ m/s}$$

Según el catálogo de Intermec se recomienda utilizar una polea hecha con una fundición gris GG20 para que pueda soportar las velocidades a las cuales será sometida la polea.

2. Diseño de los ejes.

Como ya se mencionó anteriormente el acero que se va a utilizar para el diseño es un AISI 4340 este cuenta con una resistencia a la tensión (Sut) de 99.535 ksi y resistencia de fluencia (Sy) de 62.565 ksi. Lo siguiente a realizar es el cálculo del torque ejercido en el primer juego de poleas ubicadas en el primer eje de la caja reductora, para esto se utiliza la siguiente ecuación, además, se van a calcular como cargas estáticas ya que estas no van a ser variables ni fluctuantes por ende el análisis se realizará de una manera similar a la de una estructura estática:

$$(4) P = T \times \omega$$

$$1.28 \text{ Hp} = 8448 \text{ lb.in/seg}$$

Como ya se mencionó anteriormente las Rpm de entrada al primer eje son 611.11 Rpm

De la ecuación (4)

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Esta fórmula se puede encontrar en el libro de "Norton diseño de máquinas un enfoque integrado pagina 415"

$$T = \frac{8448 \text{ lb.} \frac{\text{in}}{\text{seg}}}{64 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}}$$

$$T = 132 \text{ lb.in}$$

Este va a ser exactamente igual en las dos poleas que van a ir en este eje, por ende:

$$T_{P4} = 132 \text{ lb.in}$$

$$T_{P5} = 132 \text{ lb.in}$$

Para calcular las fuerzas a las cuales es sometida la polea en el plano z-y se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$F_2 \times r - F_1 \times r = T$$

Al despejar la formula se obtiene:

$$F_n r = T$$

Para analizar la polea 2 es necesario utilizar trigonometría ya que esta no se encuentra concéntrica con el tercer eje de la caja reductora, por lo tanto:

$$F_{nP2z} = \frac{T}{r}$$

$$F_{nP3z} = \frac{T}{r}$$

$$F_{np2} = 24.84 lb$$

$$F_{nP3z} = 121.92 lb$$

Para este plano necesitamos la componente en Z, por ende:

$$F_{np2z} = F_{np2} \text{seno}(22.08^\circ) = 9.33 lb$$

Para la fuerza flectora del eje y-z se utiliza otra fórmula del mismo libro donde:

$$F_{sp} = F_n \times 1.5$$

Ese 1.5 es un factor de diseño para calcular la flexión de los ejes y también se encuentra en el Norton.

$$F_{sp2z} = 14 lb$$

$$F_{SP3z} = 182.89 lb$$

Figura 47
Esquema eje X-Z



Nota. Con ayuda de un software especializado se dibujaron las fuerzas en el eje, es importante recalcar que esto solo es un estimado para compararlo con los cálculos ya que el software no toma valores exactos, este los aproxima. Tomado de: MDSolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular las reacciones en este eje con la ecuación de equilibrio de momentos y fuerzas en el eje:

$$\sum M = 0$$

$$\sum F = 0$$

De la ecuación (7):

$$F_{sP2z} \times 2.04in + F_{sP3z} \times 6.48in + R_{2z} \times 16.37in = 0$$

$$R_{2z} = \frac{F_{sP2z} \times 2.04in + F_{sP3z} \times 6.48in}{16.37in}$$

$$R_{2z} = 74.14 \text{ lb}$$

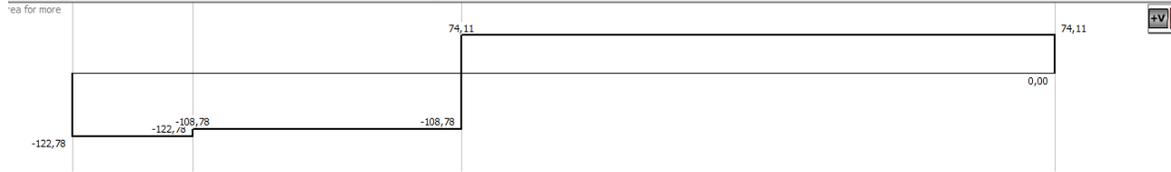
De la ecuación (8):

$$R_{1z} + F_{sP2z} + F_{sP3z} + R_{2z} = 0$$

$$R_{1z} = -122.75 \text{ lb}$$

Figura 48

Diagrama de cortantes en el eje



Nota. con ayuda del software especializado MDsolids 4.0 se dibuja el diagrama de Cortantes y se corroboran los valores hallados. Tomado de: MDsolids 4.0.

