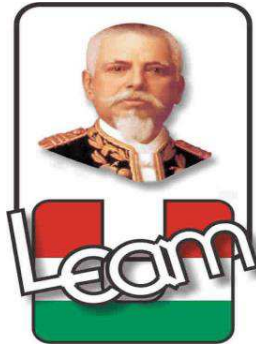


UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA:

“DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO”

PROYECTO DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**EDDY ADRIÁN CEVALLOS PRADO
BRIAN ADRIÁN MENDOZA WILLIAMS**

DIRECTORA DE TESIS:

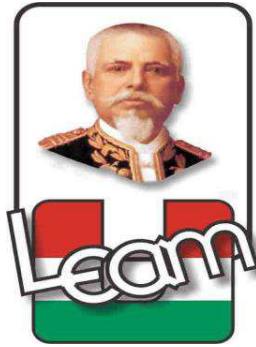
DRA. VERÓNICA ÁVILA AYÓN, PhD

MANTA, JUNIO DEL 2017

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA:

“DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO”

PROYECTO DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**EDDY ADRIÁN CEVALLOS PRADO
BRIAN ADRIÁN MENDOZA WILLIAMS**

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. VERÓNICA ÁVILA AYÓN, PhD

MANTA, JUNIO DEL 2017



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo investigativo, fue realizado en su totalidad por los egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, el Sr. Eddy Adrián Cevallos Prado y el Sr. Brian Adrián Mendoza Williams, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil

Manta, Mayo del 2017

Dra. Verónica Ávila Ayón

DIRECTORA DE TESIS



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

AUTORÍA

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a los autores, y el patrimonio intelectual de la tesis de grado corresponderá a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Egdo. Eddy Adrián Cevallos Prado

Egdo. Brian Adrián Mendoza Williams



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Edison y Martha que me apoyaron y aconsejaron en cada etapa de mi vida.

A mis abuelos Carlos y Rosa por el apoyo y cariño brindados en todo momento.

A mis demás familiares por su apoyo incondicional.

Y a mis docentes que marcaron cada etapa de mi camino universitario.

Eddy Cevallos



AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado.

Le doy gracias a mis padres Edison y Martha por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

Agradezco también a mis abuelos Carlos y Rosa que siempre estuvieron a mi lado apoyándome y brindándome su cariño incondicional.

Le agradezco la confianza el apoyo y dedicación de tiempo a mis docentes, y a mi directora de tesis la Dra. Verónica Ávila por haber compartido conmigo sus conocimientos y guiarme a través de esta última etapa en mi formación profesional.

Y a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

Eddy Cevallos



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

DEDICATORIA

Con infinito amor, éste es el momento oportuno, para dedicar el presente trabajo a mis padres, Iván y Letty, por ser ellos el pilar fundamental de mi vida, y mi motivación para salir adelante.

A ellos, que aún en momentos de dificultades y problemas fueron la luz y fortaleza para no rendirme jamás.

Brian Mendoza



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

AGRADECIMIENTO

Estar cumpliendo la etapa culminante de mi carrera profesional, merece el más sincero agradecimiento a Dios, Creador del Universo, por su magnánimo amor, y por el milagro de la vida que me ha regalado, no alcanzarían las palabras para agradecerle porque son muchos sentimientos para expresarle.

A mi directora de Tesis, Dra. Verónica Ávila, por su ayuda constante en el desarrollo del trabajo de investigación, y finalmente a mi compañero de Tesis, por su paciencia y apoyo durante este período.

Brian Mendoza



RESUMEN

Este trabajo consta del estudio de perfiles pultruidos a base de fibra de vidrio, tanto de la materia prima que se utiliza, como de la maquinaria requerida para su fabricación.

Con la incorporación de nuevas tecnologías los materiales livianos y fáciles de producir están ganando terreno en el área de la construcción, este es el caso de los perfiles pultruidos, que representan una opción viable frente a los perfiles de acero comunes.

La materia prima para la fabricación de estos perfiles consiste en hilos de fibra de vidrio y resinas epóxicas, y para su producción es necesaria una maquina especial llamada maquina pultrusora o de pultrusión.

La máquina de pultrusión se compone de un sistema de alimentación que incluye una estantería y un dispensador donde ira colocada la materia prima, que pasara por un tanque de impregnación de resina, y luego a un dado preformador donde se calentará hasta darle la forma y propiedades requeridas, todo esto guiado por un sistema de halado continuo que mantendrá los materiales en constante movimiento, al salir del dado la materia prima ya se ha convertido en un perfil que obtiene sus propiedades mecánicas gracias al sistema de halado que aporta una tracción constante al material, al final pasara por una sierra que se encargara de cortar los perfiles según la longitud especificada, teniendo así un perfil con excelentes propiedades mecánicas y buenos acabados.

En el presente trabajo se ha realizado el cálculo y diseño del sistema de alimentación que incluye la estantería y el dispensador; y del sistema de soportes, que incluye el soporte para el dado preformador, el soporte para el sistema de halado continuo y el soporte para la sierra.

Se ha planeado implantar la maquinaria en los laboratorios de la facultad de Mecánica Naval, de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. El costo aproximado para su implantación, incluida la losa de cimentación es de \$8565.95 dólares americanos.



ABSTRACT

This work consists of the study of pultruded profiles based on fiberglass, both the raw material used, and the machinery required for its manufacture.

With the incorporation of new technologies, lightweight and easy to produce materials are gaining ground in the construction area, this is the case of pultruded profiles, which represent a viable option compared to common steel profiles.

The raw material for the manufacture of these profiles consists of fiberglass yarns or wovens and epoxy resins, additional a pultrusión machine is required for production.

The pultrusion machine consists of a feeding system that includes a shelf and a dispenser where the raw material is placed, passing through a resin impregnation tank, and then to a preformator dice where it will heat up until give it the shape and required properties, all this guided by a continuous pull system that will keep the raw material in constant movement, After leaving the dice, the raw material has already become a profile that obtains its mechanical properties thanks to the pull system, which provides constant traction to the material, finally the profile will pass through a saw that will cut the profiles according to the specified length, resulting in a profile with excellent mechanical properties and good finishes.

In the present work it has been done the calculation and design of the feeding system including the shelf and the dispenser, and the support system, which includes the preforming dice support, the continuous pull system support and the saw support.

It has been planned to implement the machinery in the laboratories of the Faculty of Naval Mechanics of the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. The approximate cost for its implantation, including the slab of foundation is of \$ 8565.95 american dollars



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES, NOVEDAD Y ACTUALIDAD DEL TEMA	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
HIPÓTESIS.....	4
MÉTODOS Y TÉCNICAS	5
RESULTADOS ESPERADOS	5
ESTRUCTURA DEL TRABAJO	6
CAPÍTULO 1.....	6
1. LA PULTRUSIÓN COMO PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE PERFILES ESTRUCTURALES DE SECCIÓN CONSTANTE EN GRAN VOLUMEN.	6
1.1. Generalidades	6
1.2. Surgimiento y evolución del proceso de pultrusión	6
1.3. Ventajas y desventajas de la implementación del proceso de pultrusión	8
1.4. Características físicas, químicas y metalúrgicas del proceso de pultrusión.....	9
1.4.1. Resinas de poliéster insaturado.....	10
1.4.2. Resinas Epóxicas	11
1.5. Propiedades de los materiales obtenidos a través de la pultrusión	12
1.5.1. Matriz polimérica.	12
1.5.2. Refuerzo mecánico.	13
1.6. Elementos que intervienen en el proceso de pultrusión	14
1.6.1. Resinas	14
1.6.2. Carbonato de calcio	14
1.6.3. Fibras.....	15
1.6.4. Fibras y resinas naturales.....	15
1.7. Características de los perfiles fabricados por pultrusión.....	16
1.8. Propiedades mecánicas de los perfiles	16
1.8.1. Forma de las piezas.....	16
1.8.2. Dimensiones	17



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

1.8.3.	Espesores	17
1.8.4.	Aspecto.....	18
1.8.5.	Porcentaje (%) de refuerzo	18
1.9.	Características del equipamiento para el proceso de pultrusión	18
1.9.1.	Dispensador de refuerzo.	18
1.9.2.	Impregnador de resina	19
1.9.3.	Dado de preformado o preformador.....	19
1.9.4.	Dado de pultrusión	19
1.9.5.	Dispositivo de tiro	19
1.9.6.	Dispositivo de corte	20
1.10.	Máquinas de pultrusión. Principales características y propiedades	20
1.10.1.	Máquina de Pultrusión.....	20
CAPÍTULO 2.....		23
2. MODELOS ESTRUCTURALES PARA LA ESTRUCTURA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE LA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN.....		23
2.1.	Sistema de Alimentación	23
2.1.1.	Estantería.....	23
2.1.2.	Dispensador de mats.....	34
2.1.3.	Reservorio para resina	41
2.2.	Sistema de soportes	43
2.2.1.	Soporte para el dado	43
2.2.2.	Soporte para el sistema de halado	51
2.2.3.	Soporte para la sierra	58
2.3.	Modelación en Etabs	65
2.3.1.	Estantería.....	66
2.3.2.	Dispensador	73
2.3.3.	Soporte para el dado	78
2.3.4.	Soporte para el sistema de halado	84
2.3.5.	Soporte para la sierra	88
CAPÍTULO 3.....		91
3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE ACERO PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE LA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN		91
3.1.	Diseño de los elementos	91



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

3.1.1.	Estantería	92
3.1.2.	Dispensador	95
3.1.3.	Soporte para el dado	100
3.1.4.	Soporte para el sistema de halado	103
3.1.5.	Soporte para la sierra	106
3.1.6.	Dimensiones y secciones finales.....	111
3.2.	Diseño de conexiones	112
3.2.1.	Área de la garganta	113
3.3.	Placas de anclaje.....	115
3.3.1.	Área de la placa	115
3.4.	Diseño de la cimentación.....	116
3.4.1.	Acero de refuerzo	126
3.5.	Presupuesto	127
ANEXOS		128
PLANOS		128
CONCLUSIONES		129
RECOMENDACIONES		130
BIBLIOGRAFÍA		131



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista en planta de la estantería	25
Figura 2. Vista frontal de la estantería	25
Figura 3. Vista lateral de la estantería	26
Figura 4. Carga actuante por m ²	27
Figura 5. Áreas de aporte	27
Figura 6. Fórmulas para cargas equivalentes	27
Figura 7. Carga equivalente por ml	28
Figura 8. Tubo cuadrado 20x20x1.2 mm	30
Figura 9. Carga axial sobre la columna	31
Figura 10. Tubo cuadrado 20x20x1.2 mm	34
Figura 11. Vista frontal del dispensador	36
Figura 12. Vista lateral del dispensador	36
Figura 13. Carga equivalente por ml	37
Figura 14. Tubo redondo 2 7/8”	38
Figura 15. Carga axial sobre la columna	39
Figura 16. Tubo cuadrado 75x75x4.0 mm	40
Figura 17. Reservorio de resina automatizado	41
Figura 18. Reservorio de resina de acero	42
Figura 19. Reservorio de resina plástico	42
Figura 20. Vista 3D del soporte del dado	44
Figura 21. Carga actuante por m ²	45
Figura 22. Áreas de aporte	45
Figura 23. Fórmulas para cargas equivalentes	45
Figura 24. Carga actuante por ml.	46
Figura 25. Tubo cuadrado 40x40x1.5 mm	48
Figura 26. Carga axial sobre la columna	49
Figura 27. Tubo cuadrado 40x40x1.5 mm	50
Figura 28. Vista 3D del soporte para haladores	52



Figura 29. Carga actuante por m ²	52
Figura 30. Carga actuante por m ²	52
Figura 31. Fórmulas para cargas equivalentes	53
Figura 32. Carga actuante por ml	54
Figura 33. Tubo cuadrado 60x60x3.0 mm	55
Figura 34. Carga axial sobre la columna	56
Figura 35. Tubo cuadrado 60x60x3.0 mm	57
Figura 36. Vista 3D del soporte de la sierra	59
Figura 37. Carga actuante por m ²	59
Figura 38. Áreas de aporte	59
Figura 39. Fórmulas para cargas equivalentes	60
Figura 40. Carga equivalente por ml	61
Figura 41. Tubo cuadrado 20x20x1.2 mm	62
Figura 42. Carga axial sobre la columna	63
Figura 43. Tubo cuadrado 20x20x1.2 mm	64
Figura 44. Asignación de secciones (estantería)	66
Figura 45. Asignación de cargas horizontales (C.v.) (estantería)	67
Figura 46. Asignación de cargas verticales (C.v.) (estantería)	67
Figura 47. Chequeo de derivas (estantería)	68
Figura 48. Deriva calculada por Etabs (estantería)	69
Figura 49. Asignación de nuevas secciones (estantería)	69
Figura 50. Nuevo chequeo de derivas (estantería)	70
Figura 51. Deriva calculada por Etabs (estantería)	70
Figura 52. Revisión de deflexiones (estantería)	71
Figura 53. Deflexión máxima (estantería)	71
Figura 54. Asignación de secciones (dispensador)	73
Figura 55. Asignación de cargas verticales y horizontales (C.v.) (dispensador)	74
Figura 56. Chequeo de derivas (dispensador)	75
Figura 57. Deriva ex (x) calculada por Etabs (dispensador)	75



Figura 58. Deriva ex (x) calculada por Etabs (dispensador)	76
Figura 59. Revisión de deflexiones (dispensador)	77
Figura 60. Asignación de secciones (soporte del dado)	78
Figura 61. Asignación de cargas horizontales (soporte del dado)	79
Figura 62. Asignación de cargas verticales (C.v.) (soporte del dado)	79
Figura 63. Chequeo de derivas (soporte del dado)	80
Figura 64. Deriva calculada por Etabs (soporte del dado)	80
Figura 65. Nueva configuración del soporte para el dado	81
Figura 66. Nuevo chequeo de derivas (soporte del dado)	82
Figura 67. Deriva calculada por Etabs (soporte del dado)	82
Figura 68. Revisión de deflexiones (soporte del dado)	83
Figura 69. Deflexión máxima (soporte del dado)	83
Figura 70. Asignación de secciones (soporte de haladores)	84
Figura 71. Asignación de cargas horizontales (C.v.) (soporte de haladores)	85
Figura 72. Asignación de cargas verticales (C.v.) (soporte de haladores)	85
Figura 73. Chequeo de derivas (soporte de haladores)	86
Figura 74. Deriva calculada por Etabs (soporte de haladores)	86
Figura 75. Revisión de deflexiones (soporte de haladores)	87
Figura 76. Deflexión máxima (soporte de haladores)	87
Figura 77. Asignación de secciones (soporte de la sierra)	88
Figura 78. Asignación de cargas (C.v.) (soporte de la sierra)	89
Figura 79. Revisión de deflexiones (soporte de la sierra)	90
Figura 80. Deflexión máxima (soporte de la sierra)	90
Figura 81. Comprobación del D/C ratio (estantería)	92
Figura 82. Comprobación del D/C ratio (dispensador)	95
Figura 83. Chequeo de deflexiones (dispensador)	96
Figura 84. Asignación de nuevas secciones (dispensador)	96
Figura 85. Nueva comprobación del D/C ratio (dispensador)	97
Figura 86. Comprobación del D/C ratio (soporte del dado)	100



Figura 87. Comprobación del D/C ratio (soporte de haladores)	103
Figura 88. Comprobación del D/C ratio (soporte de la sierra)	106
Figura 89. Chequeo de deflexiones (soporte de la sierra)	106
Figura 90. Asignación de nuevas secciones (soporte de la sierra)	107
Figura 91. Nueva comprobación del D/C ratio (soporte de la sierra)	107
Figura 92. Tipo de conexión	112
Figura 93. Reacciones y momentos en los apoyos (sistema de haladores)	113
Figura 94. Definición de dimensiones (losa del sistema de alimentación)	118
Figura 95. Definición de dimensiones (losa del sistema de soportes)	118
Figura 96. Esfuerzos por carga vertical (losa del sistema de alimentación)	119
Figura 97. Esfuerzos por carga vertical (losa del sistema de soportes)	119
Figura 98. Comprobación de la eficiencia al punzonamiento (losa de sistema de alimentación)	120
Figura 99. Comprobación de la eficiencia al punzonamiento (losa de sistema de soportes)	120
Figura 100. Franjas de diseño en ambas direcciones (losa de sistema de alimentación)	120
Figura 101. Franjas de diseño en ambas direcciones (losa de sistema de soportes)	121
Figura 102. Diagrama de momentos en dirección x (losa de sistema de alimentación)	121
Figura 103. Diagrama de momentos en dirección y (losa de sistema de alimentación)	122
Figura 104. Diagrama de momentos en dirección x (losa de sistema de soportes)	122
Figura 105. Diagrama de momentos en dirección y (losa de sistema de soportes)	123
Figura 106. Área de refuerzo en dirección x (losa de sistema de alimentación)	123
Figura 107. Área de refuerzo en dirección x por franja (losa de sistema de alimentación)	124
Figura 108. Área de refuerzo en dirección y (losa de sistema de alimentación)	124
Figura 109. Área de refuerzo en dirección y por franja (losa de sistema de alimentación)	124
Figura 110. Área de refuerzo en dirección x (losa de sistema de soportes)	125
Figura 111. Área de refuerzo en dirección x por franja (losa de sistema de soportes)	125
Figura 112. Área de refuerzo en dirección y (losa de sistema de soportes)	125
Figura 113. Área de refuerzo en dirección y por franja (losa de sistema de soportes)	126



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades de las resinas de poliéster insaturado	11
Tabla 1: Propiedades de las resinas epóxicas	12
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	29
Tabla 4. Esfuerzos críticos admisibles para elementos a compresión	32
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	33
Tabla 5. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales redondos)	38
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	40
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	47
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	50
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	55
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	57
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	62
Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)	64
Tabla 6. Valores máximos de Δ_M	68
Tabla 7. Deflexiones máximas permisibles	72
Tabla 8. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Estantería)	92
Tabla 9. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Dispensador)	97
Tabla 10. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Soporte para el dado)	101
Tabla 11. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Soporte del sistema de halado). 103	
Tabla 12. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Soporte para la sierra)	108
Tabla 13. Dimensiones y secciones de la máquina	111
Tabla 14. Propiedades químicas de Electrodo E7018	112
Tabla 15. Tamaño mínimo de las soldaduras de filete	113
Tabla 16. Resistencia última de soldaduras de filete	114
Tabla 17. Presupuesto del proyecto	127



INTRODUCCIÓN

La pultrusión es un proceso de producción automatizado, de materiales a base de polímeros, con el fin de obtener grandes volúmenes de perfiles de plástico reforzado.

Consiste en someter la materia prima a un arrastre y parado por operaciones de impregnado conformado y corte. Las características del proceso y las instalaciones con que se fabrican permiten obtener grandes longitudes y un buen acabado en los perfiles, así como otras propiedades que lo hace un material de fácil comercialización.

El desarrollo de este proceso se realiza en la siguiente secuencia:

- Desenrollado y distribución de los refuerzos de fibra de vidrio u otros materiales.
- Impregnación de la resina y control de la relación resina-vidrio.
- Preformado gradual hasta alcanzar el perfil final.
- Conformado y curado de la matriz.
- Postcurado.
- Corte.

El proceso de pultrusión consta de varios elementos como: el dispensador de refuerzo, (en el cual se encuentra la estantería de hilo), el impregnador de resina (que es el que proporciona el baño de resina al refuerzo), el dado de preformado (cuya función es guiar para que el refuerzo impregnado adopte la forma correcta), el dado de pultrusión (que es aquel que produce el perfil final), el dispositivo de tiro y el dispositivo de corte (que corta el perfil en la longitud deseada). Todos estos elementos conforman la matriz general para realizar el proceso de pultrusión.

Este proceso ofrece varias ventajas tales como una alta velocidad de producción, versatilidad de formas y obtención de perfiles de grandes longitudes. Por lo expuesto anteriormente resulta de mucha importancia la implementación de este tipo de maquinaria con un adecuado sistema de soporte y alimentación.



ANTECEDENTES, NOVEDAD Y ACTUALIDAD DEL TEMA

Se conoce que en medios internacionales y ciertos nacionales se ha comenzado a implementar este proceso que convierte a los materiales en un producto tan resistente y estable como el acero, reemplazando a los perfiles de acero convencional. En el medio local de la construcción, la materia prima utilizada en la pultrusión normalmente sirve como refuerzo o complemento de materiales a base de polímeros como nylon, polipropileno, entre otros.

De acuerdo a Liberty Pultrusions, (2016), el proceso de pultrusión en países desarrollados como Estados Unidos lleva más de 40 años en el mercado y su uso sigue creciendo debido a las ventajas y beneficios de los productos pultruidos sobre otros materiales, como el acero, el aluminio o la madera, estas ventajas incluyen una alta resistencia a la corrosión, no son conductores de electricidad o el calor, son ligero, tienen un largo ciclo de vida y bajo mantenimiento. Debido a que estos materiales son fuertes y duraderos, a menudo su uso es más rentable que el uso de acero, aluminio y madera / madera estructural. Estos pesan en promedio un cuarto del peso del acero, pero son igual de fuertes, no son conductores y no se corroen ni se oxidan.

Para poder realizar este proceso sin ningún inconveniente es necesario una maquinaria de alta tecnología que sea capaz de ejecutar todo el proceso que va desde un baño de resina hasta el conformado curado y corte. El diseño de esta maquinaria, tanto de la estructura de alimentación como la de soporte se torna interesante para un ingeniero civil. Lograr el diseño y más aún, la construcción de este tipo de maquinaria permite explotar todos los beneficios que este proceso puede dar al medio local proporcionando una pieza o perfil idóneo.

En América Latina, países como México y Argentina están a la vanguardia en cuanto a los procesos de producción y comercialización de materiales pultruidos. Empresas especializadas se dedican a la creación de estos elementos plásticos reforzados con fibras de vidrio para ser producidos en masa y ser especialmente



resistentes a ambientes corrosivos, entre los materiales producidos se encuentran rejillas, barandas, bandejas portacables, sistemas de circulación completos y torres de enfriamiento. (CME-Argentina, 2015).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

En el ámbito local, el mayor volumen de perfiles que se comercializan para la construcción es de acero estructural. Esto representa una gran ganancia para cualquier empresa o entidad que distribuya este tipo de materiales por el alto costo.

En el caso de materiales a base de polímeros, a nivel local no se han explotado al máximo las cualidades y beneficios que pueden otorgar este tipo de materiales, que van desde una gran resistencia, rigidez y durabilidad hasta un bajo peso y calidad constante.

Cabe mencionar que una vez procesado y finalizado el producto, se puede obtener un perfil con acabados perfectos y grandes longitudes según las especificaciones del cliente. A su vez se puede obtener una variedad de perfiles estructurales, entre los cuales tenemos de tipo I, angulares, canales, entre otros, dependiendo del tipo de molde o de matriz que se utilice. Los perfiles a base de polímeros pueden servir como vigas, columnas, elementos decorativos, entre otros.

El sistema de pultrusión es un proceso complejo que requiere de tecnología, dominio, tiempo y esfuerzo para lograr su óptimo funcionamiento. La máquina consta de varias partes y elementos que deben ser diseñados apropiadamente, en especial la estructura de alimentación y soporte ya que es la que va a resistir el peso y las cargas de la estructura. Para esto se crearán varias alternativas a base de modelos utilizando un software de análisis estructural, con el fin de obtener la variante más idónea y factible como solución del sistema de alimentación y soporte para este tipo de maquinaria.



FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El interés de fabricación de una máquina de pultrusión para la producción de perfiles de plástico reforzado demanda del diseño de la estructura de alimentación y soporte.

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar la estructura de alimentación y soporte de la máquina de pultrusión utilizando estructuras metálicas que proporcione una solución factible de ejecución.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las características del proceso de pultrusión y el equipamiento utilizado para la producción de perfiles estructurales mediante esta técnica.
- Realizar la modelación estructural de una propuesta de estructura soporte utilizando estructuras de acero utilizando un software de diseño y cálculo estructural (ETABS).
- Diseñar la estructura de alimentación y soporte de la máquina de pultrusión utilizando una solución con estructuras de acero.

HIPÓTESIS

El diseño de la estructura de alimentación y soporte de la máquina de pultrusión utilizando estructuras metálicas representa una solución factible desde el punto de vista técnico y económico.



MÉTODOS Y TÉCNICAS

- Método de observación
- Método histórico lógico
- Método de modelación

RESULTADOS ESPERADOS

Diseño de la estructura de alimentación y soporte utilizando estructuras metálicas.