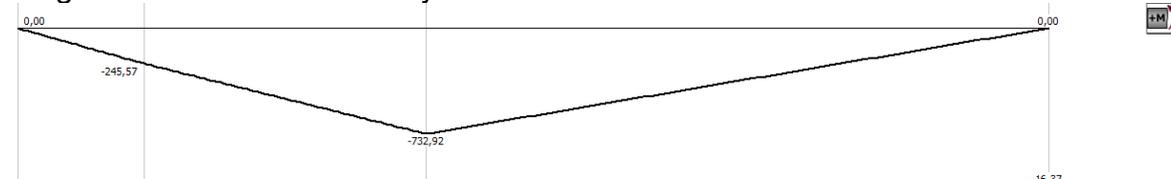
Se procede a calcular los Momentos flectores

$$M_{z1} = R_{1z} \times 2.03in = -250.05 lb.in$$

$$M_{z2} = (R_{z1} + F_{sp2z}) \times 4.44in + M_{z1} = -733.26 lb.in$$

Figura 49

Diagrama de flectores en el eje



Nota. con ayuda del software especializado MDsolids se dibuja el diagrama de Momentos flectores y se corroboran los valores hallados.

Para el plano X-Y se realiza el mismo proceso

Al despejar la formula se obtiene:

$$F_{sp2y} = F_{np2} \cos(22.08^\circ) \times 1.5 = 34.52 lb$$

Es importante tener en cuenta que en este plano aparecen otras dos fuerzas causadas por los pesos de las poleas y los bujes, en este caso:

$$F_{p2} = -9 lb$$

$$F_{p3} = -1.6 \text{ lb}$$

Figura 50

Esquema eje X-Y



Nota. fuerzas aplicadas en el eje en los planos X-Y. Tomado de: MDsolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular las reacciones en este eje con la ecuación de equilibrio de momentos y fuerzas en el eje:

De la ecuación (7):

$$F_{sp2y} \times 2.04in + F_{p2} \times 2.04in + F_{p3} \times 6.48in + R_{2y} \times 16.37in = 0$$

Para hacer este cálculo no se tiene en cuenta el peso de las poleas ya que este no es significativo con respecto a las otras magnitudes que interactúan en los cálculos.

$$R_{2y} = \frac{F_{p2} \times 2.04in + F_{p3} \times 6.48in + F_{sp2y} \times 2.04in}{16.37in}$$

$$R_{2y} = 2.54 \text{ lb}$$

De la ecuación (8):

$$R_{1y} + F_{sp2y} + R_{2y} + F_{p2} + F_{p3} = 0$$

$$R_{1y} = -21.38 \text{ lb}$$

Figura 51

Diagrama de cortantes en el eje



Nota. Diagrama de fuerza cortante. Tomado de: MDsolids 4.0.

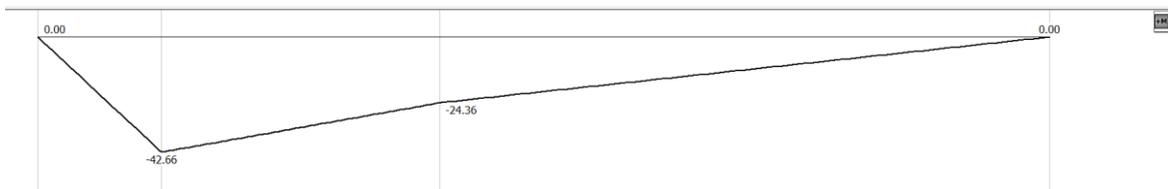
Se procede a calcular los Momentos flectores

$$M_{y1} = R_{1y} \times 2.04in = -43.53 lb.in$$

$$M_{y2} = (F_{p2} + R_{y1} + F_{sp2y}) \times 4.44in + M_{y1} = -25.15 lb.in$$

Figura 52

Diagrama de flectores en el eje



Nota. Diagrama de momento flector. Tomado de: MDsolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular los momentos máximos en los ejes:

$$|M_1| = \sqrt{M_{z1}^2 + M_{y1}^2} = 253.82 lb.in$$

$$|M_2| = \sqrt{M_{z2}^2 + M_{y2}^2} = 733.69 lb.in$$

Para calcular los tamaños de los ejes se realiza la misma el mismo procedimiento ya explicado en la memoria de cálculos de los ejes, obteniendo

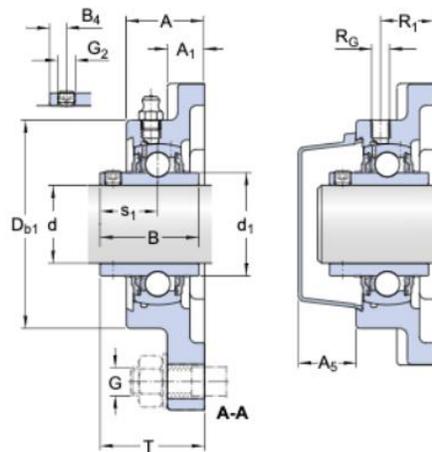
$$d_1 = 0.49 in$$

$$d_2 = 0.60 \text{ in}$$

Para la selección de los rodamientos se realizó el mismo procedimiento que en la memoria ya presentada en el documento principal:

Figura 53

Croquis de soporte y rodamiento de 1 in



Nota. "UCF 205-16 - Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada | SKF."

[https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF 205-16](https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF-205-16)
(accessed Jun. 04, 2021).

Figura 54

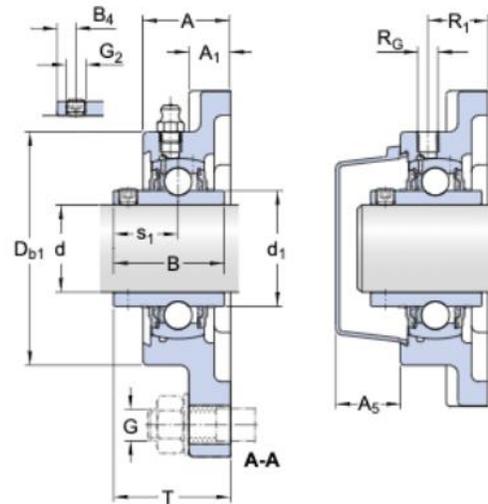
Dimensiones del soporte y rodamiento 1 in

d	1 in
d ₁	≈ 1.327 in
A	1.063 in
A ₁	0.512 in
A ₅	0.807 in
B	1.339 in
B ₄	0.217 in
D _{b1}	2.677 in
J	2.756 in
L	3.74 in
N	0.472 in
s ₁	0.563 in

Nota. “UCF 205-16 - Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada | SKF.”
[https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF 205-16](https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF-205-16) (accessed Jun. 04, 2021).

Figura 55

Croquis de soporte y rodamiento de 1-3/8 in



Nota. “UCF 207-22 - Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada | SKF.”

<https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF-207-22> (accessed Jun. 04, 2021).

Figura 56

Dimensiones del soporte y rodamiento 1-3/8 in

d	1.375 in
d ₁	≈ 1.843 in
A	1.26 in
A ₁	0.591 in
A ₅	0.965 in
B	1.689 in
B ₄	0.256 in
D _{b1}	3.543 in
J	3.622 in
L	4.646 in
N	0.551 in
s ₁	1 in

Nota. “UCF 207-22 - Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada | SKF.”
<https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF-207-22> (accessed Jun. 04, 2021).

Según los cálculos realizados el diámetro mínimo del eje debe ser de 0.49 in en la primera sección de eje y 0.60 in en la segunda sección. Para el primer eje se seleccionó de rodamiento de bolas con pestaña cuadrada, donde primera sección se va a llevar un soporte UCF 207-22 y la segunda un soporte UCF 205-16 ya que por parámetros de diseño se van a utilizar un eje de 1-11/16 in que se va a reducir a 1 in. Como SKF no tiene existencia de soportes para eje de 1-11/16 se va a utilizar uno de 1-3/8 y se va a desbastar el eje en el acople del rodamiento para que este pueda funcionar correctamente.

Finalmente, para calcular la distancia entre centro del motor al primer eje contamos con:

$$C_{Motor-eje\ 1} = 12.13\ in$$

Según el catálogo de Intermecc

$$C_{min} = 0,7 \times (D + d) = 8.95in$$

$$C_{Max} = 2 \times (D + d) = 25.59 in$$

Como se puede observar se están cumpliendo con los parámetros en los cuales las correas funcionan de manera eficaz.

Para el segundo eje:

$$(4) P = T \times \omega$$

$$1.28 Hp = 8448 lb.in/seg$$

Como ya se mencionó anteriormente las Rpm de entrada al segundo eje son 147.12 Rpm

De la ecuación (4)

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Esta fórmula se puede encontrar en el libro de "Norton diseño de máquinas un enfoque integrado pagina 415"

$$T = \frac{8448 lb. \frac{in}{seg}}{15.4 \frac{rad}{seg}}$$

$$T = 548.35 lb.in$$

Este va a ser exactamente igual en las dos poleas que van a ir en este eje, por ende:

$$T_{P2} = 548.35 lb.in$$

$$T_{P3} = 548.35 lb.in$$

Para calcular las fuerzas a las cuales es sometida la polea en el plano z-y se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$F_2 \times r - F_1 \times r = T$$