ESTRUCTURA DEL TRABAJO

CAPÍTULO 1

1. LA PULTRUSIÓN COMO PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE PERFILES ESTRUCTURALES DE SECCIÓN CONSTANTE EN GRAN VOLUMEN.

1.1. Generalidades

En este capítulo se estudiará el proceso de pultrusión para la producción de perfiles estructurales, éste es un proceso especialmente diseñado para altos volúmenes de producción, ya que es considerado como un proceso altamente rentable en producciones a gran escala.

Así mismo se abordarán temas relacionados a la materia que se utilizará, los elementos que intervienen en el proceso, el producto final obtenido, sus beneficios y aplicaciones en el área de la construcción, con el fin de fundamentar teóricamente el diseño de un sistema de alimentación y soporte de una máquina de pultrusión.

1.2. Surgimiento y evolución del proceso de pultrusión

El proceso de pultrusión se utiliza desde los años de 1975-1980 para la obtención de piezas sólidas o huecas de sección constante, sustituyendo así a materiales tradicionales como son el acero, el hormigón o la madera.

Una de las principales características de este proceso es la gran variedad de materiales que se pueden utilizar (diferentes tipos de resinas, fibras, cargas, etc.), cubriendo un amplio espectro de propiedades del compuesto final. Desde los años de 1980 este proceso es usado por la industria de Plásticos Reforzados en Fibra de Vidrio, los principales productos elaborados con este proceso fueron la fabricación de auto partes y piezas náuticas. (Moschiar, Reboredo, Kenny, & Vázquez, 1996, p. 39)



En el año de 1987 empiezan a formarse las medianas empresas orientadas básicamente a los mercados de consumo masivo (tanques de agua, sanitarios, lavaderos entre otros) así como orientados a la industria (artículos decorativos, triciclos expendedores de gaseosas, mesas y sillas).

Es en la década de los noventa cuando en México empieza una mayor demanda de materiales para la construcción fabricados por el proceso de pultrusión, diez años más tarde con las políticas de globalización de mercado y de comercio internacional se incrementa el nivel de importaciones de materia prima, materiales, herramientas y equipos elaborados por pultrusión.

Durante los últimos años en países como España, México y Colombia han realizado considerables progresos con los PRFV, en campos como: industriales, náuticas, construcción, aplicaciones eléctricas-electrónicas, aeronáuticas y de transporte, llegando en algunos casos a superar a la madera, aluminio y acero debido a su gran versatilidad, lo cual ha permitido su popularidad en muchas aplicaciones industriales, puesto que este tipo de material ha hecho que su uso sea fácil y barato por sus características de durabilidad, bajo costo de fabricación, ahorro de tiempo, así como la facilidad de mezclar, combinar estilos y tamaños.

El uso de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibra se ha incrementado rápidamente en las últimas décadas debido a que aportan importantes ventajas frente al uso de materiales tradicionales (acero, madera, aluminio): ligereza, alta resistencia específica, alta absorción de energía frente a impactos, estabilidad dimensional, resistencia a ambientes agresivos, mantenimiento reducido, flexibilidad en el diseño, durabilidad. Dichas propiedades hacen posible el empleo de este tipo de materiales en diversos sectores industriales: aeronáutico, automoción, naval, construcción, deporte y recreo. (Santiago, Lombera, Urquiza, & Moschiar, 2003, p.3).



Según el Plan Nacional del Buen Vivir, realizado por la SECRETARIA NACIONAL de PLANIFICACIÓN y DESARROLLO (SENPLADES), la situación constructiva a nivel país, sufre varias limitantes que retrasa su desarrollo, y una de ellas es la falta de capacitación en nuevas tecnologías y el de brindar nuevos materiales a este sector a nivel nacional.

1.3. Ventajas y desventajas de la implementación del proceso de pultrusión

De acuerdo a Soriano (2007) las principales ventajas de los perfiles obtenidos por el proceso de pultrusión frente a los materiales tradicionales son las siguientes:

- Calidad constante y estabilidad dimensional: fácil de reparar, bajas tolerancias.
- Bajo peso: estos materiales son hasta un 80 % más ligero que el acero y un 30 % más ligeros que el aluminio, por esto son una alternativa importante cuando la reducción de peso es un requerimiento.
- Gran resistencia y rigidez: para un mismo peso un composite pultruidos es más resistente y rígido que el acero, simplemente variando el tipo y orientación de los refuerzos.
- Buen acabado superficial.
- Elevada resistencia química y a la corrosión: muchos perfiles poseen un velo superficial sintético que les proporciona una capa rica en resina mejorando incluso su ya elevada resistencia química y a la corrosión.
- Aislante térmico y eléctrico: no son eléctricamente conductores y tienen una conductividad térmica 250 veces más baja que el aluminio y 60 veces más baja que el acero.
- Nulo mantenimiento: debido a sus excelentes propiedades (corrosión) estos materiales requieren un nulo o muy pequeño mantenimiento.
- Fácil diseño e instalación: debido a su ligereza.
- Transparencia magnética y a radiofrecuencias: adecuados para aplicaciones medias, antenas, etc.
- Propiedades de retardante a la llama.



- Elevada resistencia al arrastre y a la fatiga.

Sin embargo, el proceso de pultrusión también presenta diferentes desventajas o inconvenientes, que el mismo autor señala a continuación:

- Alta dificultad para fabricar piezas que no sean unidimensionales y de sección constante.
- Necesidad de un molde de altas prestaciones con acabado muy fino (para no impedir el avance de la pieza en el proceso), de un sistema de calentamiento y, en ocasiones, de presurización interior. Todo ello hace que el costo del molde sea muy elevado y que se necesiten series muy largas de producción para amortizarlo.
- La velocidad del proceso es relativamente baja comparada con la velocidad de la extrusión.
- Problemas de adhesión cuando es necesario unir piezas mediante adhesivos, debido al acabado tan fino de las piezas. Para obtener uniones de altas prestaciones es necesario preparar las superficies de unión mediante un proceso previo mecánico (lijado de la superficie), químico (baño con sustancias que catalizan la reacción de adhesión) o añadir un peel-ply (devanador) en la entrada del molde.
- En perfiles de pultrusión altamente unidireccionales no es posible realizar uniones mecánicas con altos requerimientos estructurales.

1.4. Características físicas, químicas y metalúrgicas del proceso de pultrusión

Es importante conocer las características físicas, químicas y metalúrgicas de los materiales compuestos que son sometidos al proceso de pultrusión, siendo indispensable que dichos elementos contengan características básicas como mantener su alineación y proteger a las fibras del deterioro mecánico (golpes) y químico (ambiente, sustancias agresivas) para evitar la propagación de fisuras en el soporte.



Las resinas son los polímeros más ampliamente usados en los compuestos con matriz de polímero, dando lugar a dos tipos, las resinas termo fijas (termoestables) y las resinas termoplásticas, lo cual, muestran las principales características internas del material después de aplicarle el curado correspondiente.

Las resinas termoestables sufren una serie de reacciones químicas, llamadas proceso de curado, la cual hace que la estructura adquiera una disposición permanente, provocando que la reacción sea irreversible y el polímero no pueda reciclarse ya que al someterlo a una temperatura elevada la resina tenderá a degradarse (hasta 300° C para las epoxi y 110 para las de poliéster). Una ventaja importante en el uso de esta resina es su peso molecular, ya que como es bajo, puede llegar a hacer un procedimiento fácil al momento de formar una pieza, antes de pasar al proceso del curado (Luna, 2010, p. 76)

Algunos ejemplos para este tipo de polímeros son la resina poliéster y resinas epoxi detallando a continuación sus diferentes características y propiedades.

1.4.1. Resinas de poliéster insaturado

Desde su descubrimiento en 1936, hasta la actualidad, esta resina ha ganado terreno hasta por un 75% del total de las resinas utilizadas en el mercado de los materiales compuestos de matriz termoestable.

Compatibles sólo con materiales de fibra de vidrio, las resinas polyester tienen un uso exclusivo para el recubrimiento de láminas, para juntas y reparaciones debido a la facilidad con que se rompen.

Esta resina es más adecuada para construir objetos ligeros, la principal ventaja de la resina polyester es la estabilidad mecánica, química y eléctrica de sus propiedades, su bajo costo como también lo son el tiempo de curado ya que varía de entre 6 a 8 horas (incluso a temperatura ambiente) con un tiempo de trabajo de 20 a 30 minutos.



El proceso de curado parte de tres secciones las cuales inicia con la gelación, en la que la resina cambia de un líquido a un gel. La segunda es el endurecimiento, donde la resina cambia de un gel blanco a un material endurecido que se puede extraer del molde y por último el curado final, en donde la resina adquiere completamente sus propiedades mecánicas y químicas. Como principal inconveniente se puede mencionar que tienden a contraerse durante el endurecimiento (7% en volumen).

De acuerdo a Carbajales (2010) estas resinas son utilizadas usualmente en el proceso de pultrusión, filament winding, SMC, RTM y hand layup, señalando alguna de sus propiedades más importantes en el siguiente cuadro:

Tabla 2: Propiedades de las resinas de poliéster insaturado¹

Densidad (g/cm ³)	1.1-1.4
Resistencia a tensión MPa	35-95
Módulo de tensión GPa	1.6-4.1
Resistencia a flexión MPa	80-130
Módulo de flexión MPa	3.45- 3.6
Temperatura de transición vítrea Tg (°C)	80-100

1.4.2. Resinas Epóxicas

Es un tipo de resina muy versátil ya que posee un gran rango de propiedades. Su gran adherencia (13.8 MPa frente a la resina polyester con 0.7 MPa) en todo tipo de soportes hace que sea un producto ampliamente utilizado en una gran variedad de aplicaciones aeroespaciales (Carbon, 2008)

¹ Fuente: “Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra”.



Las resinas epóxicas tienen como características físicas muy buena resistencia al impacto, excelentes propiedades de tenacidad, buena transferencia de carga cuando son reforzadas con fibras, el grado de contracción durante el curado es bajo y su resistencia térmica es elevada, la vida útil para la resina epóxica es de un mínimo de dos años, y por lo general son curadas en autoclave para mejorar las propiedades mecánicas.

Carbon (2008) señala las propiedades más importantes en el siguiente cuadro:

Tabla 3: Propiedades de las resinas epóxicas²

Densidad (g/cm ³)	1.30
Resistencia a tensión MPa	83
Módulo de tensión GPa	4.1
Temperatura de transición vítrea Tg (°C)	120-180

1.5. Propiedades de los materiales obtenidos a través de la pultrusión

Un perfil pultrusionado es un material compuesto que presenta dos elementos principales: la fibra que es el Refuerzo mecánico y la resina que es la matriz polimérica.

La combinación adecuada de estos elementos da como resultado un material cuyas propiedades son superiores a las de sus componentes por separado. También se le pueden sumar aditivos para mejorar alguna de sus cualidades específicas. (Reolid, 2011, p.43).

1.5.1. Matriz polimérica.

En pultrusión, las resinas más comúnmente usadas debido a sus buenas propiedades mecánicas y físicas, su facilidad de curado y su coste son las de poliéster insaturadas.

² Fuente: “Refuerzos de estructura de hormigón”.



También, en menor proporción, se utilizan resinas de viniléster, de epoxi, fenólicas y/o acrílicas.

Es muy importante realizar una selección apropiada de la matriz y una formulación adecuada para cada aplicación en un perfil de pultrusión, ya que estos dos aspectos definen sus propiedades de resistencia a las altas temperaturas, a la corrosión y al fuego y también sus características dieléctricas de conductividad térmica.

1.5.2. Refuerzo mecánico.

El contenido en fibra de vidrio, el tipo de vidrio y su disposición y orientación dentro del perfil de pultrusión determinan sus propiedades mecánicas. En un perfil estructural, por ejemplo, TECNIPUL combina diferentes tipos de hilo y tejidos para alcanzar los requerimientos tanto longitudinales como transversales del perfil.

Las principales características de la fibra de vidrio son:

- Resistencia mecánica específica (resistencia a tracción / densidad) superior a la del acero en la dirección de la fibra.
- Aislamiento térmico, eléctrico y acústico.
- Permeabilidad a las ondas electromagnéticas.
- Inalteración a los ácidos.
- Resistencia a altas temperaturas.
- Resistencia a la corrosión.
- Baja conductividad térmica y eléctrica.
- Transparencia magnética y electromagnética.
- Baja densidad.
- Elevada resistencia mecánica.
- Estabilidad dimensional.



1.6. Elementos que intervienen en el proceso de pultrusión

1.6.1. Resinas

El estudio de resinas naturales también está en auge y, en concreto para el proceso de pultrusión, se han realizado algunos estudios sobre la viabilidad de resinas epoxi basadas en aceite de soja y se han obtenido buenos resultados. Es decir, se pueden considerar como potenciales sustitutos de las resinas derivadas del petróleo.

Las resinas termoestables más comunes utilizadas para pultrusión son: poliéster insaturado (85%), viniléster (7%), epoxi (5%), fenólicas (2%) y otras (1%). Otras, que hoy están cobrando importancia, son las resinas poliuretánicas.

De tal forma que hay resinas y aditivos para fines especiales incluyen pantallas de radiación ultravioleta para mejorar la resistencia a la intemperie, óxido de antimonio para el retraso de la llama, pigmentos para la coloración, y los agentes para la suavidad de la superficie y evitar la aparición de grietas. Los agentes de desmoldeo (estearatos metálicos o fosfato de ésteres orgánicos) son importantes para una adecuada liberación de la pared de la matriz para proporcionar superficies lisas y baja fricción del procesamiento. (Batista, 2009, p.39)

El uso de varios aditivos líquidos utilizados en el sistema de resina puede ser adecuado para proporcionar un rendimiento específico, así como rellenos que constituyen la mayor proporción de una formulación, después la resina base. Los rellenos más utilizados son el carbonato de calcio, silicato de alúmina (arcilla) y el trihidrato de alúmina.

1.6.2. Carbonato de calcio

Se utiliza principalmente como un extensor de volumen para proporcionar la formulación de menor costo de resina cuando el rendimiento no es crítico. Es un relleno que se utiliza por su capacidad para suprimir las llamas y emisión de humo.

Los rellenos pueden ser incorporados en las resinas en cantidades de hasta el 50% de la formulación de resina total en peso. La limitación del volumen habitual se basa en el



desarrollo de la viscosidad útil, que depende del tamaño de las partículas y las características de la resina.

1.6.3. Fibras

En cuanto a las fibras, se utilizan según las diferentes presentaciones industriales (hilos (roving), fieltro (mat) de hilos continuos, tejido biaxial, laminados biaxiales, tejidos multiaxiales y velos de superficie) y la más empleada es la fibra de vidrio (90%), para mayores requerimientos estructurales se emplean las de carbono o aramida.

Otro modo de conseguir que la pultrusión sea más competitiva es utilizando materiales de bajo o nulo costo, como son las fibras y las resinas naturales. Actualmente se está investigando la sustitución de los refuerzos tradicionales de fibra de vidrio por fibras naturales, se ha demostrado que son económicamente viables y ofrecen propiedades de alto valor añadido como son (Reolid, 2011, p.56):

- Bajo costo y baja densidad por lo que pueden reducir el peso final del perfil.
- Propiedades específicas comparables con las fibras de vidrio.
- No abrasivas con el equipo durante su procesado y reducción de irritaciones en la piel de los operarios.

1.6.4. Fibras y resinas naturales

Se necesita un 80% menos de energía para su obtención, comparada con la fibra de vidrio y produce emisiones neutras de CO₂ por lo que el impacto medioambiental es nulo. Son biodegradables y reciclables (existen complicaciones en el reciclado de la fibra de vidrio).

Se han encontrado perfiles obtenidos y caracterizados por pultrusión con refuerzos como cáñamo en forma de hilo, mat o tejido, yute y lino con un polímero termoplástico como polipropileno.

También se ha realizado un estudio con el objetivo de desarrollar nuevos tratamientos en las fibras naturales o aditivos para las resinas con el fin de mejorar la humectabilidad de la fibra natural durante el proceso de pultrusión.



1.7. Características de los perfiles fabricados por pultrusión

Los perfiles fabricados por pultrusión son de sección uniforme, más resistente que el acero, más liviana que el aluminio y más versátil que cualquier otro producto industrial. No requieren de mantenimiento. El color va incorporado en su masa, resistentes a la corrosión ambiental, química o marítima, no se oxidan y son fáciles de transportar e instalar.

Su método de fabricación es la pultrusión, método automático y continuo, que permite obtener perfiles con un alto contenido de vidrio. Además, posee características mecánicas muy elevadas, con módulos de elasticidad entre 180 a 200 mil kg/cm².

El sistema convencional de estructuras metálicas utilizado en medios industriales, es poco durable, requiriendo aplicaciones periódicas de barnices u otro elemento de alto costo. El trabajo en ambientes corrosivos, ocasiona inevitablemente, complejos problemas de mantención y seguridad. De ahí las principales características:

- Buena resistencia a la corrosión
- Buenas propiedades dieléctricas
- Baja conductividad térmica
- Excelentes propiedades mecánicas
- Resistencia específica alta
- Gran variedad de perfiles y conexiones
- Color incorporado, según carta RAL
- Inhibidor de rayos UV

El proceso de pultrusión permite obtener productos con un alto contenido de acero, proporcionando un óptimo nivel de resistencia, estabilidad dimensional y poco peso, junto con el aislamiento térmico y eléctrico.

1.8. Propiedades mecánicas de los perfiles

1.8.1. Forma de las piezas



En este punto se valora la facilidad que presenta cada tecnología para realizar distintas formas (distintas secciones) en la fabricación de piezas. Por el contrario, los procesos con peores resultados son el centrifugado y el bobinado de filamentos. Estos últimos tienen limitada, en gran medida, la tipología de perfiles que pueden crear.

Ello les convierte en poco adecuados ante su uso para elementos resistentes de edificios industriales. El peso asignado a este parámetro es de 15 sobre 100, considerándolo como muy importante para la aplicación en las estructuras de construcciones industriales.

El poder conseguir formas de piezas distintas con relativa facilidad, provoca que estas se puedan adaptar mejor a las necesidades mecánicas concretas de cada estructura. Los procesos con mejores resultados son el contacto manual, la proyección simultánea y la pultrusión.

1.8.2. Dimensiones

Se valora la facilidad con la que se pueden conseguir elementos de grandes dimensiones en las 3 direcciones (x, y, z). Los mejores procesos, desde este punto de vista, son la pultrusión y el contacto manual. Los peores, el centrifugado y el bobinado de filamentos.

El peso asignado a este parámetro es 10 sobre 100, considerándolo como importante para poder crear perfiles con una inercia suficientemente grande como para poder resistir grandes cargas.

1.8.3. Espesores

Este parámetro valora los espesores máximos y su facilidad de obtención para las piezas fabricadas por las distintas tecnologías estudiadas. El proceso mejor es la pultrusión, mientras que los peores son el proceso de vacío y el de inyección. El peso asignado a este parámetro, al igual que en el anterior, es de 10 sobre 100, pues para poder soportar grandes cargas no es solo necesario tener perfiles de grandes dimensiones, sino que el grosor de sus paredes sea proporcional (grandes espesores).



1.8.4. Aspecto

En este punto se valora el aspecto final de las piezas resultantes para cada tecnología. El acabado superficial de los elementos tiene una vertiente básicamente estética, aunque las pequeñas irregularidades que presentan algunos acabados más manuales, pueden provocar pequeñas diferencias en las dimensiones de las secciones.

Estas pequeñas diferencias pueden afectar a la resistencia de las mismas. El mejor proceso con diferencia es la pultrusión, siendo los peores el contacto manual y la proyección simultánea.

La importancia de este parámetro se considera más bien baja, otorgándole un peso estándar. Ello es debido a que las variaciones en las secciones pueden ser muy pequeñas, presentando una repercusión muy reducida en las propiedades mecánicas de los perfiles.

1.8.5. Porcentaje (%) de refuerzo

Se valora el porcentaje máximo de fibra de refuerzo que se puede introducir en el perfil a fabricar. “Para cada tecnología existen unas limitaciones físicas que impiden introducir toda la fibra de refuerzo deseada.” (Rodríguez, 2013)

Desde este punto de vista, los mejores procesos son la pultrusión y el bobinado de filamentos. Por el otro extremo, los procesos que aceptan una menor introducción de fibras son la proyección simultánea y el proceso de vacío.

1.9. Características del equipamiento para el proceso de pultrusión

1.9.1. Dispensador de refuerzo.

Este consta de nasas o estanterías de hilo, dispensadores de fieltro y el velo. En algunos casos se pueden usar también bobinadoras o trenzadoras si es necesaria la trama de refuerzo axial.



1.9.2. Impregnador de resina

Esto puede consistir en un baño de resina simple o de un dispositivo de impregnación con a presión o vacío.

El impregnador de resina satura (humedece) el refuerzo con una solución que contiene la resina, cargas, pigmentos y catalizadores, además de los otros aditivos necesarios. El interior del impregnador de resina es cuidadosamente diseñado para optimizar el "wet-out" (saturación completa) de los refuerzos.

1.9.3. Dado de preformado o preformador

Estos sirven de guía para que el refuerzo impregnado adopte la posición correcta, quite el exceso de resina, ofrecer pre-compactación aproximado del perfil con el fin de ayudar a la eliminación del aire, humedad y para reducir la presión en la matriz principal. Los materiales comúnmente utilizados para la formación de guías son: teflón, polietileno de ultra alto peso molecular, acero cromado y diversas aleaciones de acero.

1.9.4. Dado de pultrusión

Este es una matriz de acero mecanizado o de cerámica que se calienta y produce el perfil final. El dado puede ser de más 1 m de longitud. El dado es calentado generalmente por un sistema de resistencias eléctricas. Al pasar el material a través de la matriz, la transferencia de calor, inicia la reacción de curado y la velocidad de tracción dependerá de que la resina se haya curado completamente en el momento en que deja el dado.

1.9.5. Dispositivo de tiro

Al haber un espacio adecuado entre la salida de la tobera y el dispositivo de tracción, el producto se enfría y la resina es lo suficientemente dura para ser atrapado por el dispositivo de tracción. Esto puede ser un mecanismo de rodillos, un transporte tipo oruga o un sistema de rodillos reciprocantes. Las velocidades de tiro dependerán, además del tiempo y temperatura de curado, del tipo de resina y el tamaño y la forma del producto.



Los valores típicos de la industria están en el rango 0.5m/min y 1.5m/min. Una separación física de 3 metros (10 pies) o más entre la salida de la tobera y el dispositivo de tracción es necesaria, con el fin de permitir que el producto caliente pultruido enfríe en la atmósfera, en una corriente de agua forzada o enfriamiento por aire. Esto permite al producto desarrollar la fuerza suficiente para resistir las fuerzas de sujeción, para sujetar el producto y tirar de él a través del dado. (Santiago, 2003)

Debido al tiro, los filamentos de fibra se encuentran en tensión cuando el curado ocurre en el molde calentado. Como consecuencia de esta tensión, las fibras tienen valores más altos de la fuerza y se ajustan más, lo que permite una buena compactación, con más fibras dispuestas en un determinado volumen.

1.9.6. Dispositivo de corte

Se trata de un corte con sierra que está programado para cortar el producto a la longitud deseada. La sierra está fabricada de un material duro y resistente (generalmente carburo de diamante).

En algunas aplicaciones, una unidad de RF (generador de onda de radio frecuencia) se utiliza para precalentar el refuerzo antes de entrar en el molde. El calentador de RF se posiciona entre el impregnador de resina y el preformador.

La sierra está sujeta al producto de pultrusión durante la operación de aserrado o con un avance paralelo al pultruido (igual velocidad). Es de destacar que las RF generalmente se utilizan solamente con una parte de los refuerzos.

1.10. Máquinas de pultrusión. Principales características y propiedades

1.10.1. Máquina de Pultrusión

Es una máquina para la transformación de composites por el proceso de pultrusión, tecnología que permite la fabricación de perfiles empleados en cañas de pescar, escaleras, rejillas de piso industriales, bandejas portacables, perfiles, piezas automotrices, etc.



Expandir esta fabricación fue una de las formas que se encontramos para dar solución a la demanda de materiales con características ideales a la gran variedad de funciones para las que son requeridos. Siendo así que una forma de obtener resultados prósperos fue con la fabricación de máquinas de pultrusión como el Spirit, que es un medidor de espesor posibilita la fabricación tanto de perfiles macizos como huecos ya sea cuadrados o redondos, en el que se recomienda que los tiradores de los perfiles pueden ser hidráulicos o neumáticos según se requiera. (Andrade J. 2009. Pág. 12)

Una máquina de pultrusión puede ser provista con pantalla táctil CLP y controlador eléctrico o mecánico de la fuerza de pultrusión. En general, los pultrusores montan sus propias máquinas o importan moldes de alto costo en el mercado.