Esta fórmula se puede encontrar en el libro de "Norton diseño de máquinas un enfoque integrado pagina 423"

Al despejar la formula se obtiene:

$$F_n r = T$$

Para analizar la polea 5 es necesario utilizar trigonometría ya que esta no se encuentra concéntrica con el primer eje de la caja reductora, por lo tanto:

$$F_{nP4z} = \frac{T}{r}$$

$$F_{np4z} = 103.17 \text{ lb}$$

$$F_{np5} = 428.55 \text{ lb}$$

Para este plano necesitamos la componente en Z, por ende:

$$F_{np5z} = F_{np5} \cos(32.37^\circ) = 361.96 \text{ lb}$$

$$F_{sp} = F_n \times 1.5$$

Ese 1.5 es un factor de diseño para calcular la flexión de los ejes y también se encuentra en el Norton.

$$F_{sp4z} = -154.76 \text{ lb}$$

$$F_{sp5z} = 542.94 \text{ lb}$$

Figura 57
Esquema eje X-Z



Nota: Con ayuda de un software especializado se dibujaron las fuerzas en el eje, es importante recalcar que esto solo es un estimado para compararlo con los cálculos ya que el software no toma valores exactos, este los aproxima. Tomado de: MDSolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular las reacciones en este eje con la ecuación de equilibrio de momentos y fuerzas en el eje:

$$(7) \sum M = 0$$

$$(8) \sum F = 0$$

De la ecuación (7):

$$F_{s_{p4z}} \times 6.5in + F_{s_{p5z}} \times 9.67in + R_{2z} \times 16.37in = 0$$

Para hacer este cálculo no se tiene en cuenta el peso de las poleas ya que este no es significativo con respecto a las otras magnitudes que interactúan en los cálculos.

$$R_{2z} = \frac{F_{s_{p5z}} \times 9.67in + F_{s_{p4z}} \times 6.5in}{16.37in}$$

$$R_{2z} = 259.42 \text{ lb}$$

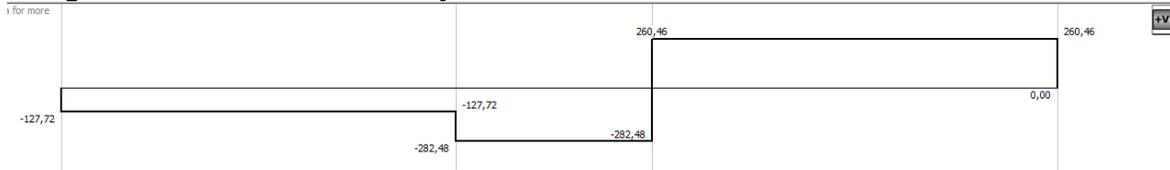
De la ecuación (8):

$$R_{1z} + F_{s_{p4z}} + F_{s_{p5z}} + R_{2z} = 0$$

$$R_{1z} = -128.76 \text{ lb}$$

Figura 58

Diagrama de cortantes en el eje



Nota: con ayuda del software especializado MDsolids 4.0 se dibuja el diagrama de Cortantes y se corroboran los valores hallados. Tomado de: MDsolids 4.0.

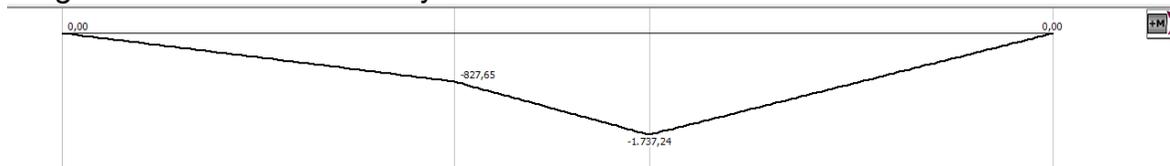
Se procede a calcular los Momentos flectores

$$M_{z1} = R_{1z} \times 6.48 \text{ in} = -834.42 \text{ lb.in}$$

$$M_{z2} = (R_{z1} + F_{sp4z}) \times 3.18 \text{ in} + M_{z1} = -1738.44 \text{ lb.in}$$

Figura 59

Diagrama de flectores en el eje



Nota: con ayuda del software especializado MDsolids se dibuja el diagrama de Momentos flectores y se corroboran los valores hallados.