Esta será una opción mucho más sofisticada que las fabricadas en forma artesanal, ya que una de sus principales características es que será barrera residual de tanques de composites; diversos accesorios para el proceso; el sistema de infusión asistida y una máquina para aplicación simultánea de 4 colores de gel coats.

La máquina de pultrusión, consta de dos versiones, la más simple posibilita la fabricación de perfiles de hasta 90 mm de ancho, con tracción máxima de kg, por ejemplo, para la fabricación de cañas de pescar. Ya en la versión más robusta la máquina tiene condición de transformar piezas de 80 a 500 mm de ancho, con tracción de hasta 10 toneladas. Se trata de un equipo versátil, durante el proceso de pultrusión es común que ocurran problemas en el momento de neutralizar la resina excedente. Los hilos de vidrio pasan por una bañera donde son humectados con la resina mezclada con cargas minerales. Ocurre que, al ser traccionados en dirección al molde o herramienta, parte de esa resina es desperdiciada. (Viegas C., 2009. Pág.39).



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Debido a que se trata de un material extremadamente viscoso, las bombas convencionales de esfera se rompen al transportarlo de vuelta a la batea de impregnación. La acumulación de suciedad tanto en la esfera como en la válvula acaba comprometiendo el funcionamiento de las bombas, lo que genera la necesidad de constantes paradas para su respectivo mantenimiento.

Para solucionar este inconveniente se desarrolló un proyecto de bomba de transferencia - o bomba tornillo – con el fin de dispensar el uso de esferas y válvulas, esta bomba presenta índices de mantenimiento muy próximos a cero.



CAPÍTULO 2

2. MODELOS ESTRUCTURALES PARA LA ESTRUCTURA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE LA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN

Después de definir los conceptos de la pultrusión y los elementos que intervienen en el proceso, se procede al pre diseño de la estructura de alimentación y la soporteria donde se apoyarán los distintos elementos de la maquinaria. En este capítulo se analizarán los distintos estados de cargas y solicitaciones a los que será sometida la estructura de la máquina, y se realizarán los modelos estructurales para tales casos. Se realizará un esquema de análisis de materiales, secciones, geometría, apoyos y vínculos de la estantería y el soporte de la máquina, se determinarán los diagramas de momentos, cortantes, fuerzas axiales, vibraciones, derivas y desplazamientos y se realizara una revisión de la seguridad estructural. El diseño de la estructura se realizará con acero ASTM A-500³ con un esfuerzo de fluencia igual a 46 ksi (3234 kg/cm² aproximadamente).

2.1. Sistema de Alimentación

El sistema de alimentación es el primer elemento en la línea de producción de perfiles pultruidos. Es el encargado de mantener los rovings y mats, en posición para que se desenrollen de manera correcta. El sistema de alimentación consta de una estantería que soportara las bobinas de rovings, el dispensador de mats (fieltro), y el reservorio para la resina.

2.1.1. Estantería

El roving de fibra de vidrio es el elemento principal utilizado en la pultrusión. Es el que otorga el refuerzo longitudinal al perfil. En el mercado se encuentra en bobinas de hilos continuos con pesos aproximados de entre 15 y 17 kg, con una longitud total de 1000 m de largo desenvuelto. El diámetro de las bobinas es de 27 cm y alturas de 25.5 cm. Para el cálculo de los elementos de la estantería se utilizarán rovings con pesos de 17 kg.

³ Normas ASTM, Volumen 01.01 Steel—Piping, Tubing, Fittings, A 500.



La estantería constará de una estructura de acero de 5 niveles con un ancho de 1.40 m, un largo de 3.70 m, una altura de total de 2.25 m (45 cm entre nivel) y placas de acero ASTM A-36 antideslizantes de 6 mm de espesor. Los rovingos irán colocados de forma vertical en los distintos niveles. De esta forma, se maximiza la distribución de hilos, lo que permite una tensión constante en la fibra. Se debe recalcar que este tipo de almacenamiento es óptimo si se desea producir perfiles estructurales de grandes dimensiones.

Conociendo los datos de cargas pesos y geometría, se procede con el pre dimensionamiento de los elementos principales: vigas y columnas.

2.1.1.1. Pre dimensionamiento de la estantería

Para el dimensionamiento de la estantería se utilizan los siguientes valores:

Datos:

Largo de estantería	3.600 m
Ancho de estantería	1.400 m
Diámetro de bobinas	0.270 m
Espacios entre bobinas (largo)	0.105 m
Espacios entre bobinas (ancho)	0.430 m
Peso de bobinas	17.00 kg
Total de bobinas	18.00 u
Peso bobinas por piso	306.0 kg
Carga por m ²	60.71 kg/m ²

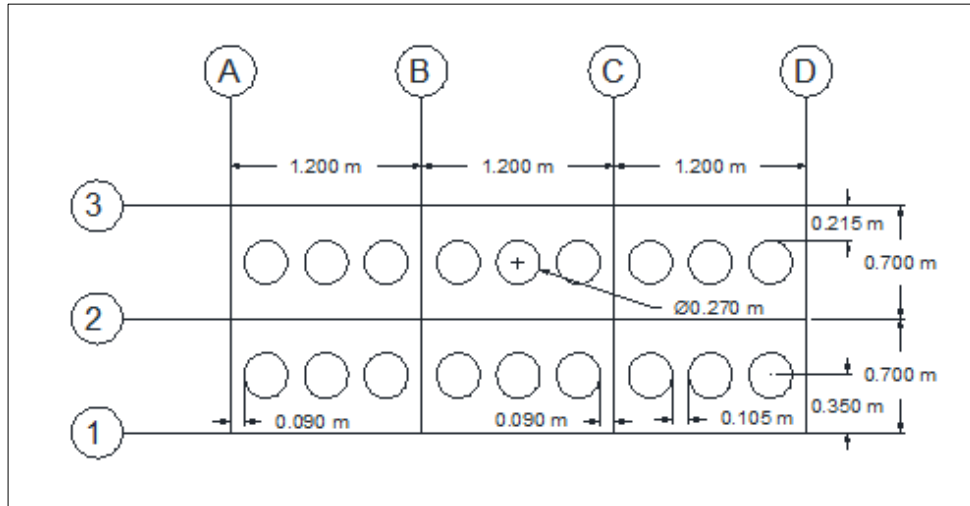


Figura 1. Vista en planta de la estantería

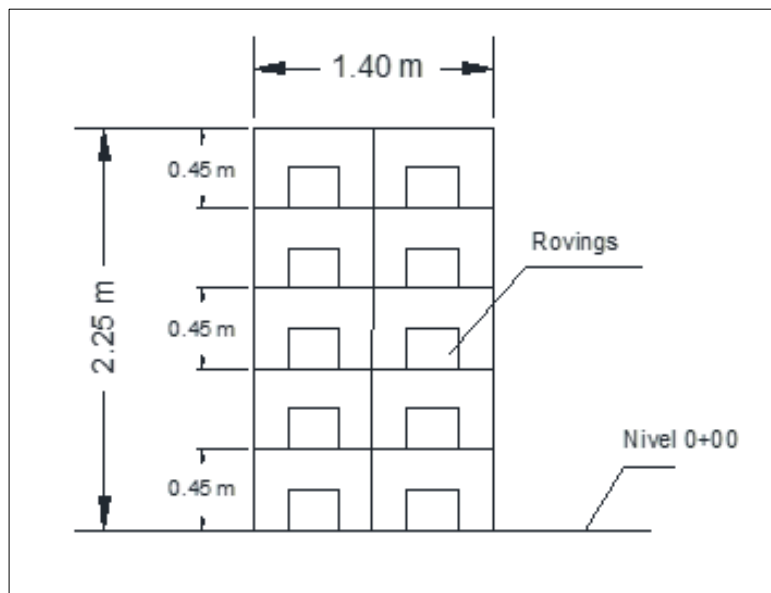


Figura 2. Vista frontal de la estantería

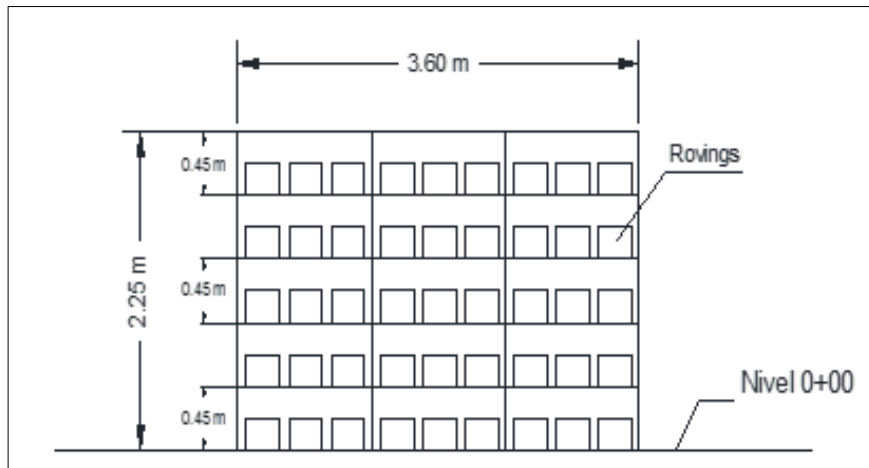


Figura 3. Vista lateral de la estantería

La estantería soporta cargas vivas verticales originadas por el peso de los rovingos. Se producirán deflexiones y esfuerzos de tracción horizontal producidas por el sistema de halado continuo de la máquina. Se generan desplazamientos horizontales. Todas estas acciones serán revisadas y chequeadas en Etabs, a través de un modelo del sistema creado al efecto. Se debe señalar que el sistema de halado que se utilizará genera una fuerza de tracción de 3.5 Ton. Por concepto de pre dimensionamiento se asumirá un incremento del 30% de la carga vertical para considerar estos esfuerzos. Se asignará una carga horizontal correspondiente para estimar todos los posibles efectos del funcionamiento de la tecnología sobre el sistema.

2.1.1.2. Pre dimensionamiento de vigas

El dimensionamiento de las vigas sigue el siguiente procedimiento:

- Determinación de la carga actuante

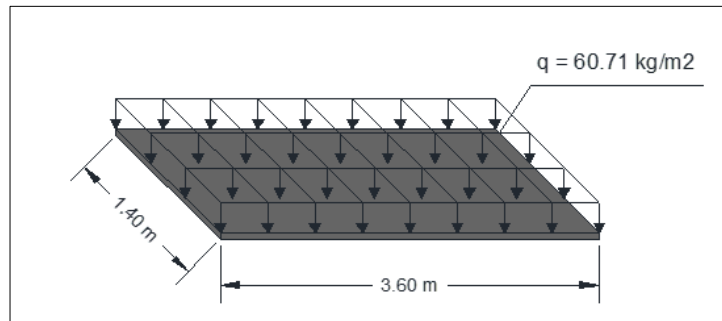


Figura 4. Carga actuante por m²

- Carga rectangular equivalente

Se procede a calcular la carga equivalente tomando como referencia la viga que más carga soportará, en este caso la viga central BC-2 mostrada en la figura 5.

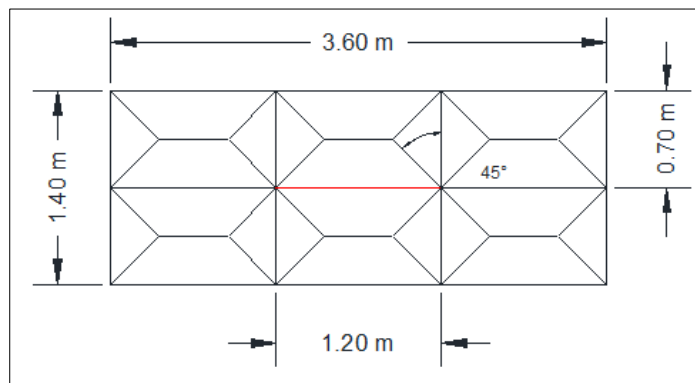


Figura 5. Áreas de aporte

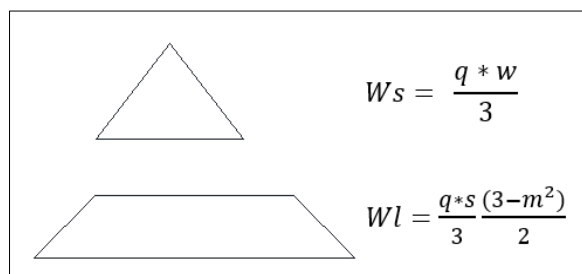


Figura 6. Fórmulas para cargas equivalentes



Dónde:

W = Carga rectangular equivalente

q = Carga por m²

s = Lado menor

l = Lado mayor

m = Relación entre el lado menor y el lado mayor

Por motivo de pre dimensionamiento se desprecia el peso propio de la viga teniendo así:

$$C.v. = 60.71 \text{ kg/m}^2$$

$$q = 1.6 \times 60.71 \text{ kg/m}^2 = 97.14 \text{ kg/m}^2$$

$$m = 0.583 \text{ m}$$

$$m^2 = 0.340 \text{ m}^2$$

$$Wl = \frac{q \cdot s}{3} \frac{(3 - m^2)}{2} = \frac{97.14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 0.7 \text{ m}}{3} \times \frac{3 - 0.340 \text{ m}^2}{2} = 30.15 \text{ kg/m}$$

Al ser una viga central, se consideran también las cargas adyacentes, con un incremento del 30% de los esfuerzos producidos por el sistema de halado continuo.

$$Wl = 30.15 \text{ kg/m} \times 2 \times 1.3 = 78.39 \text{ kg/m}$$

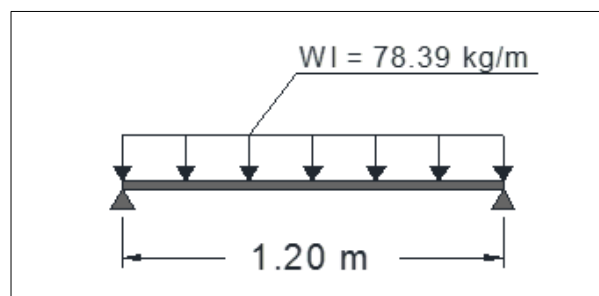


Figura 7. Carga equivalente por ml.



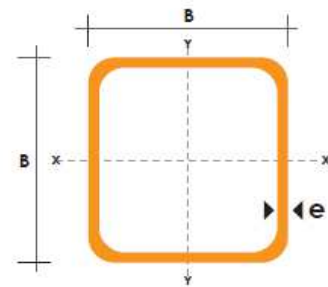
Momento máximo
$$Mu = \frac{W * L^2}{8} = \frac{78.39 \frac{kg}{m^2} * (1.2m)^2}{8} = 14.11 kg.m$$

Módulo resistente requerido
$$Zx(req) = \frac{Mu}{\Phi * fy} = \frac{14.11 kg.m * 100}{0.9 * 3234 \frac{kg}{cm^2}} = 0.49 cm^3$$

De las tablas de perfiles estructurales disponibles (DIPAC), se selecciona el perfil con el módulo de resistencia inmediatamente superior.

Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)⁴.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm2	I cm4	W cm3	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



⁴ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



Perfil a escoger:

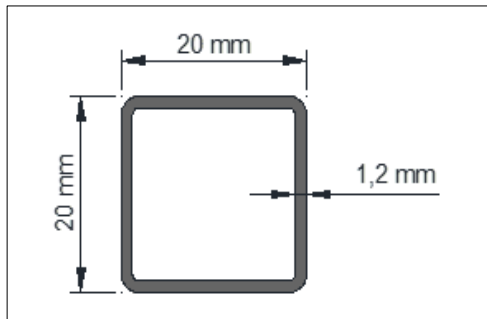


Figura 8. Tubo cuadrado 20x20x1.2 mm

Tubo estructural cuadrado

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}$$

$$e = 1.2 \text{ mm}$$

$$I = 0.53 \text{ cm}^4$$

$$Z = 0.53 \text{ cm}^3$$

2.1.1.3. Pre dimensionamiento de columnas

El primer paso será calcular la carga que soporta la columna más solicitada

Con fines de pre diseño se asume un peso de 35kg/m^2 para vigas y columnas, por lo tanto, se obtiene:

$$C.m. = 35.00 \text{ kg/m}^2$$

$$C.v. = 60.71 \text{ kg/m}^2$$

$$U = 1.2 \times 35.00 \text{ kg/m}^2 + 1.6 \times 60.71 \text{ kg/m}^2 = 139.14 \text{ kg/m}^2$$

Se pre dimensiona la columna ubicada en la posición B-2, cuya área cooperante es de 0.84m^2 , y así mismo se considera un incremento del 30% de la carga. La carga axial en la columna del primer nivel será:

$$P_u = 139.14 \text{ kg/m}^2 \times 0.84\text{m}^2 \times 5 \text{ pisos} \times 1.3 = 759.70 \text{ kg}$$



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

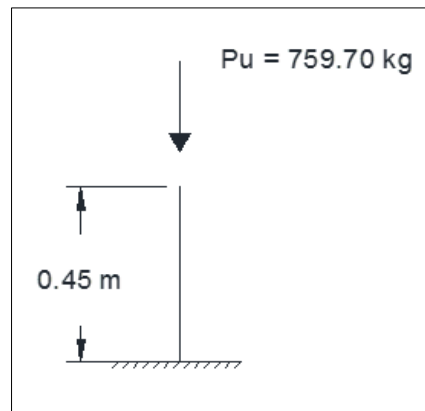


Figura 9. Carga axial sobre la columna

La relación de esbeltez para una columna de entre 0.40 a 1.00 m. de altura se encuentra aproximadamente entre 40 y 60. Para el proceso de pre diseño se asume:

$$\frac{Kl}{r} = 40$$

Con este dato se remite a las tablas del código LRFD, correspondientes a Esfuerzos Críticos Admisibles para Elementos a Compresión.



Tabla 4. Esfuerzos críticos admisibles para elementos a compresión⁵.

**Table 4-22
Available Critical Stress for
Compression Members**

$F_y = 35$ ksi			$F_y = 36$ ksi			$F_y = 42$ ksi			$F_y = 46$ ksi			$F_y = 50$ ksi		
$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi
	ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD
1	21.0	31.5	1	21.6	32.4	1	25.1	37.8	1	27.5	41.4	1	29.9	45.0
2	21.0	31.5	2	21.6	32.4	2	25.1	37.8	2	27.5	41.4	2	29.9	45.0
3	20.9	31.5	3	21.5	32.4	3	25.1	37.8	3	27.5	41.4	3	29.9	45.0
4	20.9	31.5	4	21.5	32.4	4	25.1	37.8	4	27.5	41.4	4	29.9	44.9
5	20.9	31.5	5	21.5	32.4	5	25.1	37.7	5	27.5	41.3	5	29.9	44.9
6	20.9	31.4	6	21.5	32.3	6	25.1	37.7	6	27.5	41.3	6	29.9	44.9
7	20.9	31.4	7	21.5	32.3	7	25.1	37.7	7	27.5	41.3	7	29.8	44.8
8	20.9	31.4	8	21.5	32.3	8	25.1	37.7	8	27.4	41.2	8	29.8	44.8
9	20.9	31.4	9	21.5	32.3	9	25.0	37.6	9	27.4	41.2	9	29.8	44.7
10	20.9	31.3	10	21.4	32.2	10	25.0	37.6	10	27.4	41.1	10	29.7	44.7
11	20.8	31.3	11	21.4	32.2	11	25.0	37.5	11	27.3	41.1	11	29.7	44.6
12	20.8	31.3	12	21.4	32.2	12	24.9	37.5	12	27.3	41.0	12	29.6	44.5
13	20.8	31.2	13	21.4	32.1	13	24.9	37.4	13	27.2	40.9	13	29.6	44.4
14	20.7	31.2	14	21.3	32.1	14	24.8	37.3	14	27.2	40.9	14	29.5	44.4
15	20.7	31.1	15	21.3	32.0	15	24.8	37.3	15	27.1	40.8	15	29.5	44.3
16	20.7	31.1	16	21.3	32.0	16	24.8	37.2	16	27.1	40.7	16	29.4	44.2
17	20.7	31.0	17	21.2	31.9	17	24.7	37.1	17	27.0	40.6	17	29.3	44.1
18	20.6	31.0	18	21.2	31.9	18	24.7	37.1	18	27.0	40.5	18	29.2	43.9
19	20.6	30.9	19	21.2	31.8	19	24.6	37.0	19	26.9	40.4	19	29.2	43.8
20	20.5	30.9	20	21.1	31.7	20	24.5	36.9	20	26.8	40.3	20	29.1	43.7
21	20.5	30.8	21	21.1	31.7	21	24.5	36.8	21	26.7	40.2	21	29.0	43.6
22	20.4	30.7	22	21.0	31.6	22	24.4	36.7	22	26.7	40.1	22	28.9	43.4
23	20.4	30.7	23	21.0	31.5	23	24.3	36.6	23	26.6	40.0	23	28.8	43.3
24	20.3	30.6	24	20.9	31.4	24	24.3	36.5	24	26.5	39.8	24	28.7	43.1
25	20.3	30.5	25	20.9	31.4	25	24.2	36.4	25	26.4	39.7	25	28.6	43.0
26	20.2	30.4	26	20.8	31.3	26	24.1	36.3	26	26.3	39.6	26	28.5	42.8
27	20.2	30.3	27	20.7	31.2	27	24.0	36.1	27	26.2	39.4	27	28.4	42.7
28	20.1	30.3	28	20.7	31.1	28	24.0	36.0	28	26.1	39.3	28	28.3	42.5
29	20.1	30.2	29	20.6	31.0	29	23.9	35.9	29	26.0	39.1	29	28.2	42.3
30	20.0	30.1	30	20.6	30.9	30	23.8	35.8	30	25.9	39.0	30	28.0	42.1
31	20.0	30.0	31	20.5	30.8	31	23.7	35.6	31	25.8	38.8	31	27.9	41.9
32	19.9	29.9	32	20.4	30.7	32	23.6	35.5	32	25.7	38.6	32	27.8	41.8
33	19.8	29.8	33	20.4	30.6	33	23.5	35.4	33	25.6	38.5	33	27.7	41.6
34	19.8	29.7	34	20.3	30.5	34	23.4	35.2	34	25.5	38.3	34	27.5	41.4
35	19.7	29.6	35	20.2	30.4	35	23.3	35.1	35	25.4	38.1	35	27.4	41.2
36	19.6	29.5	36	20.1	30.3	36	23.2	34.9	36	25.2	37.9	36	27.2	40.9
37	19.5	29.4	37	20.1	30.1	37	23.1	34.8	37	25.1	37.8	37	27.1	40.7
38	19.5	29.3	38	20.0	30.0	38	23.0	34.6	38	25.0	37.6	38	26.9	40.5
39	19.4	29.1	39	19.9	29.9	39	22.9	34.4	39	24.9	37.4	39	26.8	40.3
40	19.3	29.0	40	19.8	29.8	40	22.8	34.3	40	24.7	37.2	40	26.6	40.0

ASD LRFD
 $\Omega_c = 1.67$ $\phi_c = 0.90$

Se obtiene que para un elemento de acero ASTM A-500 con relación de esbeltez de 40, el esfuerzo crítico es igual a 37.2 ksi, que equivale aproximadamente a 2604 kg/cm².

⁵ Fuente: Especificaciones ANSI/AISC 360-10



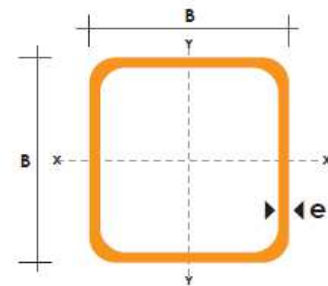
Se procede a calcular el área requerida de la sección.

$$A_{req} = \frac{P}{\sigma} = \frac{759.70 \text{ kg}}{2604 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0.29 \text{ cm}^2$$

De las tablas de perfiles estructurales disponibles (DIPAC), se selecciona un perfil con un área similar a la calculada.

Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)⁶.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



⁶ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



Por lo tanto el perfil a escoger es:

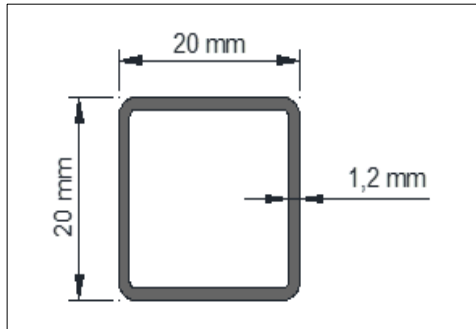


Figura 10. Tubo cuadrado 20x20x1.2 mm

Tubo estructural cuadrado

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}$$

$$e = 1.2 \text{ mm}$$

$$I = 0.53 \text{ cm}^4$$

$$A = 0.90 \text{ cm}^3$$

2.1.2. Dispensador de mats

El mat o fieltro de fibra de vidrio proporciona el refuerzo transversal al perfil y ayuda a mejorar sus propiedades mecánicas. Dependiendo del tipo de perfil que se desea obtener se pueden utilizar mats con alta resistencia a la tracción (para perfiles estructurales). Si se buscan secciones complejas se pueden utilizar mats de menor resistencia o rigidez, pero más maleables y adaptables a diferentes formas. Estos refuerzos se encuentran en el mercado con diferentes medidas desde 12 pulgadas a 50 pulgadas. Los pesos varían entre 5 y 15 kg. Para el cálculo de los elementos del dispensador se utilizarán mats de 15 kg de peso con diámetros de 260 y 76.5 mm externo e interno respectivamente. Las longitudes son de 1.26 m.

El dispensador se constituirá de 4 elementos de tubos rectangulares formando unas eles. Las vigas de soporte para los mats se fabricarán con tubos redondos, distribuidos a lo largo de su altura. Para lograr un desenvolvimiento adecuado del material, el espaciamiento entre los elementos será de 80 cm, con una altura de 1.65 m. Los rollos irán colocados de forma horizontal. La estructura completa tendrá capacidad para 12 mats.



2.1.2.1. Pre dimensionamiento del dispensador

Datos:

Altura del dispensador	1.65 m
Largo del dispensador	2.40 m
Separación entre elementos	0.80 m
Separación entre mats	0.45 m
Diámetro de mats	0.26 m
Longitud de mats	1.26 m
Peso de mats	15.0 kg
Longitud de viga	1.30 m
Carga por ml.	11.54 kg/m

El dispensador soportará cargas vivas verticales originadas por el peso de los mats que producirán deflexiones. Las cargas de tracción horizontales producidas por el sistema de halado continuo de la máquina que generaran desplazamientos horizontales, será revisado y chequeado en el modelo en Etabs. Como ya se mencionó el sistema de halado genera una fuerza de tracción de 3.5 Ton. Por motivos de pre dimensionamiento se asumirá un incremento del 30% de la carga vertical para considerar estos esfuerzos, y se asignará la carga horizontal correspondiente.



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

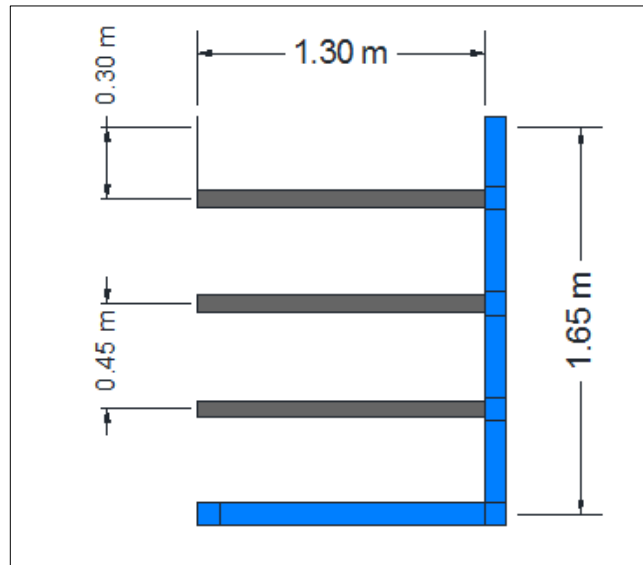


Figura 11. Vista frontal del dispensador

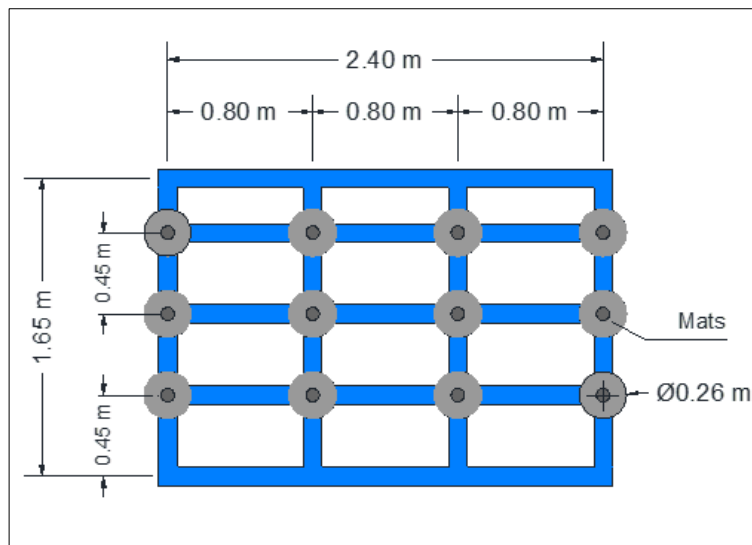


Figura 12. Vista lateral del dispensador



2.1.2.2. Pre dimensionamiento de vigas

Se procede a calcular las cargas que soportarán las vigas donde irán colocados los mats. Por motivos de pre dimensionamiento se desprecia el peso propio del elemento y se obtiene:

$$q = 1.3 \times (1.6 \times 11.54 \text{ kg/m}) = 24.00 \text{ kg/m}$$

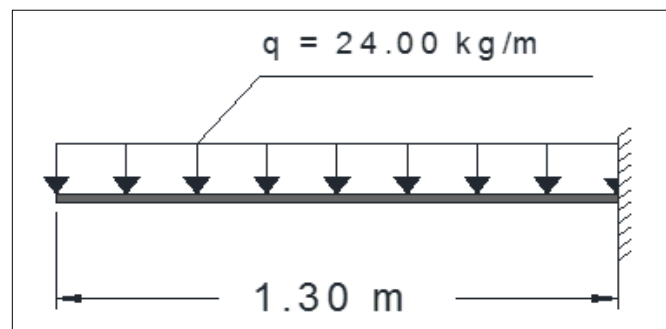


Figura 13. Carga equivalente por ml.

Se calcula la reacción en el empotramiento y el momento máximo para obtener el módulo de resistencia requerido.

$$Reaccion = 24.00 \text{ kg/m} \times 1.30 \text{ m} = 31.20 \text{ kg}$$

$$Mu = \frac{W * L^2}{2} = \frac{24.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * (1.30\text{m})^2}{2} = 20.28 \text{ kg.m}$$

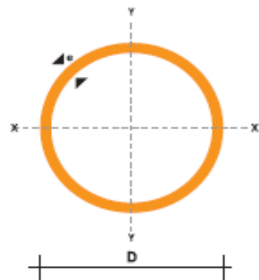
$$Zx(req) = \frac{Mu}{\Phi * fy} = \frac{20.28 \text{ kg.m} \times 100}{0.9 \times 3234 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0.70 \text{ cm}^3$$

De las tablas de perfiles disponibles se selecciona un perfil con un módulo de resistencia igual o mayor al calculado. Ya que el módulo de sección calculado es bajo, se escogerá un perfil con un diámetro similar al diámetro interno del mat (76.5 mm).



Tabla 5. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales redondos)⁷.

DIMENSIONES				PROPIEDADES			
DIAMETRO EXTERIOR		ESPESOR	PESO	AREA	I	W	I
D		e	P	A	cm ³	cm ³	cm
Pulg.	mm	mm	Kg/m	cm ²			
1"	25.40	1.80	1.09	1.34	0.93	0.73	0.83
1"	25.40	2.00	1.21	1.47	1.01	0.79	0.83
1 1/4"	31.75	1.80	1.37	1.69	1.90	1.20	1.06
1 1/4"	31.75	2.00	1.52	1.87	2.07	1.30	1.05
1 1/2"	38.10	1.80	1.65	2.05	3.38	1.78	1.28
1 1/2"	38.10	2.00	1.84	2.27	3.70	1.94	1.28
1 3/4"	44.45	1.80	1.98	2.41	5.48	2.47	1.51
1 3/4"	44.45	2.00	2.20	2.67	6.01	2.70	1.50
1 7/8"	47.63	1.80	2.11	2.59	6.80	2.86	1.62
1 7/8"	47.63	2.00	2.34	2.87	7.46	3.13	1.61
2"	50.80	1.80	2.22	2.77	8.32	3.27	1.73
2"	50.80	2.00	2.48	3.07	9.13	3.59	1.73
2 3/8"	60.33	2.00	2.92	3.67	15.58	5.17	2.06
2 1/2"	63.50	2.00	3.09	3.86	18.27	5.75	2.17
2 7/8"	73.03	2.00	3.56	4.46	28.14	7.71	2.51
3"	88.90	2.00	4.35	5.46	51.54	11.60	3.07
4"	114.30	2.00	5.67	7.06	111.23	19.46	3.97



NOMENCLATURA

- A= Área de la selección transversal del tubo, cm²
- I= Momento de inercia de la sección, cm⁴
- W= Módulo resistente de la sección, cm³
- i= Radio de giro de la sección cm

Perfil a escoger:

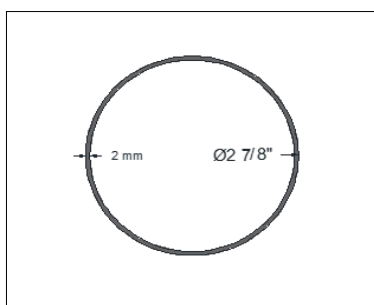


Figura 14. Tubo redondo 2 7/8"

Tubo estructural redondo

$d = 2 \frac{7}{8} \text{ in}$

$e = 2.00 \text{ mm}$

$I = 28.14 \text{ cm}^4$

$Z = 7.71 \text{ cm}^3$

⁷ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



2.1.2.3. Pre dimensionamiento de columnas

La carga total que soportará la columna será igual al peso total que ejercen los tres elementos empotrados a la misma. Se incrementará un 30% la carga para considerar los momentos que están actuando sobre la columna, y un 30% más por los esfuerzos producidos por el sistema de halado.

$$C.v. = 3 \times 31.20 \text{ kg} = 93.6 \text{ kg}$$

$$P_u = 1.6 \times 93.6 \text{ kg} = 149.76 \text{ kg}$$

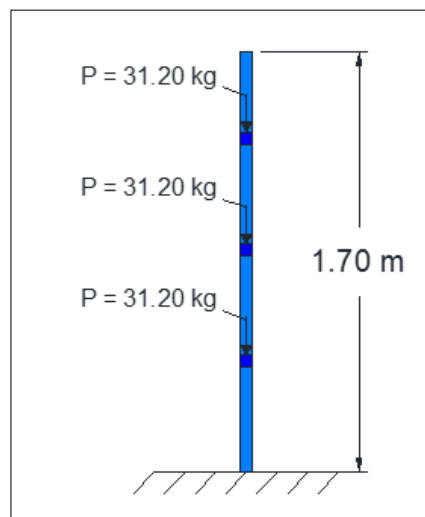


Figura 15. Carga axial sobre la columna

Para pre dimensionamiento se utiliza una relación de esbeltez:

$$\frac{Kl}{r} = 40$$

A partir de la Tabla 2 de Esfuerzos Críticos, para una relación de esbeltez de 40 el esfuerzo crítico correspondiente es aproximadamente 2604 kg/cm^2 , se calcula el área requerida para la sección.

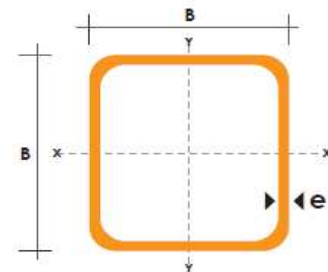
$$A_{req} = \frac{P}{\sigma} = \frac{149.76 \text{ kg}}{2604 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0.06 \text{ cm}^2$$



Al obtener un área mínima, se escogerá un perfil con una dimensión similar al diámetro de la viga para que no existan inconvenientes al momento de realizar las conexiones.

Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)⁸.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



Perfil a escoger:

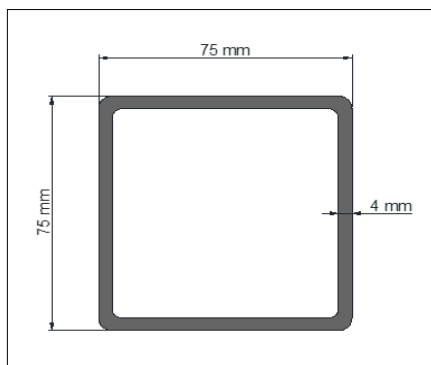


Figura 16. Tubo cuadrado 75x75x4.0 mm

Tubo estructural rectangular

a = 75 mm

b = 75 mm

e = 4.0 mm

I = 89.98 cm⁴

A = 10.95 cm²

⁸ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



2.1.3. Reservorio para resina

El reservorio para resina consiste en un tanque ya sea cilindro, trapezoidal o rectangular, que almacenará la resina y el catalizador que será impregnado en la materia prima para producir el perfil plástico. Existen distintos tipos de reservorios. A continuación, se presentan algunas alternativas que pueden ser empleadas.

- Reservorios automatizados: Se basan en bombas especiales automáticas que suministran la cantidad de resina, catalizador y aditivos necesarios para lograr un proceso sin desperdicios. El sistema se conecta a la entrada del dado.

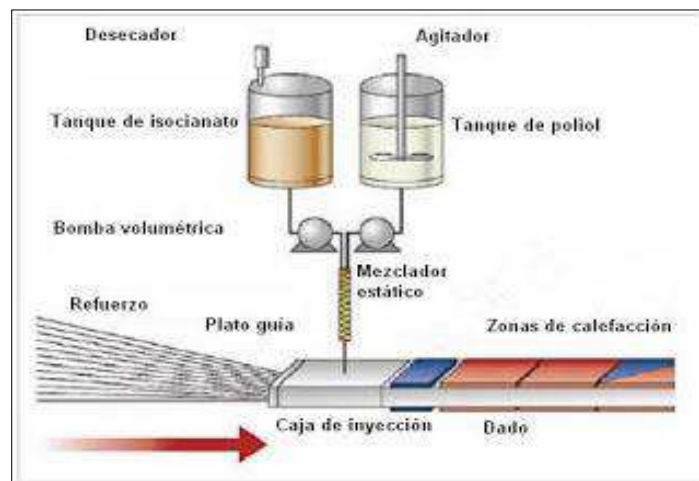


Figura 17. Reservorio de resina automatizado⁹

- Reservorios de acero: Otra alternativa son los tanques de acero que cuentan con rodillos guías para dirigir el material y lograr una impregnación completa de la fibra. Están fabricados con placas de acero inoxidable o acero al carbono revestido.

⁹ Fuente: Tecnología de los Plásticos, [En línea]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/pultrusion.html>

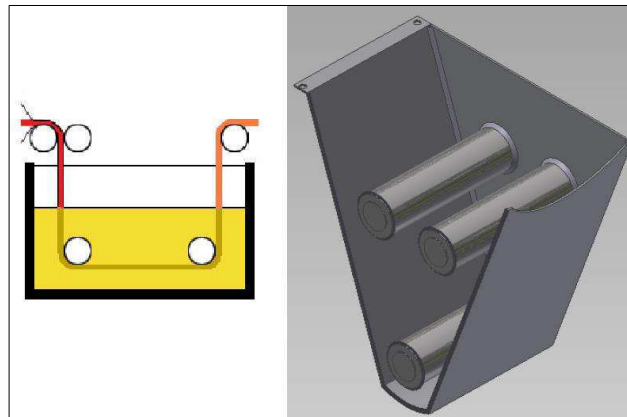


Figura 18. Reservorio de resina de acero¹⁰

Las medidas del tanque dependerán de la producción que se desee lograr, teniendo en cuenta que los perfiles pultruidos están constituidos de 70% fibra de vidrio y 30% de resina, en condiciones ideales. Se debe señalar que el suministro de resina y aditivos, se realizará de manera manual.

- Tanque plástico: si se desean abaratar costos existen tanques plásticos fabricados con fibra de vidrio resistentes a reacciones químicas, que al igual que los tanques de acero se deben adaptar con rodillos guías, que dirigirán el material de forma correcta para una adecuada impregnación de resina. El rellenado debe ser de forma manual.



Figura 19. Reservorio de resina plástico¹¹

¹⁰ Fuente: Rediseño de una máquina de pultrusión para materiales compuestos termoestables, pág. 83.

¹¹ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.suaymar.com/fibra-de-vidrio/tanques-de-almacenamiento/>>



La elección del tipo de reservorio dependerá de varios factores, principalmente de su fabricación, y la relación costo-beneficio ya sea que se desee utilizar un sistema manual o automático.

El sistema de bombas a pesar de tener un costo más elevado inicialmente que el resto de los sistemas, al ser automático no necesita de una persona que este rellenando constantemente el tanque y al no generar desperdicios aprovecha de manera más eficiente la resina, los catalizadores y aditivos. A opinión de los autores es el sistema más idóneo ya que representa un beneficio a largo plazo, que es lo que se busca lograr en maquinarias de producción continua como esta.

2.2. Sistema de soportes

El sistema de soportes es donde irán apoyados los diferentes elementos de la máquina, y consta del soporte para el dado, soporte para los haladores y el soporte para la sierra, en conjunto este sistema ocupa un área de 12.48 m², (8.05 m de largo y 1.55 m de ancho), aproximadamente.

2.2.1. Soporte para el dado

El dado es uno de los elementos más importantes en el proceso de pultrusión. Es donde se lleva cabo el proceso de conformado y curado. En esta zona se producen las reacciones químicas necesarias para obtener propiedades óptimas del perfil. La sección de un perfil pultruido está definida por el tipo de dado que se utilice. Si se desea fabricar diferentes secciones, es necesaria la utilización de diferentes dados con las secciones requeridas. Esto quiere decir que el dado es una pieza intercambiable.

Según el fabricante y dependiendo de las características mecánicas, físicas o químicas, que se deseen lograr, existen varios tipos de dados con pesos que van desde los 150 hasta los 200 kg Para el pre diseño de la estructura que soportará a este elemento se tomaran como referencias las cargas más desfavorables. Cabe señalar que dependiendo del fabricante las dimensiones para los diferentes elementos pueden diferir, pero generalmente no varían



mucho y son estándares para este tipo de maquinaria. Por lo tanto, se han tomado como referencias, las dimensiones propuestas por el fabricante MACHINE PRODUCTS INC.¹²

2.2.1.1. Pre dimensionamiento del soporte para el dado

Datos:

Largo de mesa	2.45	m
Ancho de mesa	0.55	m
Alto de mesa	1.10	m
Área de mesa	1.35	m ²
Peso de Dado	200.00	kg
Carga por m ²	148.42	kg/m ²

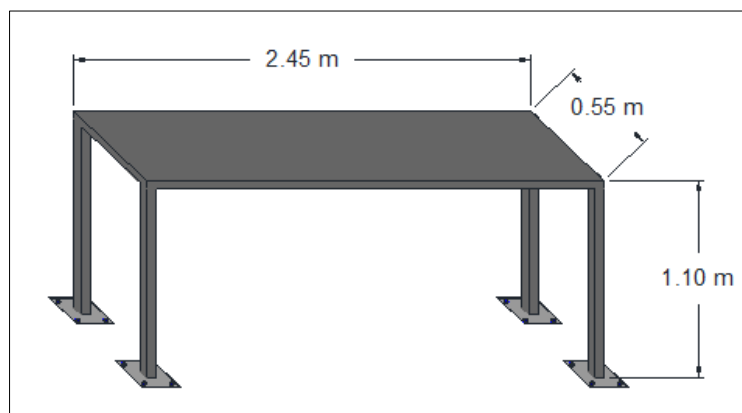


Figura 20. Vista 3D del soporte del dado

Este soporte estará sometido a cargas verticales originadas por el peso del dado, lo que producirá deflexiones, y cargas de tracción horizontales producidas por el sistema de halado continuo que generarán desplazamientos horizontales, lo cual serán debidamente revisado y chequeado en Etabs.

¹² Machine Products Inc. [En línea]. Disponible en: <<http://pultrusiononline.com/>>



Se debe señalar que el sistema de halado que se utilizará genera una fuerza de tracción de 3.5 Ton, por lo que en el cálculo y por motivos de pre dimensionamiento se asumirá un incremento del 30% de la carga vertical.

2.2.1.2. Pre dimensionamiento de vigas

- Determinación de la carga actuante

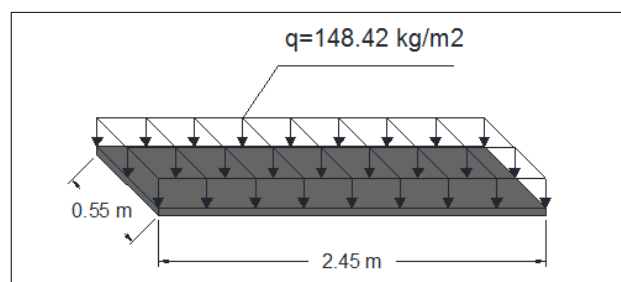


Figura 21. Carga actuante por m²

- Carga rectangular equivalente

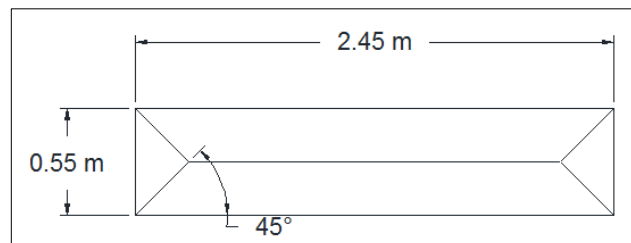


Figura 22. Áreas de aporte

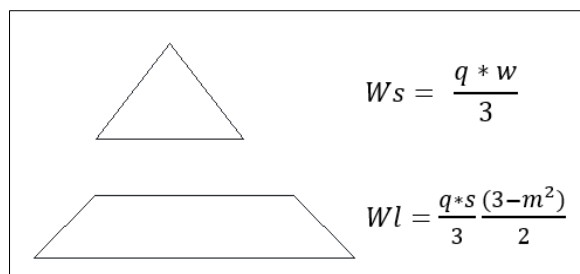


Figura 23. Fórmulas para cargas equivalentes



Dónde:

W= Carga rectangular equivalente

q= Carga por m^2

s= Lado menor

l= Lado mayor

m= Relación entre el lado menor y el lado mayor

Se realizan los cálculos respectivos. Por pre dimensionamiento se desprecia el peso propio del elemento teniendo así:

$$C.v. = 148.42 \text{ kg/m}^2$$

$$q = 1.3 \times (1.6 \times 148.42 \text{ kg/m}^2) = 308.72 \text{ kg/m}^2$$

Se ha considerado un incremento del 30% de la carga para considerar los esfuerzos de tracción producidos por el sistema de halado continuo.

$$m = 0.224$$

$$m^2 = 0.050 \text{ cm}^2$$

$$Wl = \frac{q \cdot s}{3} \frac{(3 - m^2)}{2} = \frac{308.72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 0.55 \text{ m}}{3} \times \frac{3 - 0.05 \text{ m}^2}{2} = 83.47 \text{ kg/m}$$

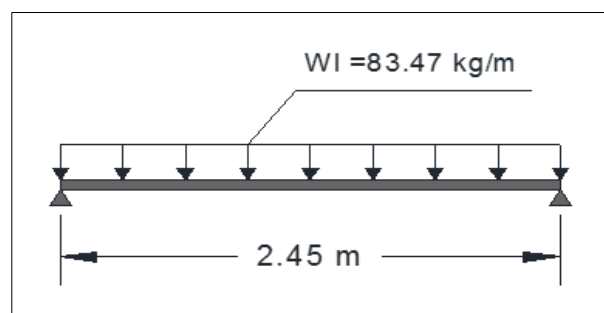


Figura 24. Carga actuante por ml.