Para el plano X-Y se realiza el mismo proceso

Al despejar la formula se obtiene:

$$F_{nP_y} = \frac{T}{r}$$

$$F_{nP5} = 642.83 \text{ lb}$$

$$F_{sp5y} = F_{np5} \text{seno}(35.8^\circ) = 229.44 \text{ lb}$$

$$F_{sP5y} = 344.16 \text{ lb}$$

Es importante tener en cuenta que en este plano aparecen otras dos fuerzas causadas por los pesos de las poleas y los bujes, en este caso:

$$F_{p4} = -13.6 \text{ lb}$$

$$F_{p5} = -5 \text{ lb}$$

Figura 60

Esquema eje X-Y



Nota: fuerzas aplicadas en el eje en los planos X-Y. Tomado de: MDsolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular las reacciones en este eje con la ecuación de equilibrio de momentos y fuerzas en el eje:

De la ecuación (7):

$$F_{sP5y} \times 9.67 \text{ in} + F_{p4} \times 6.48 \text{ in} + F_{p5} \times 9.67 \text{ in} + R_{2y} \times 16.37 \text{ in} = 0$$

$$R_{2y} = \frac{F_{sP5y} \times 9.68 \text{ in} + F_{p4} \times 6.48 \text{ in} + F_{p5} \times 9.67 \text{ in}}{16.37 \text{ in}}$$

$$R_{2y} = -211.61 \text{ lb}$$

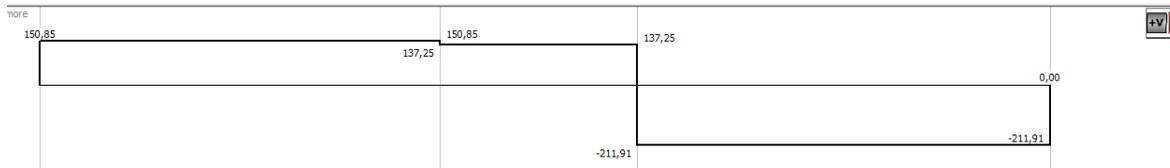
De la ecuación (8):

$$R_{1y} + F_{sP5y} + F_{p5} + F_{p4} + R_{2y} = 0$$

$$R_{1y} = 151.15 \text{ lb}$$

Figura 61

Diagrama de cortantes en el eje



Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: MDSolids 4.0.

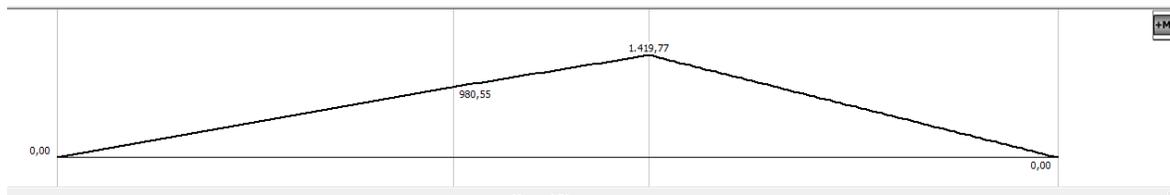
Se procede a calcular los Momentos flectores

$$M_{y1} = R_{1y} \times 6.48in = 979.48 lb.in$$

$$M_{y2} = M_{y1} + (R_{1y} - F_{p4}) \times 3.19in = 1418.1 lb.in$$

Figura 62

Diagrama de flectores en el eje



Noa: diagrama de momento flector. Tomado de: MDSolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular los momentos máximos en los ejes:

$$|M_1| = \sqrt{M_{z1}^2 + M_{y1}^2} = 1286.72 lb.in$$

$$|M_2| = \sqrt{M_{z2}^2 + M_{y2}^2} = 2243.45 lb.in$$

Para calcular los tamaños de los ejes se realiza la misma el mismo procedimiento ya explicado en la memoria de cálculos de los ejes

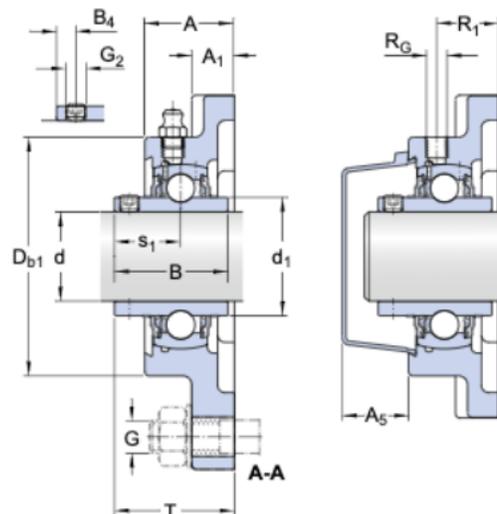
$$d_1 = 0.82$$

$$d_2 = 0.89$$

Para la selección de los rodamientos se realizó el mismo procedimiento que en la memoria ya presentada en el documento principal:

Figura 63

Croquis de soporte y rodamiento de 2 in



Nota. "UCF 211-32 - Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada | SKF."