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

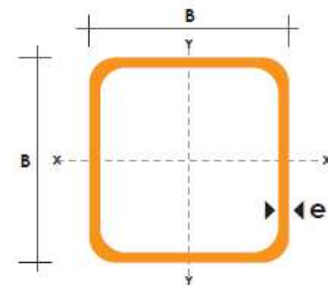
Momento máximo
$$Mu = \frac{W * L^2}{8} = \frac{83.47 \frac{kg}{m^2} * (2.45 m)^2}{8} = 62.63 kg.m$$

Módulo resistente requerido
$$Zx(req) = \frac{Mu}{\Phi * fy} = \frac{62.63 kg.m * 100}{0.9 * 3234 \frac{kg}{cm^2}} = 2.16 cm^3$$

De las tablas de perfiles estructurales disponibles, se selecciona un perfil con el módulo de resistencia inmediatamente superior.

Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)¹³.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPEJOR mm	PESO Kg/m	AREA cm2	I cm4	W cm3	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



¹³ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



Perfil a elegir:

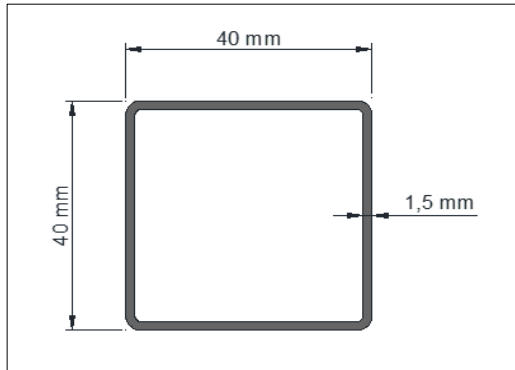


Figura 25. Tubo cuadrado 40x40x1.5 mm

Tubo estructural cuadrado

$$a = 40 \text{ mm}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

$$e = 1.5 \text{ mm}$$

$$I = 5.48 \text{ cm}^4$$

$$Z = 2.74 \text{ cm}^3$$

2.2.1.3. Pre dimensionamiento de columnas

Para pre diseño se asume un peso de 35 kg/m^2 para vigas y columnas:

$$C.m. = 35.00 \text{ kg/m}^2$$

$$C.v. = 148.42 \text{ kg/m}^2$$

$$U = 1.3 \times (1.2 \times 35.00 \text{ kg/m}^2 + 1.6 \times 148.42 \text{ kg/m}^2) = 363.32 \text{ kg/m}^2$$

Se ha considerado un incremento del 30% de la carga por efecto de esfuerzos de tracción producidos por el sistema de halado continuo.

El área cooperante es de 0.337 m^2 , por lo tanto, la carga axial que soportará la columna será:

$$P_u = 363.32 \text{ kg/m}^2 \times 0.337 \text{ m}^2 = 122.39 \text{ kg}$$

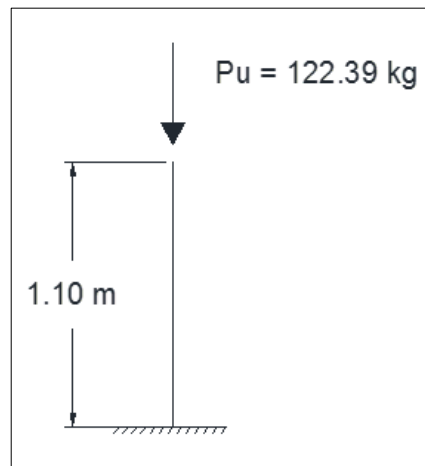


Figura 26. Carga axial sobre la columna

Tomando para pre diseño una relación de esbeltez de 40 y conociendo de la tabla 2 que el esfuerzo crítico correspondiente es de aproximadamente 2604 kg/cm^2 , se calcula el área requerida:

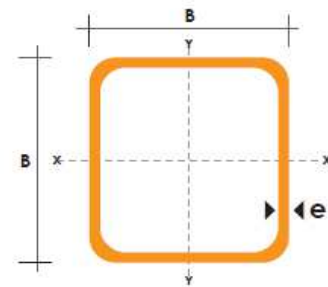
$$A_{req} = \frac{P}{\sigma} = \frac{122.39 \text{ kg}}{2604 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0.047 \text{ cm}^2$$

Como se obtuvo un área mínima se seleccionará la misma sección de la viga.



Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)¹⁴.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPELOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



Perfil a escoger:

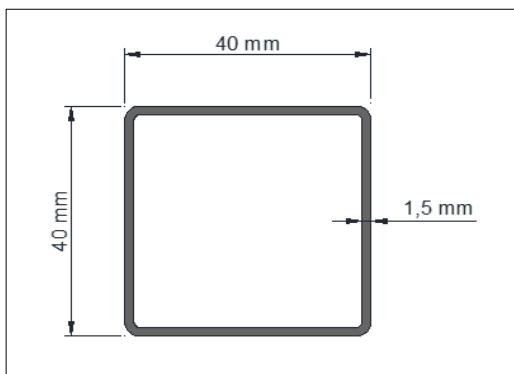


Figura 27. Tubo cuadrado 40x40x1.5 mm

Tubo estructural cuadrado

$a = 40 \text{ mm}$

$b = 40 \text{ mm}$

$e = 1.5 \text{ mm}$

$I = 5.48 \text{ cm}^4$

$A = 2.25 \text{ cm}^3$

¹⁴ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



2.2.2. Soporte para el sistema de halado

El sistema de halado es la parte central del proceso de pultrusión, es el encargado de generar el movimiento para que la materia prima pase por los distintos elementos de la máquina. Para que el perfil se enfríe correctamente, ya sea que se utilicen tinas de enfriamiento o se realice por temperatura atmosférica, debe existir una distancia adecuada desde que sale del dado hasta que llega al sistema de halado, generalmente 1 m es suficiente para lograr esto, aunque en máquinas de mayor capacidad se recomiendan hasta 3 m de distancia.

El soporte del sistema de halado se ubicará a una distancia de 50 cm del soporte del dado lo que le dará al perfil una longitud mínima de 2 m desde que sale del dado hasta que empieza sistema de halado, (conociendo que la longitud del dado puede variar hasta 1 m de largo), por lo que no será necesario utilizar medios especiales de enfriamiento.

El sistema de halado que se utilizará para el diseño del soporte según el fabricante, pesa aproximadamente 3.5 Ton. Genera una fuerza de tracción de 3.5 Ton y una velocidad de pultrusión de 2.4 m/min, el soporte para este sistema será diseñado tomando como referencias las medidas propuestas por el fabricante MACHINE PRODUCTS INC.¹⁵

2.2.2.1. Pre dimensionamiento del soporte para el sistema de halado

Datos:

Largo de mesa	3.00	m
Ancho de mesa	0.55	m
Alto de mesa	1.10	m
Área de mesa	1.65	m ²
Peso de Haladores	3500.00	kg
Carga por m ²	2121.21	kg/m ²

¹⁵ Machine Products Inc. [En línea]. Disponible en: <<http://pultrusiononline.com/>>

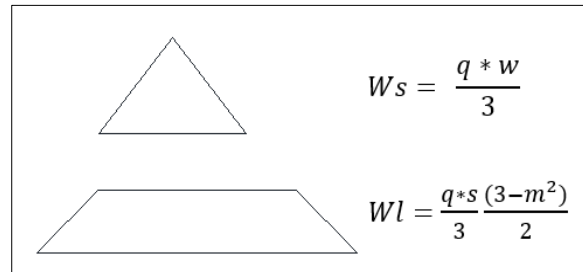


Figura 31. Fórmulas para cargas equivalentes

Dónde:

W= Carga rectangular equivalente

q= Carga por m²

s= Lado menor

l= Lado mayor

m= Relación entre el lado menor y el lado mayor

Se realizan los cálculos respectivos. Por pre dimensionamiento se desprecia el peso propio del elemento teniendo así:

$$C.v. = 2121.21 \text{ kg/m}^2$$

$$q = 1.3 \times (1.6 \times 2121.21 \text{ kg/m}^2) = 4412.12 \text{ kg/m}^2$$

Se ha incrementado un 30% la carga para considerar los esfuerzos de tracción producidos por el sistema de halado continuo.

$$m = 0.367 \text{ cm}$$

$$m^2 = 0.134 \text{ cm}^2$$

$$W_l = \frac{q * s * (3 - m^2)}{3 * 2} = \frac{4412.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 0.55 \text{ m}}{3} \times \frac{3 - 0.134 \text{ m}^2}{2} = 1159.13 \text{ kg/m}$$

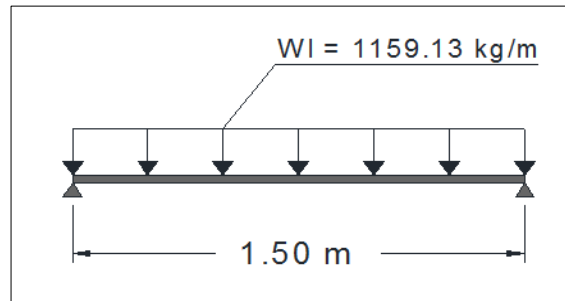


Figura 32. Carga actuante por ml

Momento máximo

$$Mu = \frac{W * L^2}{8} = \frac{1159.13 \frac{kg}{m^2} \times (1.50 m)^2}{8} = 326.01 kg.m$$

Módulo resistente requerido

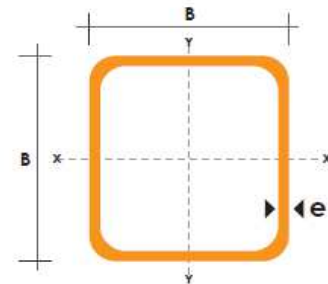
$$Zx(req) = \frac{Mu}{\Phi * fy} = \frac{326.01 kg.m \times 100}{0.9 \times 3234 \frac{kg}{cm^2}} = 11.20 cm^3$$

De las tablas de perfiles estructurales disponibles (DIPAC), se selecciona el perfil con el módulo de resistencia inmediatamente superior.

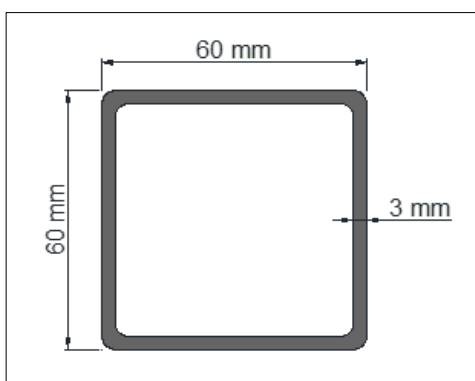


Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)¹⁶.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



Perfil a escoger:



Tubo estructural cuadrado

$$a = 60 \text{ mm}$$

$$b = 60 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

$$I = 35,06 \text{ cm}^4$$

$$Z = 11,69 \text{ cm}^3$$

Figura 33. Tubo cuadrado 60x60x3.0 mm

¹⁶ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



2.2.2.3. Pre dimensionamiento de columnas

Para pre diseño se asume un peso de 35 kg/m^2 para vigas y columnas:

$$C.m. = 35.00 \text{ kg/m}^2$$

$$C.v. = 424.24 \text{ kg/m}^2$$

$$U = 1.3 \times (1.2 \times 35.00 \text{ kg/m}^2 + 1.6 \times 2121.21 \text{ kg/m}^2) = 4466.72 \text{ kg/m}^2$$

Se ha considerado un incremento del 30% de la carga para considerar los esfuerzos de tracción producidos por el sistema de halado continuo.

El área cooperante es de 0.4125 m^2 , por lo tanto, la carga axial que soportará la columna será:

$$P_u = 4466.72 \text{ kg/m}^2 \times 0.4125 \text{ m}^2 = 1842.52 \text{ kg}$$

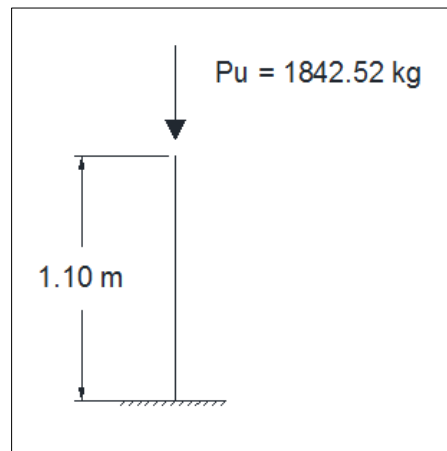


Figura 34. Carga axial sobre la columna

Tomando para pre diseño una relación de esbeltez de 40 y conociendo de la tabla 2 que el esfuerzo crítico correspondiente es de aproximadamente 2604 kg/cm^2 , se calcula el área requerida:

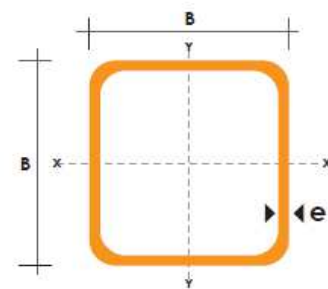
$$A_{req} = \frac{P}{\sigma} = \frac{1842.52 \text{ kg}}{2604 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0.71 \text{ cm}^2$$



De las tablas de perfiles estructurales disponibles (DIPAC), se selecciona un perfil con un área similar a la calculada.

Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)¹⁷.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPELOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



Perfil a escoger:

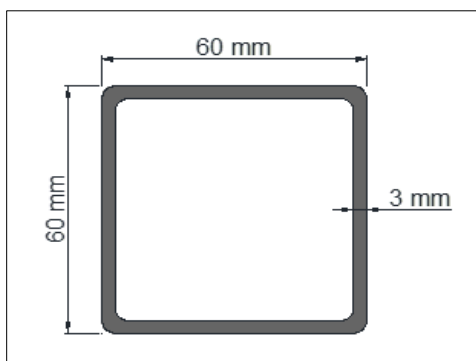


Figura 35. Tubo cuadrado 60x60x3.0 mm

Tubo estructural cuadrado

$$a = 60 \text{ mm}$$

$$b = 60 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

$$I = 35.06 \text{ cm}^4$$

$$A = 6.61 \text{ cm}^2$$

¹⁷ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



2.2.3. Soporte para la sierra

La sierra es el elemento final en el proceso de pultrusión, aquí es donde se corta el perfil de acuerdo a las longitudes requeridas, según el fabricante dependiendo del sistema de corte que se elija ya sea manual o automático. Los pesos de las sierras van desde los 30 hasta los 70 kg. Debe existir un área de transición desde que el perfil sale del sistema de halado hasta que llega a la sierra, esto para mantener un proceso continuo. La distancia se determina por varios factores como: la longitud del perfil y la potencia y velocidad de corte de la sierra. Generalmente 1 m de distancia es suficiente para mantener un proceso sin interrupciones.

Igual que con el resto de la maquinaria, para el pre diseño del soporte de la sierra se trabajará con la carga más desfavorable y se tomarán como referencia las dimensiones propuestas por el fabricante MACHINE PULTRUSION INC.¹⁸

2.2.3.1. Pre dimensionamiento del soporte para la sierra

Datos:

Largo de mesa	1.55	m
Ancho de mesa	1.10	m
Alto de mesa	1.10	m
Área de mesa	1.71	m ²
Peso de Sierra	70.00	kg
Carga por m ²	41.06	kg/m ²

¹⁸ Machine Products Inc. [En línea]. Disponible en: <<http://pultrusiononline.com/>>



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

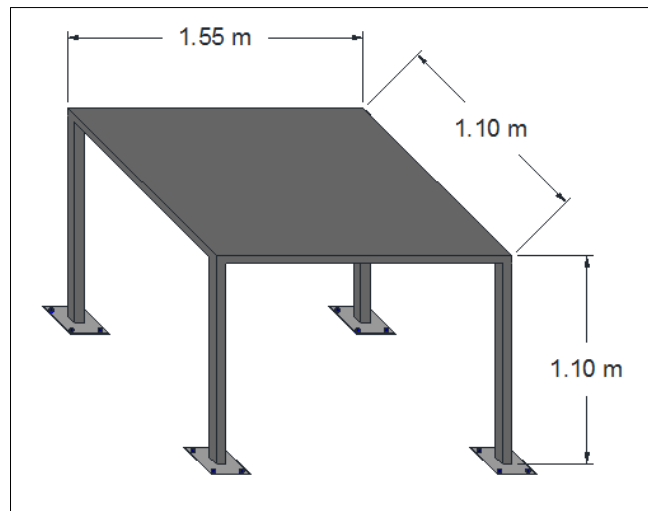


Figura 36. Vista 3D del soporte de la sierra

2.2.3.2. Pre dimensionamiento de vigas

- Determinación de la carga actuante

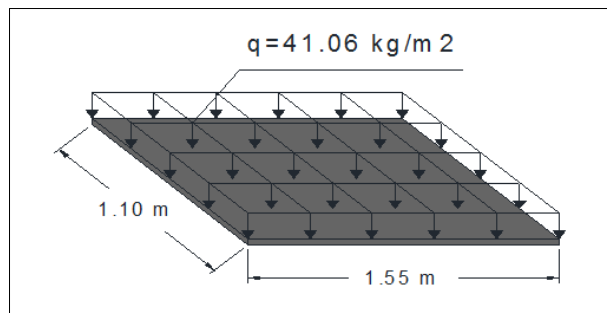


Figura 37. Carga actuante por m²

- Carga rectangular equivalente

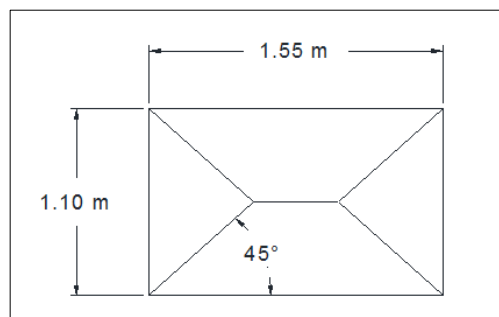


Figura 38. Áreas de aporte

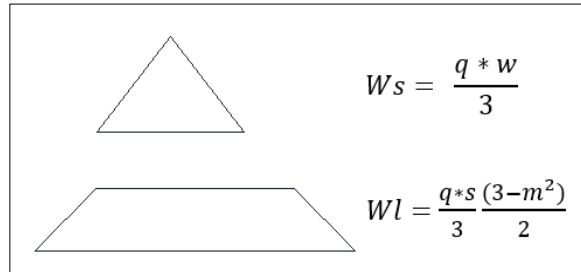


Figura 39. Fórmulas para cargas equivalentes

Dónde:

W = Carga rectangular equivalente

q = Carga por m^2

s = Lado menor

l = Lado mayor

m = Relación entre el lado menor y el lado mayor

Se realizan los cálculos respectivos. Por pre dimensionamiento se desprecia el peso propio del elemento teniendo así:

$$C.v. = 41.06 \text{ kg/m}^2$$

$$q = 1.6 \times 41.06 \text{ kg/m}^2 = 65.70 \text{ kg/m}^2$$

$$m = 0.710 \text{ cm}$$

$$m^2 = 0.503 \text{ cm}^2$$

$$Wl = \frac{q * s (3 - m^2)}{3 * 2} = \frac{65.70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 1.10 \text{ m}}{3} \times \frac{3 - 0.503 \text{ m}^2}{2} = 30.08 \text{ kg/m}$$

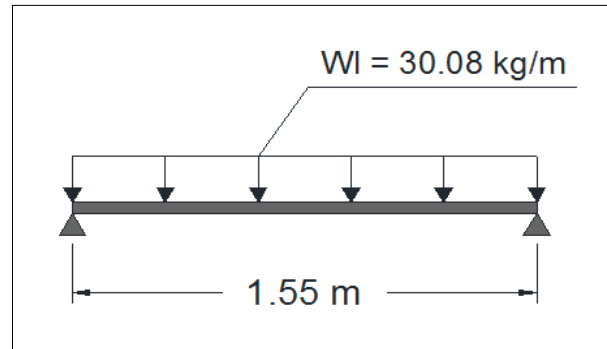


Figura 40. Carga equivalente por ml

Momento máximo

$$Mu = \frac{W * L^2}{8} = \frac{30.08 \frac{kg}{m} * (1.55m)^2}{8} = 9.03 kg.m$$

Módulo resistente requerido

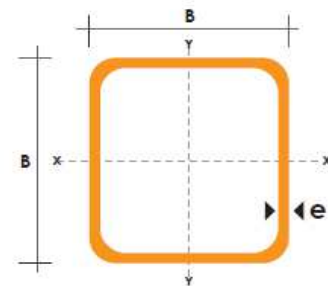
$$Zx(req) = \frac{Mu}{\Phi * fy} = \frac{9.03 kg.m * 100}{0.9 * 3234 \frac{kg}{cm^2}} = 0.31 cm^3$$

De las tablas de perfiles estructurales disponibles (DIPAC), se selecciona el perfil con el módulo de resistencia inmediatamente superior.



Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)¹⁹.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



Perfil a escoger

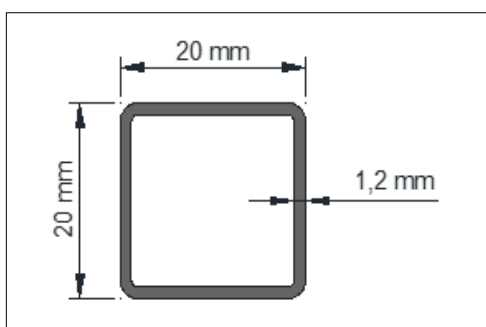


Figura 41. Tubo cuadrado 20x20x1.2 mm

Tubo estructural cuadrado

- a = 20 mm
- b = 20 mm
- e = 1.2 mm
- I = 0.53 cm⁴
- Z = 0.53 cm³

¹⁹ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



2.2.3.3. Pre dimensionamiento de columnas

Por pre diseño se asume un peso de 35 kg/m^2 para vigas y columnas:

$$C.m. = 35.00 \text{ kg/m}^2$$

$$C.v. = 41.06 \text{ kg/m}^2$$

$$U = 1.2 \times 35.00 \text{ kg/m}^2 + 1.6 \times 41.06 \text{ kg/m}^2 = 107.70 \text{ kg/m}^2$$

El área cooperante es de 0.43 m^2 , por lo tanto, la carga axial que soportará la columna será:

$$P_u = 107.70 \text{ kg/m}^2 \times 0.43 \text{ m}^2 = 46.30 \text{ kg}$$

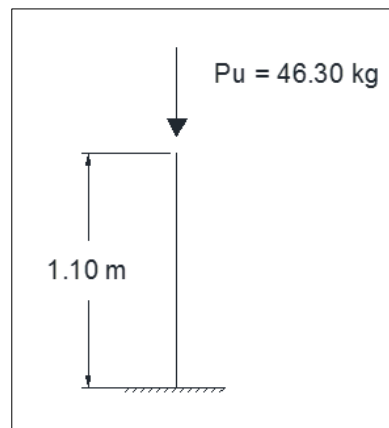


Figura 42. Carga axial sobre la columna

Tomando para pre diseño una relación de esbeltez de 40 y conociendo de la tabla 2 que el esfuerzo crítico correspondiente es de aproximadamente 2604 kg/cm^2 , se calcula el área requerida:

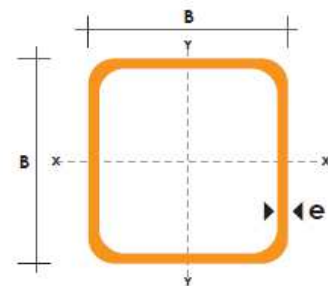
$$A_{req} = \frac{P}{\sigma} = \frac{46.30 \text{ kg}}{2604 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0.018 \text{ cm}^2$$

De las tablas de perfiles estructurales disponibles (DIPAC), se selecciona un perfil con un área similar a la calculada.



Tabla 3. Catálogo de acero DIPAC (tubos estructurales cuadrados)²⁰.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPELOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



Por lo tanto el perfil a escoger es:

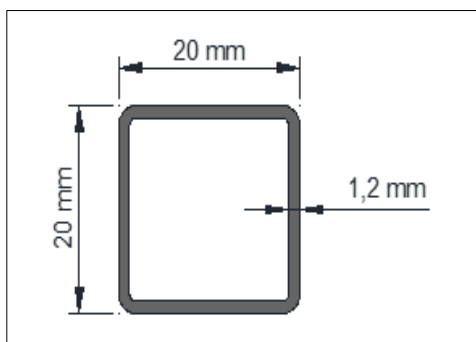


Figura 43. Tubo cuadrado 20x20x1.2 mm

Tubo estructural cuadrado

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}$$

$$e = 1.2 \text{ mm}$$

$$I = 0.53 \text{ cm}^4$$

$$A = 0.90 \text{ cm}^2$$

²⁰ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.dipacmanta.com/>>



2.3. Modelación en Etabs

Para realizar el modelo y el análisis estructural en Etabs se seguirán los siguientes pasos en cada uno de los elementos de la máquina.

- Definición de la geometría.
- Definición de los materiales.
- Definición de las secciones.
- Asignación de restricciones en los apoyos.
- Asignación de cargas.
- Combinaciones de cargas.
- Comprobación de derivas.
- Comprobación de deflexiones.

En la definición de materiales se crearán listas de autoselección con diferentes secciones para que el programa asigne automáticamente la más adecuada. Se debe considerar que Etabs realiza el cálculo de derivas y deflexiones tomando como referencia una sección intermedia de la lista, por lo que una vez que se hayan definido las secciones definitivas se deberá realizar el chequeo nuevamente en dichas secciones.

Al tratarse de una máquina que se encontrará más probablemente dentro de un laboratorio o bajo un galpón y que tendrá una altura máxima de 1.10 m, esta no soportará cargas de lluvia o nieve, tampoco sobrecargas de terraza ni cargas sísmicas, por lo que siguiendo las disposiciones de la NEC – 2015 las combinaciones útiles de cargas serán:

Comb1 $U = 1.4 C.m.$

Comb2 $U = 1.2 C.m. + 1.6 C.v.$

Otro punto a tener en cuenta es que el sistema de halado que se utilizará produce una fuerza de tracción de 3.5 Ton que generará desplazamientos horizontales sobre los diferentes elementos de la máquina por lo que se ha considerado dividir esa fuerza recíprocamente entre la estantería, dispensador, dado y sistema de halado.



Teniendo claro esto se procede a realizar la modelación de cada parte por separado para facilitar el cálculo.

2.3.1. Estantería

Se tiene la estantería modelada en Etabs con las secciones propuestas por el pre dimensionamiento. Se han asignado las restricciones en los apoyos (empotramiento), las cargas correspondientes sobre el elemento, y se han definido las combinaciones de cargas.

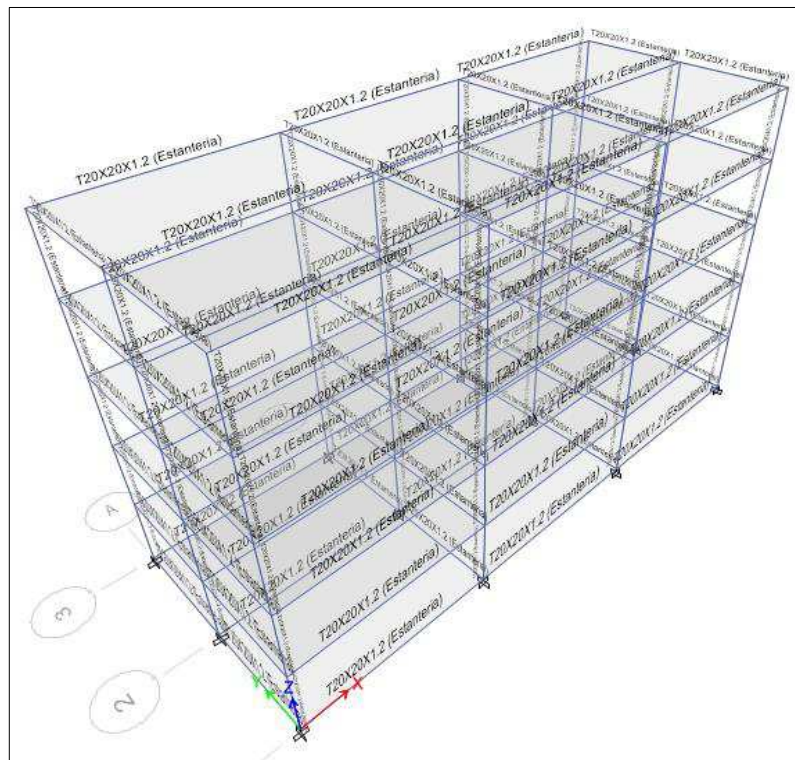


Figura 44. Asignación de secciones (estantería)

El sistema de halado produce una fuerza de tracción de 3.5 Ton. La carga horizontal correspondiente para la estantería es de 875 kg, y distribuida en cada piso es de 125 kg/m, y la carga vertical repartida en cada tramo es de 60.71 kg/m², correspondiente al peso de los rovings, como se muestra en la Figura 45 y 46 respectivamente.

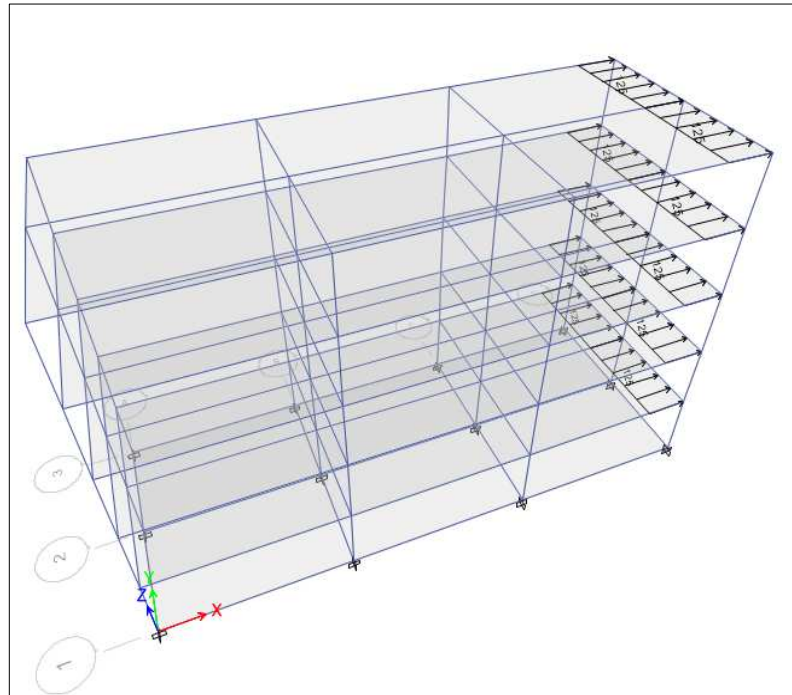


Figura 45. Asignación de cargas horizontales (C.v.) (estantería)

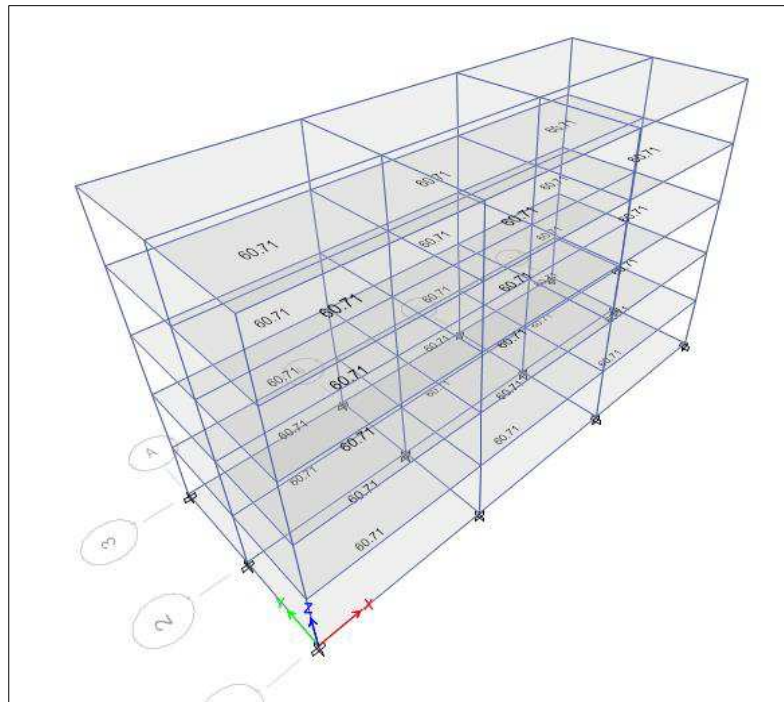


Figura 46. Asignación de cargas verticales (C.v.) (estantería)



2.3.1.1. Evaluación de derivas

Se realiza el chequeo de las derivas, se debe recalcar que si se está utilizando la herramienta de autoselección se debe realizar el chequeo nuevamente una vez definidas las secciones definitivas.

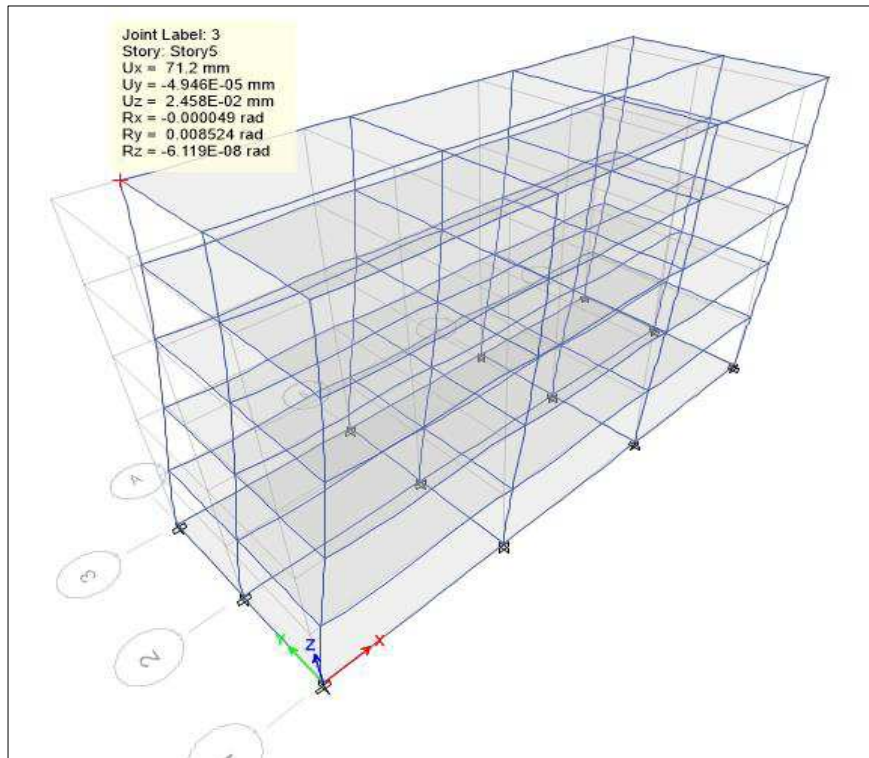


Figura 47. Chequeo de derivas (estantería)

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción la deriva máxima viene dada por:

$$\Delta_M = 0.75 \times R \times \Delta_E$$

Tabla 6. Valores máximos de Δ_M .²¹

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

²¹ Fuente: NEC_SE_DS Peligro_Sismico, pág. 40



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

$$\Delta_E = \frac{q_{piso2} - q_{piso1}}{H} = \frac{71.2 \text{ mm} - 64.5 \text{ mm}}{450 \text{ mm}} = 0.0148$$

Point Displacements			
Object ID			
Tower and Story	Label	Unique Name	
Story5	3	3	
Point Displacement and Drift			
	X	Y	Z
Translation, mm	71.2	-4.946E-05	2.458E-02
Rotation, rad	-0.000049	0.008524	-6.119E-08
Drift	0.014783	3.154E-08	

Figura 48. Deriva calculada por Etabs (estantería)

$$\Delta_M = 0.75 \times 8 \times 0.0148 = 0.088 > 0.02 \quad \text{No}$$

La deriva calculada excede en aproximadamente un 400% a la deriva permitida, por lo tanto, se incrementarán las secciones.

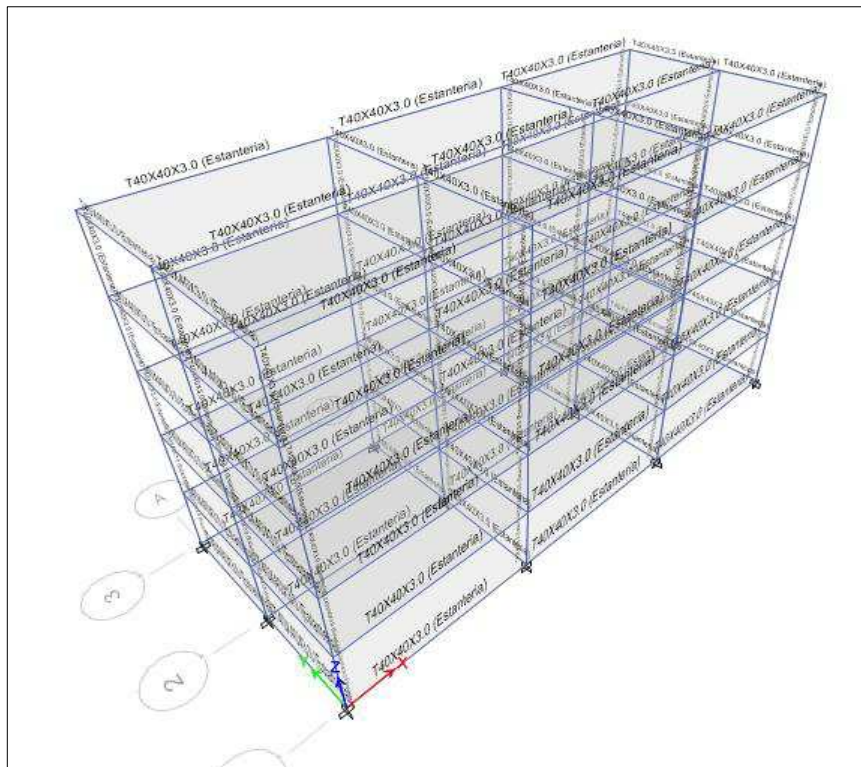


Figura 49. Asignación de nuevas secciones (estantería)



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Se aumentaron las secciones de un tubo cuadrado de 20 x 20 x 1.2 mm a un tubo cuadrado de 40 x 40 x 3.0 mm, y se vuelven a comprobar las derivas.

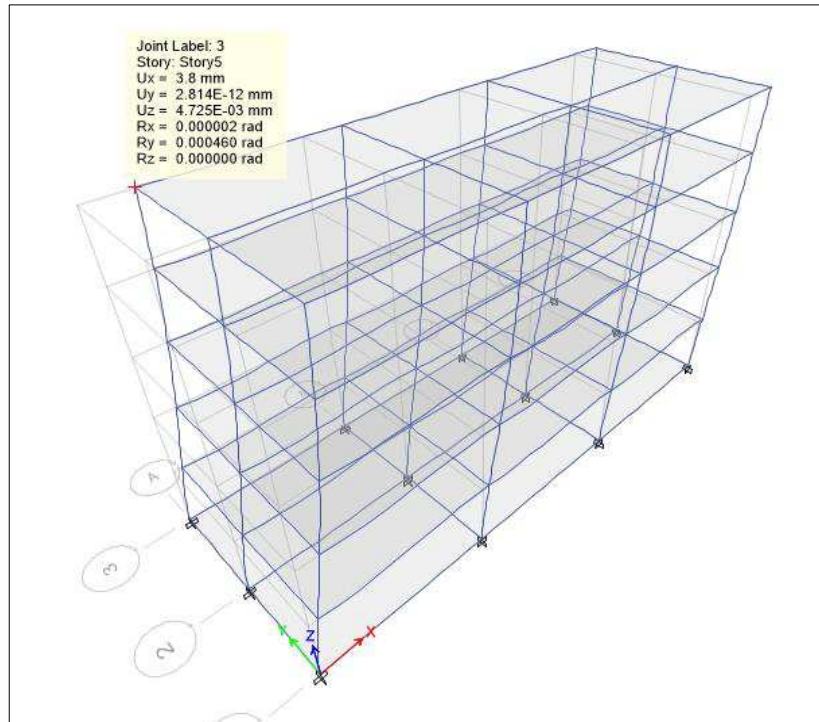


Figura 50. Nuevo chequeo de derivas (estantería)

Point Displacements			
Object ID			
Tower and Story	Label	Unique Name	
Story5	3	3	
Point Displacement and Drift			
	X	Y	Z
Translation, mm	3.8	2.814E-12	4.725E-03
Rotation, rad	0.000002	0.000460	0.000000
Drift	0.000790	0.000000	

Figura 51. Deriva calculada por Etabs (estantería)

$$\Delta_M = 0.75 \times 8 \times 0.00079 = 0.0047 > 0.02 \quad \text{Ok}$$



2.3.1.2. Revisión de deflexiones

Revisando cada elemento de la estantería se observa que las deflexiones son mínimas, teniendo una deflexión máxima de 0.023 cm en el elemento mostrado en la Figura 52.

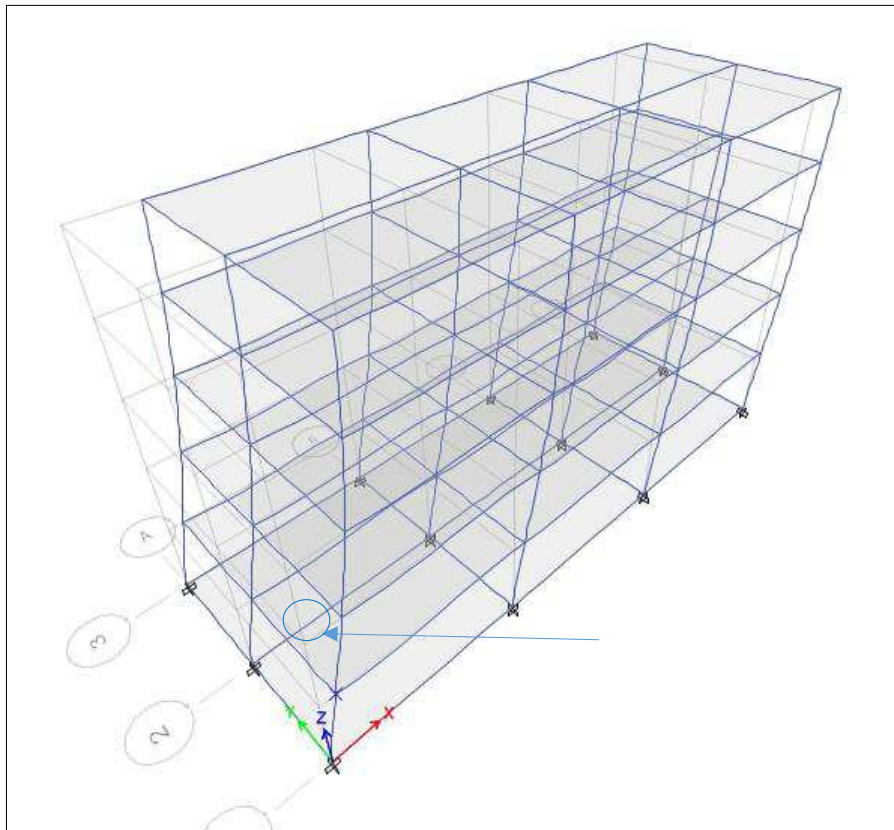


Figura 52. Revisión de deflexiones (estantería)

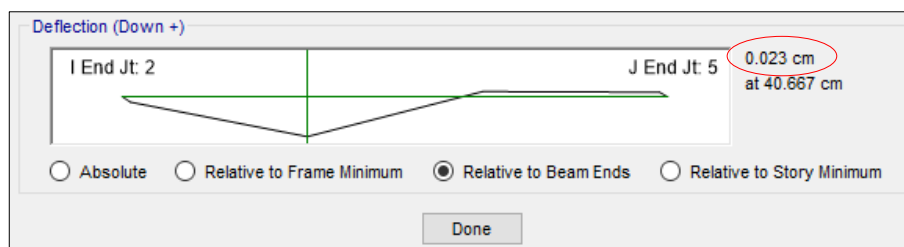


Figura 53. Deflexión máxima (estantería)

Límite permisible

$$\frac{L}{180} = \frac{120}{180} = 0.66 > 0.02 \text{ cm} \quad \text{Ok}$$



Tabla 7. Deflexiones máximas permisibles²².

Tabla N° 02: DEFLEXIONES MÁXIMAS PERMITIDAS POR EL CÓDIGO DEL ACI (ACI-TABLA 9.5.B.)		
TIPO DE MIEMBRO	DEFLEXIÓN QUE SE HA DE CONSIDERAR	LÍMITE DE LA DEFLEXIÓN
1. Techos llanos que no soportan ni están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas.	Deflexión inmediata debido a carga viva	$L_n/180$
2. Pisos que no soportan carga, o fijos a elementos no estructurales que es posible sean dañados por grandes deflexiones	Deflexión inmediata debido a carga viva	$L_n/360$
3. Techos o pisos que soportan o están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas.	Parte de la flecha total que ocurre después de la colocación de los elementos no estructurales.	$L_n/480$
4. Techos o pisos que soportan o están ligados a elementos no estructurales que no se dañan con deflexiones excesivas		$L_n/240$

²² Fuente: Código ACI 318-05, Anexos Tabla # 2



2.3.2. Dispensador

Se ha realizado la modelación del dispensador en Etabs con las secciones propuestas por el pre dimensionamiento, se han asignado las restricciones en los apoyos (empotramiento), las cargas correspondientes sobre las vigas, y se han definido las combinaciones de cargas.

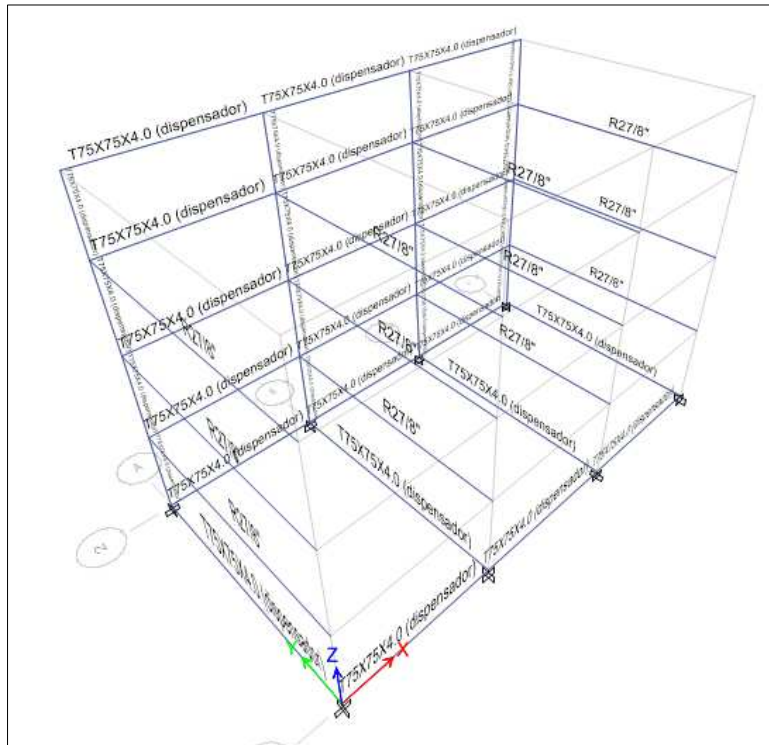


Figura 54. Asignación de secciones (dispensador)

El sistema de halado produce una fuerza de tracción de 3.5 Ton, La carga horizontal correspondiente para el dispensador es de 875 kg, y distribuida en cada viga es de 72.92 kg, y la carga vertical repartida en cada viga es de 11.54 kg/m², correspondiente al peso del mat, como se muestra en la Figura 55.