<https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF-211-32> (accessed Jun. 04, 2021).

Figura 64

Dimensiones del soporte y rodamiento 2 in

d	2 in
d ₁	≈ 2.756 in
A	1.693 in
A ₁	0.709 in
A ₅	1.476 in
B	2.189 in
B ₄	0.374 in
D _{b1}	5.118 in
J	5.118 in
L	6.378 in
N	0.748 in
s ₁	1.315 in

Nota. “UCF 211-32 - Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada | SKF.”
<https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF-211-32> (accessed Jun. 04, 2021).

Según los cálculos realizados el diámetro mínimo del eje debe ser de 0.822 in en la primera sección de eje y 0.89 in en la segunda sección. Para el segundo eje se va a utilizar un soporte de rodamiento de bolas con pestaña cuadrada, donde la primera sección se va a llevar el soporte UCF 211-32, como se puede apreciar en las figuras 25 y 26, y la segunda un soporte UCF207-22, este se puede apreciar en las figuras 17 y 18, ya que por diseño se van a utilizar un eje de 2-1/8 in que se va a reducir a 1-3/8 in. Como SKF no tiene existencia de soportes para eje de 2-1/8 se va a utilizar uno de 2 y se va a desbastar el eje en el acople del rodamiento para que este pueda funcionar correctamente.

Finalmente, para calcular la distancia entre centro del motor al primer eje contamos con:

$$C_{eje1-eje2} = 12.81 \text{ in}$$

Según el catálogo de Intermec

$$C_{min} = 0,7 \times (D + d) = 7.02 \text{ in}$$

$$C_{Max} = 2 \times (D + d) = 20.08 \text{ in}$$

Como se puede observar se están cumpliendo con los parámetros en los cuales las correas funcionan de manera eficaz.

Para el tercer eje:

$$(4) P = T \times \omega$$

$$1.28 \text{ Hp} = 8448 \text{ lb. in/seg}$$

Como ya se mencionó anteriormente las rpm de entrada al tercer eje son 66.2 rpm

De la ecuación (4)

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Esta fórmula se puede encontrar en el libro de "Norton diseño de máquinas un enfoque integrado pagina 415"

$$T = \frac{8448 \text{ lb.} \frac{\text{in}}{\text{seg}}}{6.93 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}}$$

$$T = 1218.55 \text{ lb. in}$$

Para calcular las fuerzas a las cuales es sometida la polea en el plano z-y se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$(5) F_2 \times r - F_1 \times r = T$$

Esta fórmula se puede encontrar en el libro de "Norton diseño de máquinas un enfoque integrado pagina 423"

Al despejar la formula se obtiene:

$$F_n r = T$$

Para analizar la polea 6 es necesario utilizar trigonometría ya que esta no se encuentra concéntrica con el segundo eje de la caja reductora, por lo tanto:

$$F_{nPz} = \frac{T}{r}$$

$$F_{np6z} = 309.51 \text{ lb}$$

Para este plano necesitamos la componente en Z, por ende:

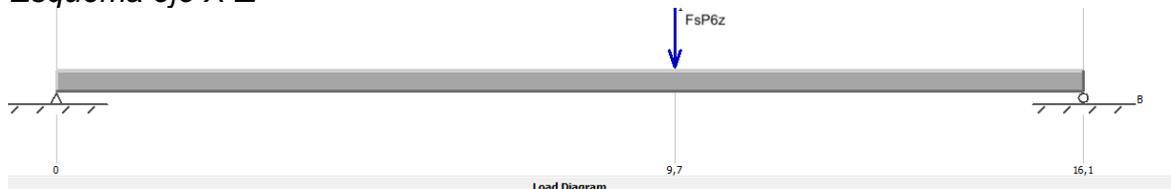
$$F_{np6z} = F_{np6} \cos(32.37^\circ) = 261.42 \text{ lb}$$

$$(6) F_{sp6} = F_n \times 1.5$$

Ese 1.5 es un factor de diseño para calcular la flexión de los ejes y también se encuentra en el Norton.

$$F_{sp6z} = -392.12 \text{ lb}$$

Figura 65
Esquema eje X-Z



Nota: Con ayuda de un software especializado se dibujaron las fuerzas en el eje, es importante recalcar que esto solo es un estimado para compararlo con los cálculos ya que el software no toma valores exactos, este los aproxima. Tomado de: MDSolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular las reacciones en este eje con la ecuación de equilibrio de momentos y fuerzas en el eje:

$$(7) \sum M = 0$$

$$(8) \sum F = 0$$

De la ecuación (7):

$$F_{sp6z} \times 9.67in + R_{2z} \times 16.37in = 0$$

Para hacer este cálculo no se tiene en cuenta el peso de las poleas ya que este no es significativo con respecto a las otras magnitudes que interactúan en los cálculos.