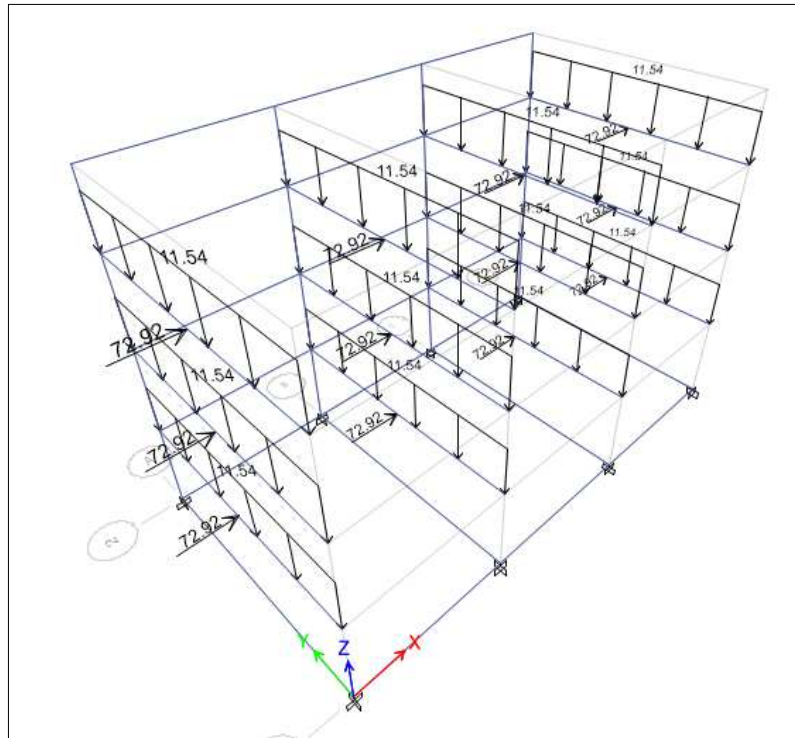


Figura 55. Asignación de cargas verticales y horizontales (C.v.) (dispensador)

2.3.2.1. Evaluación de derivas

Se chequean las derivas en las dos direcciones principales

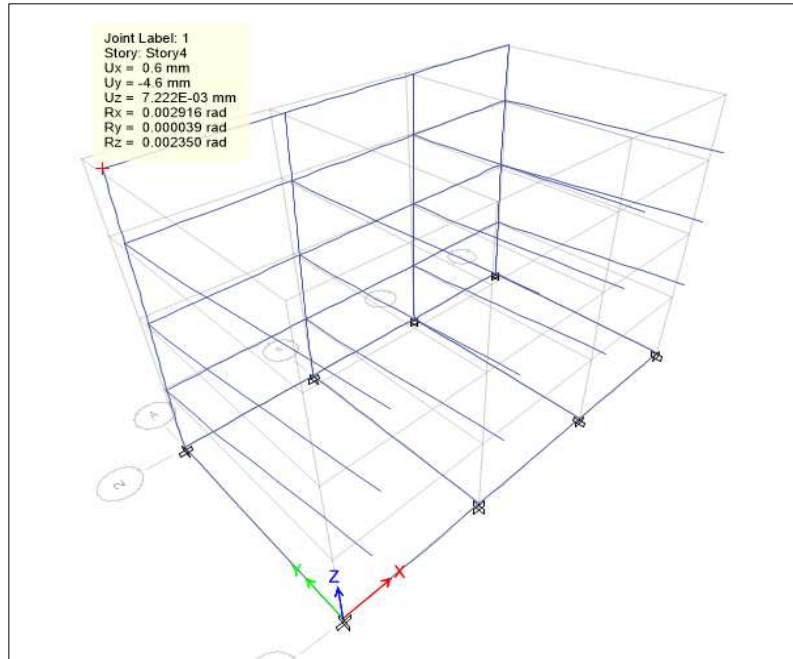


Figura 56. Chequeo de derivas (dispensador)

En dirección x:

Point Displacements			
Object ID			
Tower and Story	Label	Unique Name	
Story4	1	4	
Point Displacement and Drift			
	X	Y	Z
Translation, mm	0.6	-4.6	7.222E-03
Rotation, rad	0.002916	0.000039	0.002350
Drift	0.000079	0.003037	

Figura 57. Deriva ex (x) calculada por Etabs (dispensador)

$$\Delta_M = 0.75 \times 8 \times 0.000079 = 0.0005 > 0.02 \quad \text{Ok}$$



En dirección y:

Object ID	Tower and Story	Label	Unique Name
	Story4	1	4

Point Displacement and Drift	X	Y	Z
Translation, mm	0.6	-4.6	7.222E-03
Rotation, rad	0.002916	0.000039	0.002350
Drift	0.000079	0.003037	0.002350

Figura 58. Deriva ex (x) calculada por Etabs (dispensador)

$$\Delta_M = 0.75 \times 8 \times 0.0030 = 0.0018 > 0.02 \quad \text{Ok}$$

2.3.2.2. Revisión de deflexiones

Se encuentra una deflexión máxima de 5 mm, en el elemento mostrado en la Figura 59.

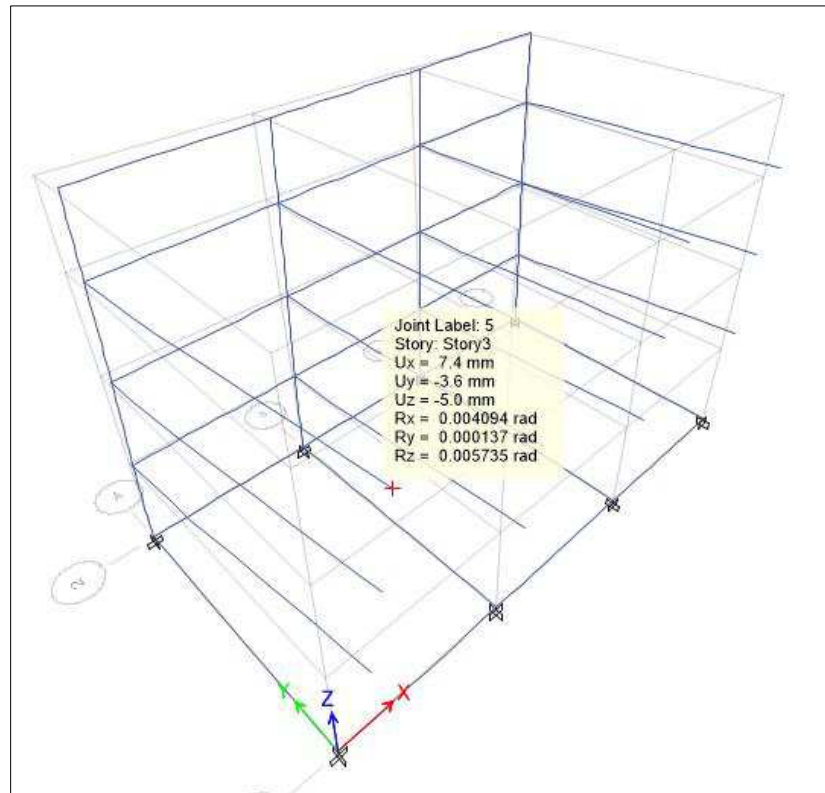


Figura 59. Revisión de deflexiones (dispensador)

Al ser un elemento en volado, para el cálculo de la deflexión se toma el doble de su longitud y de acuerdo a la tabla 5:

Límite permisible

$$\frac{2L}{180} = \frac{260}{180} = 1.44 > 0.5 \text{ cm} \quad \text{Ok}$$



2.3.3. Soporte para el dado

Se tiene el soporte del dado modelado en Etabs con las secciones propuestas por el pre dimensionamiento, se han asignado las restricciones en los apoyos (empotramiento), las cargas correspondientes sobre el elemento, y se han definido las combinaciones de cargas.

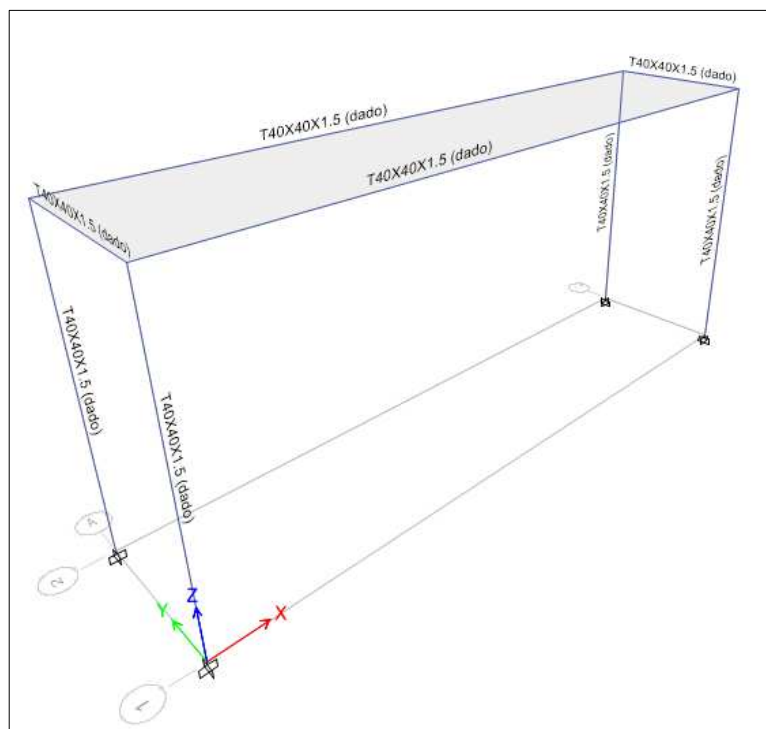


Figura 60. Asignación de secciones (soporte del dado)

El sistema de halado produce una fuerza de tracción de 3.5 Ton, La carga horizontal correspondiente para el sistema de halado es de 875 kg, es decir 437.5 kg en cada nodo, ya que el dado se asienta sobre las vigas longitudinales, y la carga vertical repartida es de 148.42 kg/m, correspondiente al peso del dado, como se muestra en la Figura 61 y 62 respectivamente.

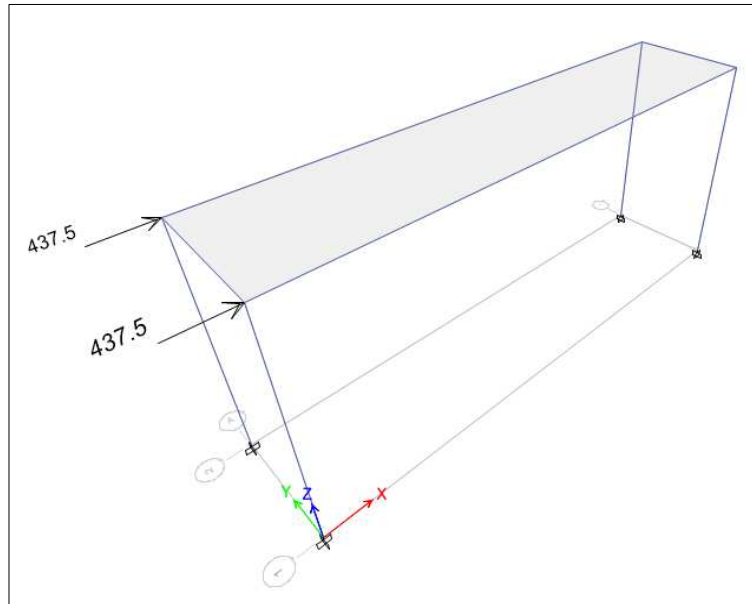


Figura 61. Asignación de cargas horizontales (soporte del dado)

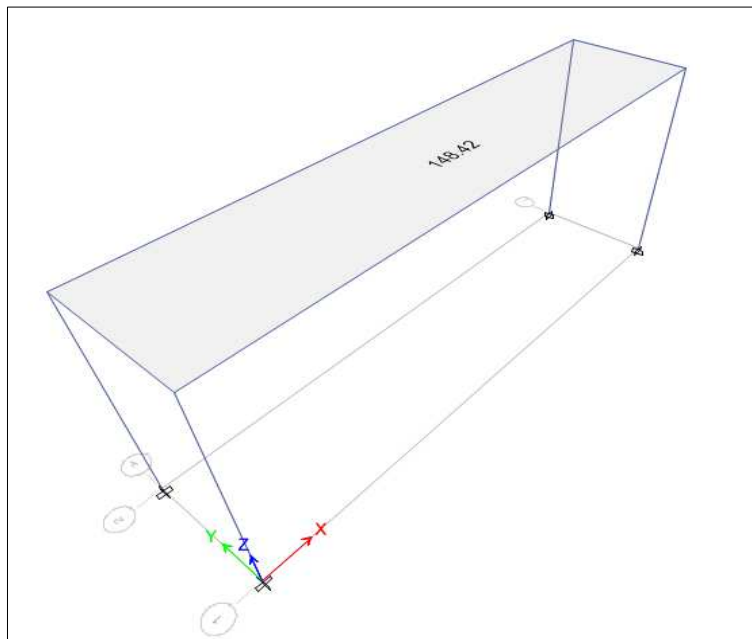


Figura 62. Asignación de cargas verticales (C.v.) (soporte del dado)



2.3.3.1. Evaluación de derivas

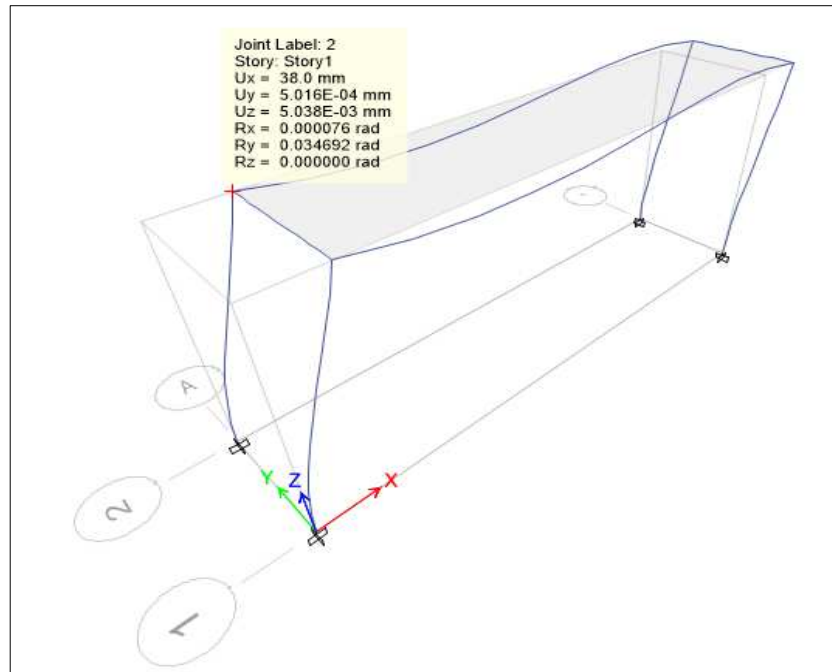


Figura 63. Chequeo de derivas (soporte del dado)

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción el cálculo de la deriva máxima viene dada por:

$$\Delta_M = 0.75 \times R \times \Delta_E$$

Object ID			
Tower and Story	Label	Unique Name	
Story1	2	2	
Point Displacement and Drift			
	X	Y	Z
Translation, mm	38.0	5.016E-04	5.038E-03
Rotation, rad	0.000076	0.034692	0.000000
Drift	0.034580	4.560E-07	

Figura 64. Deriva calculada por Etabs (soporte del dado)



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

$$\Delta_M = 0.75 \times 8 \times 0.0345 = 0.207 > 0.02 \quad \text{No}$$

La deriva excede en casi un 1000% a la permitida, por lo que se deben aumentar las secciones. Debido a q las derivas son excesivas el incremento de secciones debería ser exagerado para lograr cumplir con la norma. Una alternativa a esto es cambiar la geometría del soporte, por lo que se ha considerado añadir columnas y vigas intermedias y elementos de arriostres, como se muestra en la Figura 65, e incluso se pueden reducir las secciones.

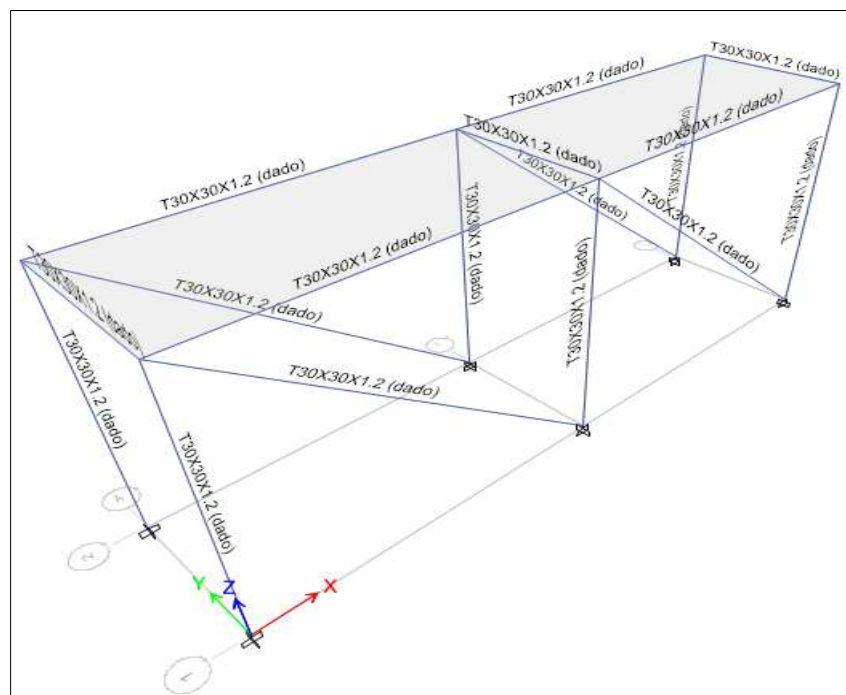


Figura 65. Nueva configuración del soporte para el dado

Se calculan nuevamente las derivas, y se observa ver que con la nueva configuración ha disminuido drásticamente el desplazamiento horizontal.



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

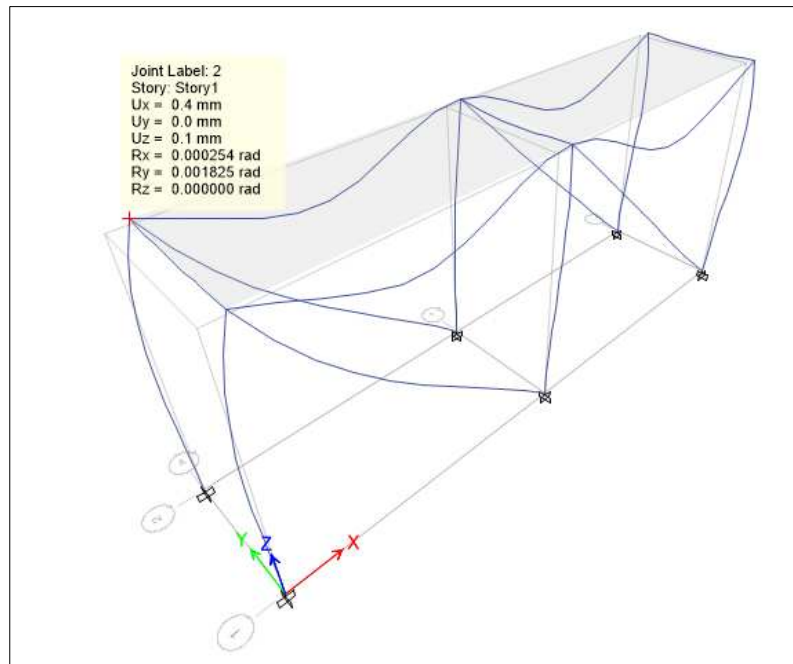


Figura 66. Nuevo chequeo de derivas (soporte del dado)

Object ID	Tower and Story	Label	Unique Name
Story1		2	2

Point Displacement and Drift	X	Y	Z
Translation, mm	0.4	0.0	0.1
Rotation, rad	0.000254	0.001825	0.000000
Drift	0.000324	0.000000	

Figura 67. Deriva calculada por Etabs (soporte del dado)

$$\Delta_M = 0.75 \times 8 \times 0.000324 = 0.00019 > 0.02 \quad \text{Ok}$$



2.3.3.2. Revisión de deflexiones

Se observa que las deflexiones son mínimas, teniendo una deflexión máxima de 0.057 cm en el elemento mostrado en la Figura 68.

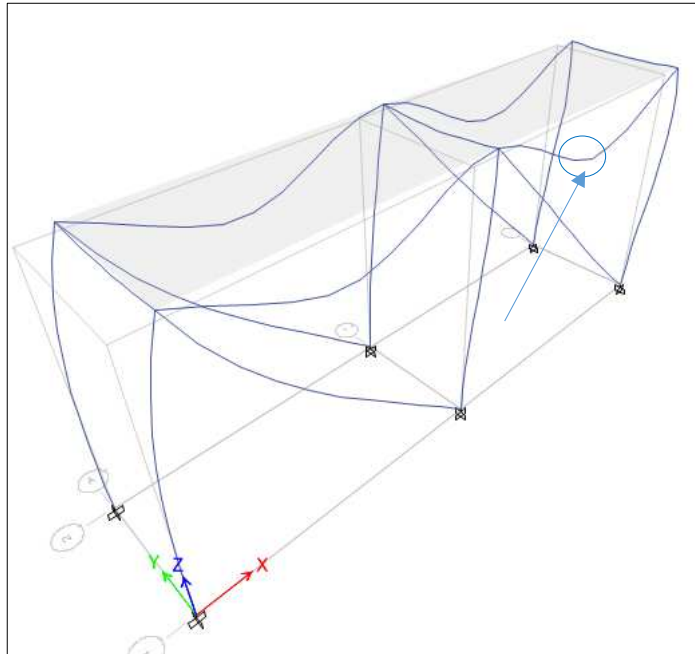


Figura 68. Revisión de deflexiones (soporte del dado)

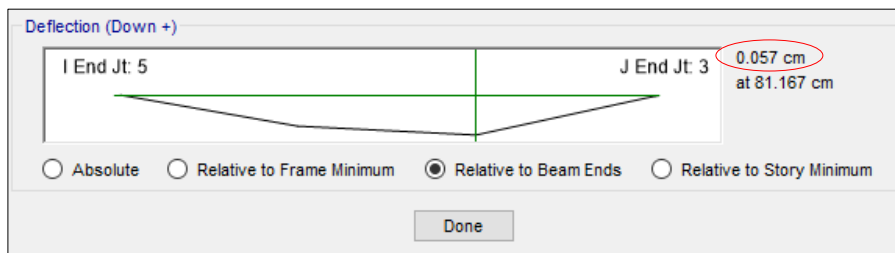


Figura 69. Deflexión máxima (soporte del dado)

De acuerdo a la tabla 5:

- Límite permisible

$$\frac{L}{180} = \frac{122.5}{180} = 0.68 > 0.057 \text{ cm} \quad \text{Ok}$$



2.3.4. Soporte para el sistema de halado

Se tiene el soporte para el sistema de halado modelado en Etabs con las secciones propuestas por el pre dimensionamiento. Se han asignado las restricciones en los apoyos (empotramiento), las cargas correspondientes sobre el elemento, y se han definido las combinaciones de cargas.

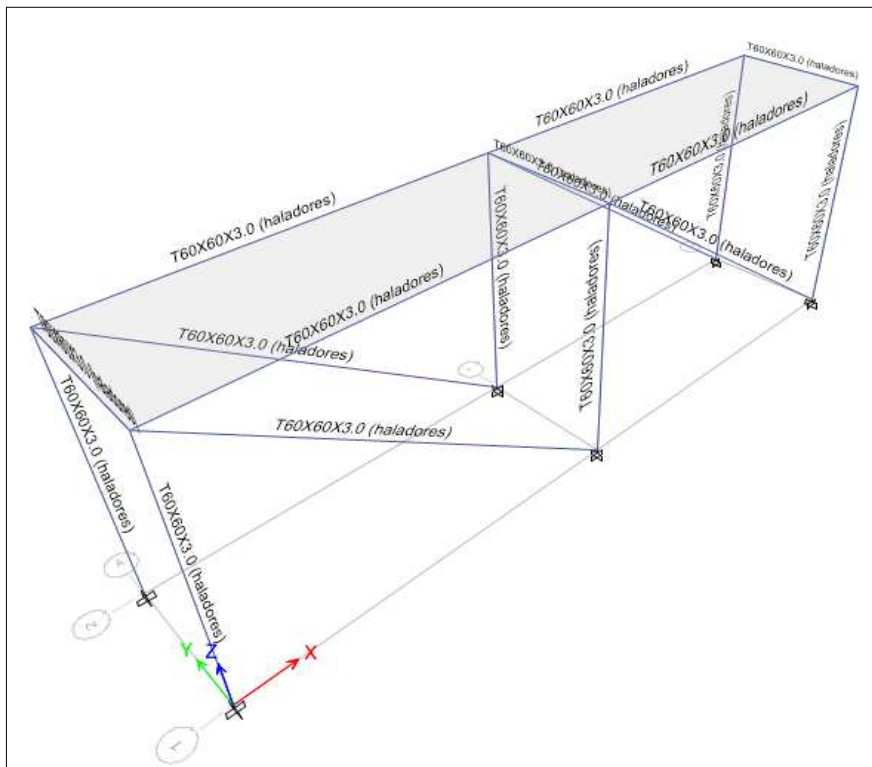


Figura 70. Asignación de secciones (soporte de haladores)

El sistema de halado produce una fuerza de tracción de 3.5 Ton, La carga horizontal correspondiente para el sistema de halado es de 875 kg, es decir 437.5 kg en cada nodo, ya que los haladores se asientan sobre las vigas longitudinales, y la carga vertical repartida es de 148.42 kg/m, correspondiente al peso del dado, como se muestra en la Figura 71 y 72 respectivamente.