$$R_{2z} = \frac{F_{sp6z} \times 9.67in}{16.37in}$$

$$R_{2z} = -235.57 lb$$

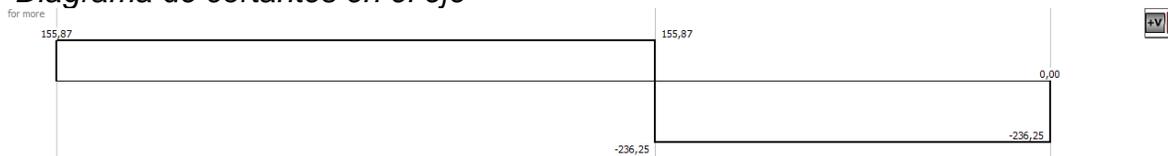
De la ecuación (8):

$$R_{1z} + F_{sp6z} + R_{2z} = 0$$

$$R_{1z} = 156.55 lb$$

Figura 66

Diagrama de cortantes en el eje



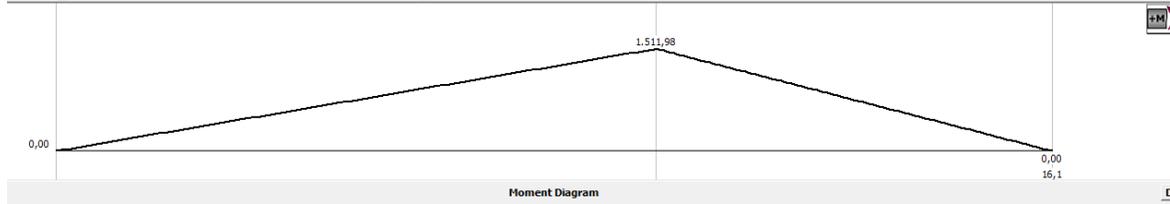
Nota: con ayuda del software especializado MDsolids 4.0 se dibuja el diagrama de Cortantes y se corroboran los valores hallados. Tomado de: MDsolids 4.0.

Se procede a calcular los Momentos flectores

$$M_{z1} = R_{1z} \times 9.67in = 1513.69 lb.in$$

Figura 67

Diagrama de flectores en el eje



Nota: con ayuda del software especializado MDsolids se dibuja el diagrama de Momentos flectores y se corroboran los valores hallados.

Para el plano X-Y se realiza el mismo proceso

Al despejar la formula se obtiene:

$$F_{np6} = 309.51 \text{ lb}$$

$$F_{np6y} = F_{np6} \text{seno}(32.37^\circ) = 165.71 \text{ lb}$$

$$F_{sp6y} = 248.56 \text{ lb}$$

Es importante tener en cuenta que en este plano aparece otra fuerza causada por el peso de la polea y el buje, en este caso:

$$F_{p6} = -13.6 \text{ lb}$$

Figura 68

Esquema eje X-Y



Nota: fuerzas aplicadas en el eje en los planos X-Y. Tomado de: MDsolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular las reacciones en este eje con la ecuación de equilibrio de momentos y fuerzas en el eje:

De la ecuación (7):

$$F_{sp6y} \times 9.67in + F_{p6} \times 9.67in + R_{2y} \times 16.37in = 0$$

Para hacer este cálculo no se tiene en cuenta el peso de las poleas ya que este no es significativo con respecto a las otras magnitudes que interactúan en los cálculos.

$$R_{2y} = \frac{F_{sp6y} \times 9.68in - F_{p6} \times 9.67in}{16.37in}$$

$$R_{2y} = 141.16 \text{ lb}$$

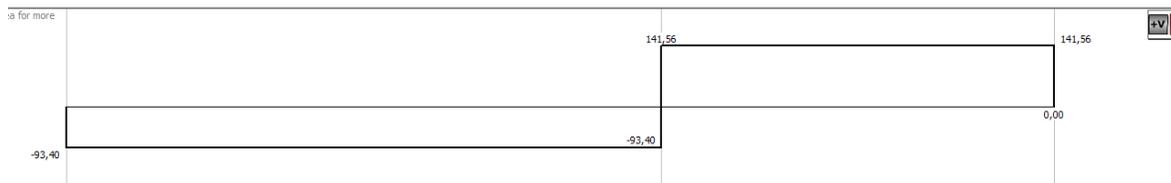
De la ecuación (8):

$$R_{1x} + F_{sp5y} + R_{2y} = 0$$

$$R_{1y} = -93.81 \text{ lb}$$

Figura 69

Diagrama de cortantes en el eje



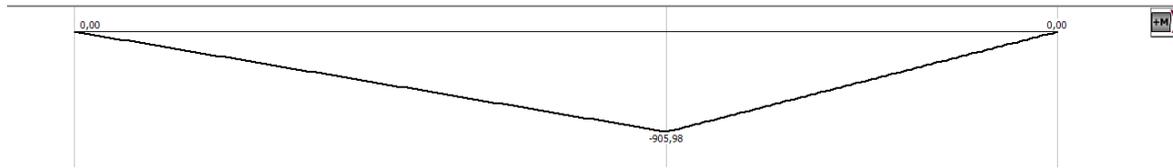
Nota: diagrama de fuerza cortante. Tomado de: MDsolids 4.0.

Se procede a calcular los Momentos flectores

$$M_{y2} = R_{1y} \times 9.67in = -907 \text{ lb.in}$$

Figura 70

Diagrama de flectores en el eje



Nota: diagrama de momento flector. Tomado de: MDsolids 4.0.

A continuación, se procede a calcular los momentos máximos en los ejes:

$$|M_1| = \sqrt{M_{z1}^2 + M_{y1}^2} = 1764.63 \text{ lb.in}$$

Para calcular los tamaños de los ejes se realiza la misma el mismo procedimiento ya explicado en la memoria de cálculos de los ejes

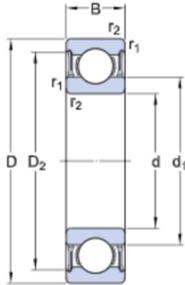
$$d1 = 1.03 \text{ in}$$

Para la selección de los rodamientos se realizó el mismo procedimiento que en la memoria ya presentada en el documento principal:

Según los cálculos realizados el diámetro mínimo del eje debe ser de 1.03 in, para este eje se va a utilizar una sección de 2-1/8 por parámetros de diseño y el rodamiento seleccionado es el 61810-2RZ del catálogo SKF.

Figura 71

Especificaciones técnicas rodamiento



DIMENSIONES

d	50 mm
D	65 mm
B	7 mm
d ₁	≈ 54.67 mm
D ₂	≈ 61.8 mm
r _{1,2}	min. 0.3 mm

Nota. “61810-2RZ - Rodamientos rígidos de bolas | SKF.”

<https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-61810-2RZ> (accessed Jun. 04, 2021).

Finalmente, para calcular la distancia entre centro del motor al primer eje contamos con:

$$C_{\text{eje2-eje 3}} = 12.22 \text{ in}$$

Según el catálogo de Intermecc

$$C_{\text{min}} = 0,7 \times (D + d) = 6.41 \text{ in}$$

$$C_{\text{Max}} = 2 \times (D + d) = 18.89 \text{ in}$$

Como se puede observar se están cumpliendo con los parámetros en los cuales las correas funcionan de manera eficaz.

Para el cálculo de las deflexiones en estos ejes se utilizó el mismo procedimiento ya que:

$$\theta = \frac{T}{G} \left(\frac{l_{\text{eje}}}{J_{\text{eje}}} + \frac{l_{\text{polea motor}}}{J_{\text{polea motor}}} + \frac{l_{\text{polea 1}}}{J_{\text{polea 1}}} \right)$$

Obteniendo como resultados:

Tabla 11*Resultados de la deflexión de los ejes.*

	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Deflexión en radianes	1,85031E-05	3,12295E-05	2,91409E-06
Deflexión en grados	0,001060149	0,001789316	0,000166965

Nota. Deflexión de los ejes de la caja reductora, cálculos realizados en Excel para verificar la deflexión de los ejes causados por la torsión aplicada.

Como se puede observar la conclusión es la misma que la ya antes mencionada en la memoria de cálculos.

Por otro Para la selección de la correa es necesario saber cuál es la longitud primitiva de la correa por ende se desarrolla la siguiente ecuación:

$$L_p = 2C + \frac{\pi \times (D_1 + D_2)}{2} \times \frac{(D_1 - D_2)^2}{4C}$$

Donde C es la distancia entre centros de los eje y D son los diámetros de las poleas.

Tabla 12*Selección correas.*

	Eje Motor-1	Eje 1-2	Eje 2-3
Longitud primitiva (in)	47.5	45	42.5
Selección correa	3VX475	3VX450	3VX425

Nota. Longitud de las correas de la caja reductora, cálculos realizados en Excel para La selección de las correas.