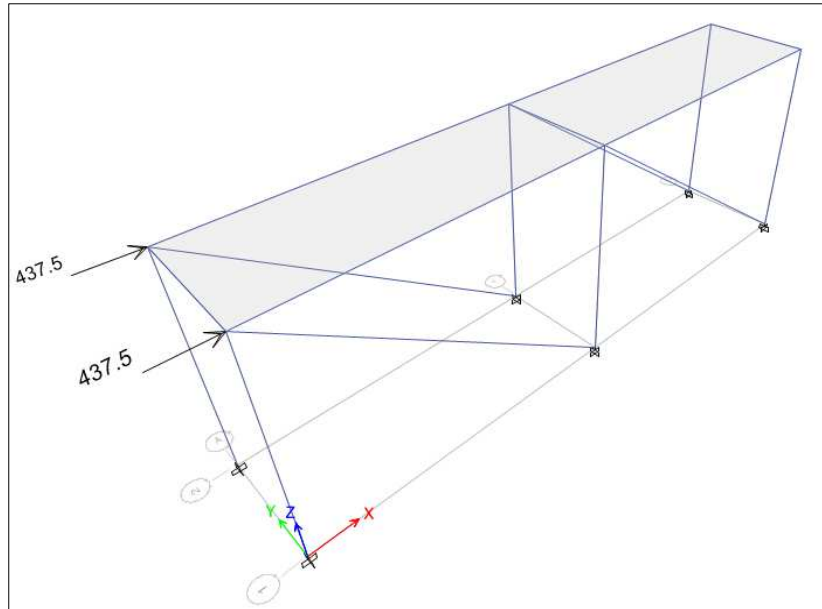


Figura 71. Asignación de cargas horizontales (C.v.) (soporte de haladores)

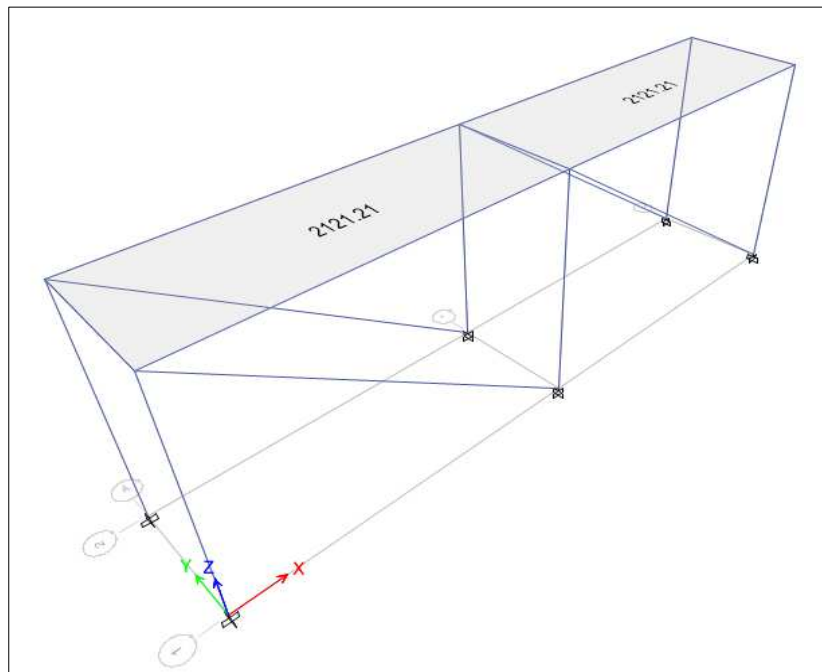


Figura 72. Asignación de cargas verticales (C.v.) (soporte de haladores)



2.3.4.1. Evaluación de derivas

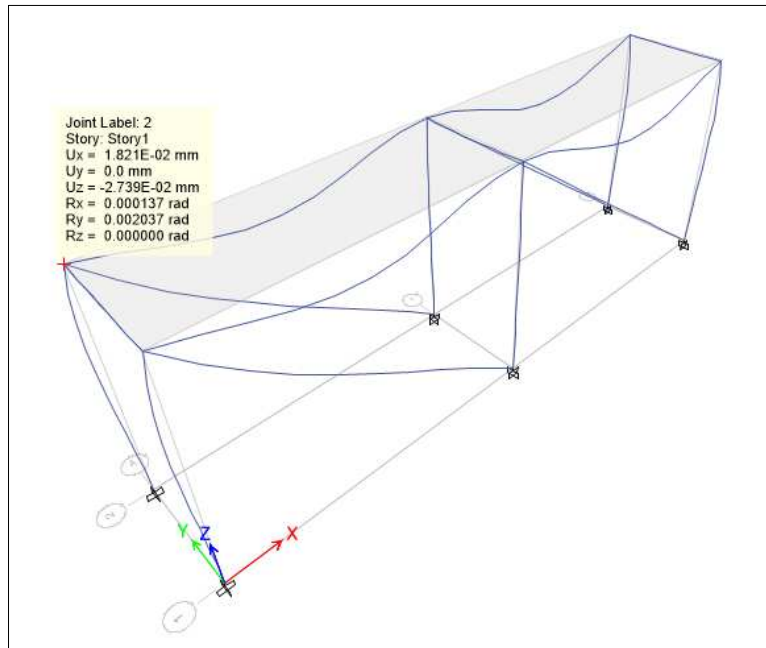


Figura 73. Chequeo de derivas (soporte de haladores)

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción el cálculo de la deriva máxima viene dada por:

$$\Delta_M = 0.75 \times R \times \Delta_E$$

Point Displacements			
Object ID	Tower and Story	Label	Unique Name
	Story1	2	6
Point Displacement and Drift			
	X	Y	Z
Translation, mm	1.821E-02	0.0	-2.739E-02
Rotation, rad	0.000137	0.002037	0.000000
Drift	0.000017	0.000000	

Figura 74. Deriva calculada por Etabs (soporte de haladores)

$$\Delta_M = 0.75 \times 8 \times 0.000017 = 0.0001 > 0.02 \quad \text{Ok}$$



2.3.4.2. Revisión de deflexiones

Se observa una deflexión máxima de 0.09 cm en el elemento mostrado en la Figura 75.

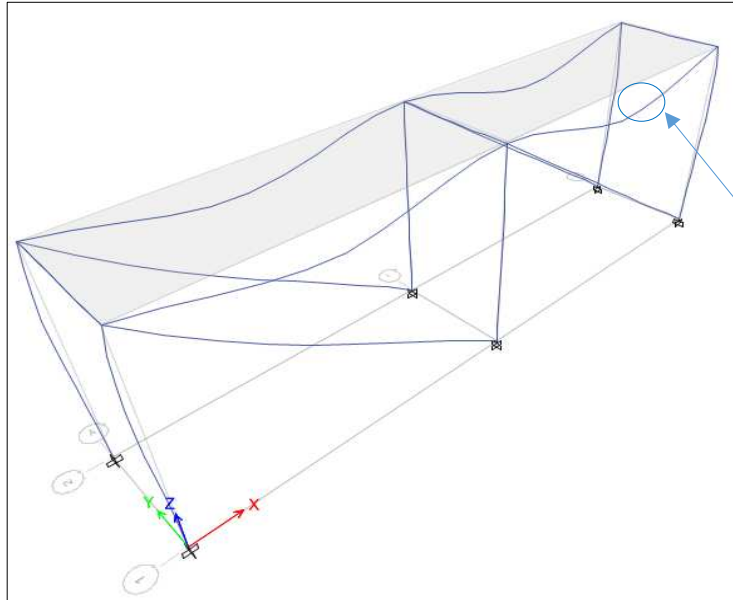


Figura 75. Revisión de deflexiones (soporte de haladores)

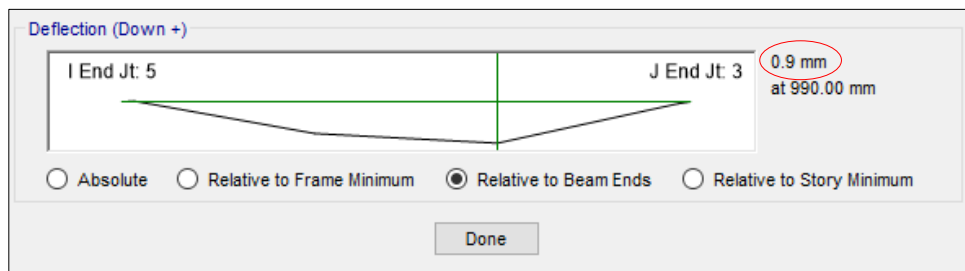


Figura 76. Deflexión máxima (soporte de haladores)

De acuerdo a la tabla 5:

- Límite permisible

$$\frac{L}{180} = \frac{150}{180} = 0.83 > 0.09 \text{ cm} \quad \text{Ok}$$



2.3.5. Soporte para la sierra

Se tiene el soporte para la sierra modelado en Etabs con las secciones propuestas por el pre dimensionamiento. Se han asignado las restricciones en los apoyos (empotramiento), las cargas correspondientes sobre el elemento, y se han definido las combinaciones de cargas respectivas.

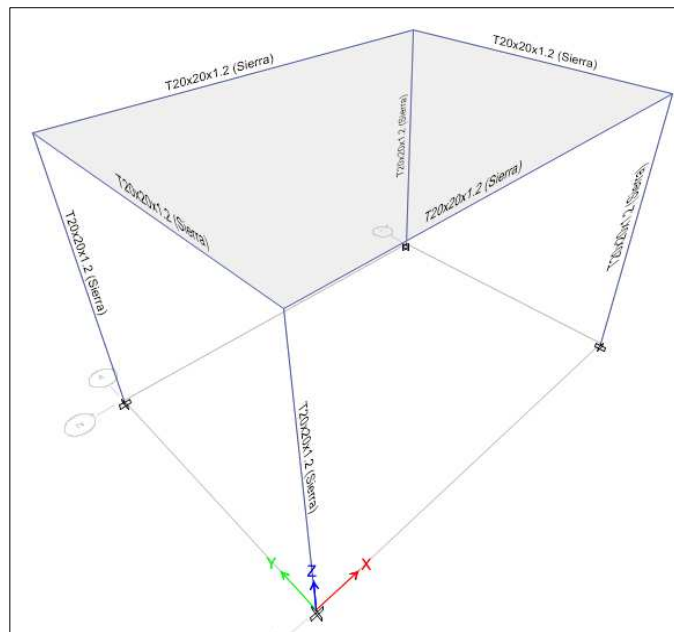


Figura 77. Asignación de secciones (soporte de la sierra)

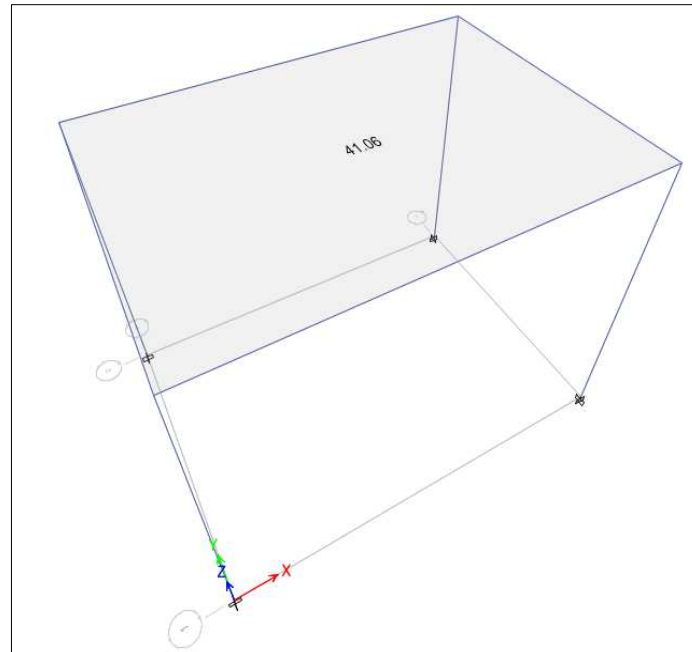


Figura 78. Asignación de cargas (C.v.) (soporte de la sierra)

2.3.5.1. Evaluación de derivas

Este elemento no soportará fuerzas horizontales por lo tanto los desplazamientos horizontales son despreciables.

2.3.5.2. Revisión de deflexiones.

Se tiene una deflexión máxima de 0.56 cm en las vigas del soporte.

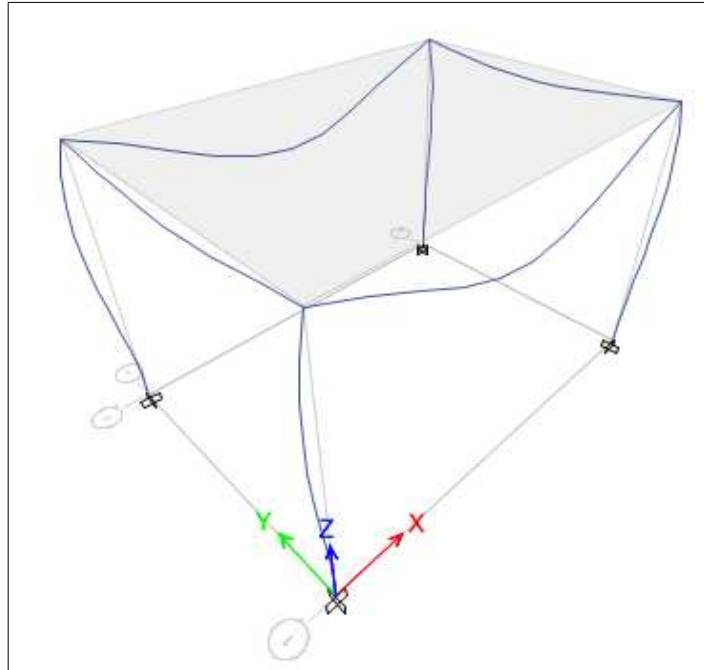


Figura 79. Revisión de deflexiones (soporte de la sierra)

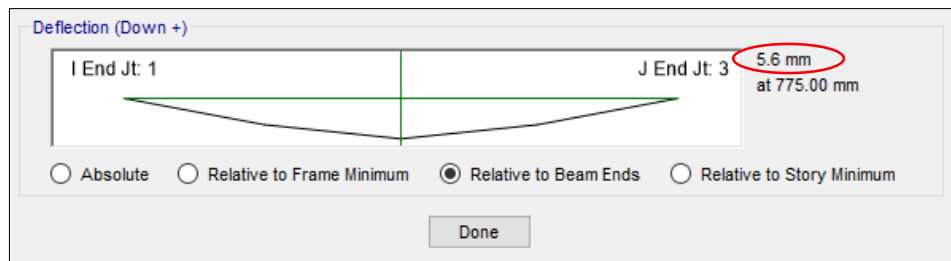


Figura 80. Deflexión máxima (soporte de la sierra)

De acuerdo a la tabla 5:

Límite permisible

$$\frac{L}{180} = \frac{155}{180} = 0.86 > 0.56 \text{ cm} \quad \text{Ok}$$



CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE ACERO PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE LA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN

En este capítulo se realizará el diseño de los elementos de acero, las conexiones y la cimentación de la máquina, y se presentará un presupuesto para la implantación y cimentación de la misma.

Para el diseño de los elementos principales se realizará el modelado y cálculo estructural en Etabs, donde la principal característica a chequear es el radio de demanda capacidad que es un indicador de las condiciones de esfuerzo del elemento con respecto a su capacidad y debe ser menor a 0.90, de lo contrario existen la posibilidad de que el elemento no sea capaz de resistir las solicitaciones a las que será sometido²³.

3.1. Diseño de los elementos

Para el diseño de los elementos de cada parte de la máquina se seguirá la siguiente secuencia:

- Elección del código de diseño: AISC 360-10.
- Asignación de combinaciones de carga para el diseño definidas por el usuario.
- Diseño en Etabs.
- Chequeo del radio de demanda capacidad de cada elemento.

²³ Steel Frame Design Manual Etabs, AISC 360-05 / IBC 2006, Section 2.3, Demand/Capacity Ratios.



3.1.1. Estantería



Figura 81. Comprobación del D/C ratio (estantería)

Se comprueba que la estantería se encuentra dentro de los rangos adecuados. La franja de colores indica que no se ha sobrepasado el radio de demanda capacidad al no aparecer ningún elemento en color rojo, se puede verificar esto al observar cada elemento por separado y ver que el radio no sobrepasa de 0.90 que es lo permitido.

A continuación, se presenta un cuadro de resumen del diseño en Etabs, para el elemento más cargado, representado con color amarillo en la Figura 81.

Tabla 8. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Estantería)

ETABS 2013 Steel Frame Design AISC 360-10 Steel Section Check (Strength Summary)

Element Details



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Level	Element	Location (mm)	Combo	Element Type	Section	Classification
Story1	B12	1180	Comb2	Special Moment Frame	T40X40X3.0	Compact

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (mm)	LLRF	Stress Ratio Limit
1200.0	1	0.95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$	τ_b	EA factor	EI factor
0	0	1	0.8	0.8

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_v	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1	1

Section Properties

A (mm ²)	J (mm ⁴)	I ₃₃ (mm ⁴)	I ₂₂ (mm ⁴)	A _{v3} (mm ²)	A _{v2} (mm ²)
444	151959	101972	101972	186	186

Design Properties

S ₃₃ (mm ³)	S ₂₂ (mm ³)	Z ₃₃ (mm ³)	Z ₂₂ (mm ³)	r ₃₃ (mm)	r ₂₂ (mm)	C _w (mm ⁶)
5098.6	5098.6	6174	6174	15.2	15.2	

Material Properties

E (kgf/mm ²)	f _y (kgf/mm ²)	R _y	α
20389.02	32.34	1.3	NA

HSS Section Parameters

HSS Welding	Reduce HSS Thickness?
ERW	No

Stress Check forces and Moments

Location (mm)	P _u (kgf)	M _{u33} (kgf-mm)	M _{u22} (kgf-mm)	V _{u2} (kgf)	V _{u3} (kgf)	T _u (kgf-mm)
1180	0	-34088.19	0	90.79	0	0

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1-1b)



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	0.967	1	1	1	1	1
Minor Bending	0.967	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L _{ltb}	K _{ltb}	C _b
0.967	1	2.344

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn.(H1-1b)

D/C Ratio =	$(P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$
0.19 =	0 + 0.19 + 0

Axial Force and Capacities

P _u Force (kgf)	φP _{nc} Capacity (kgf)	φP _{nt} Capacity (kgf)
0	8714.02	12923.54

Moments and Capacities

	M _u Moment (kgf-mm)	φM _n Capacity (kgf-mm)	φM _n No L _{TBD} (kgf-mm)
Major Bending	34088.19	179707.13	179707.13
Minor Bending	0	179707.13	

Torsion Moment and Capacities

T _u Moment (kgf-mm)	T _n Capacity (kgf-mm)	φT _n Capacity (kgf-mm)
Major Bending	34088.19	179707.13
0	157366.54	141629.89

Shear Design

	V _u Force (kgf)	φV _n Capacity (kgf)
Major Shear	90.79	3248.35
Minor Shear	0	3248.35

End Reaction Major Shear Forces

Left End Reaction (kgf)	Load Combo	Right End Reaction (kgf)	Load Combo
21.67	Comb2	90.79	Comb2

En este cuadro de resumen se observa el radio de demanda capacidad del elemento, las reacciones, momentos, cortantes, fuerzas axiales, propiedades geométricas, parámetros de sección, factores de diseño propiedades del material utilizado, y detalles generales, que son mucha de utilidad para la memoria de cálculo.



3.1.2. Dispensador

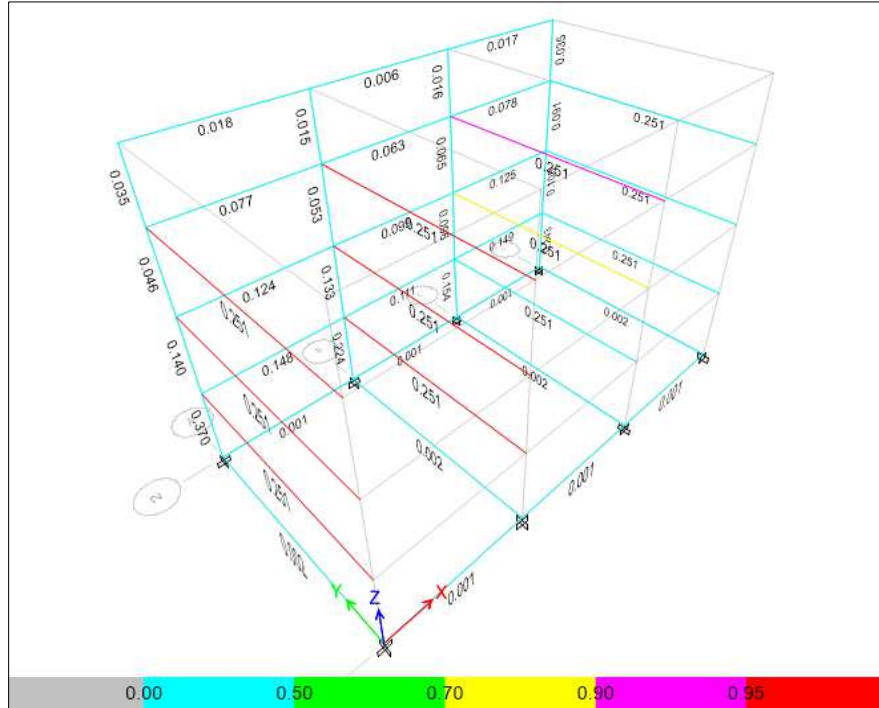


Figura 82. Comprobación del D/C ratio (dispensador)

Se observa que las vigas se muestran en color rojo a pesar de que el radio de demanda/capacidad es menor a 1. La causa es que las deflexiones son excesivas, comprobándose en las tablas proporcionadas por Etabs,



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

COMBO ID	STATION LOC	DEFLECTION RATIO
Comb1	0.00	0.223
Comb1	325.00	0.162
Comb1	650.00	0.103
Comb1	650.00	0.103
Comb1	956.25	0.051
Comb1	1262.50	0.095
Comb2	0.00	2.117
Comb2	325.00	1.560
Comb2	650.00	1.011
Comb2	650.00	1.011
Comb2	956.25	0.512
Comb2	1262.50	0.053

Figura 83. Chequeo de deflexiones (dispensador)

Por lo que se deberá aumentar la sección de un tubo cuadrado de 75 x 75 x 4 mm a un tubo cuadrado de 100 x 100 x 5 mm.

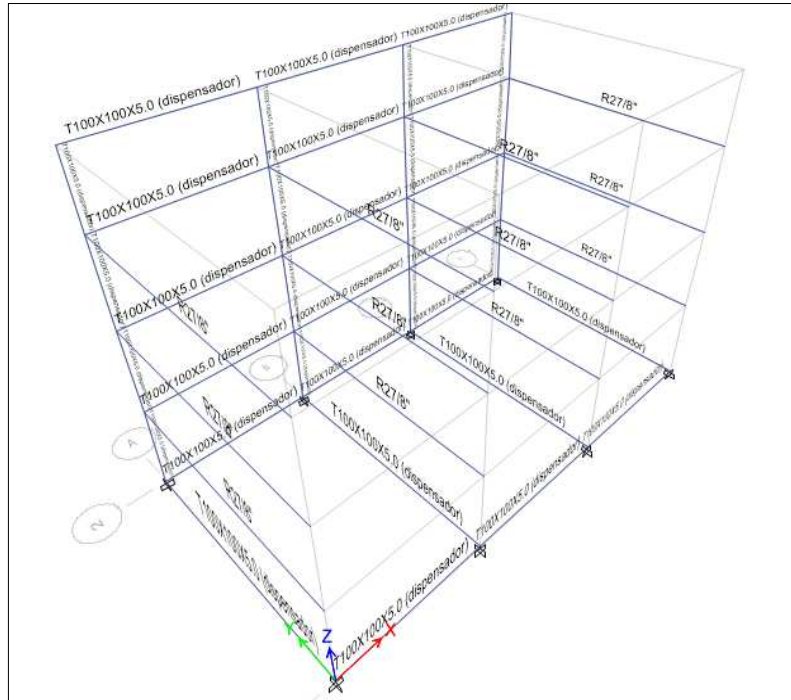


Figura 84. Asignación de nuevas secciones (dispensador)

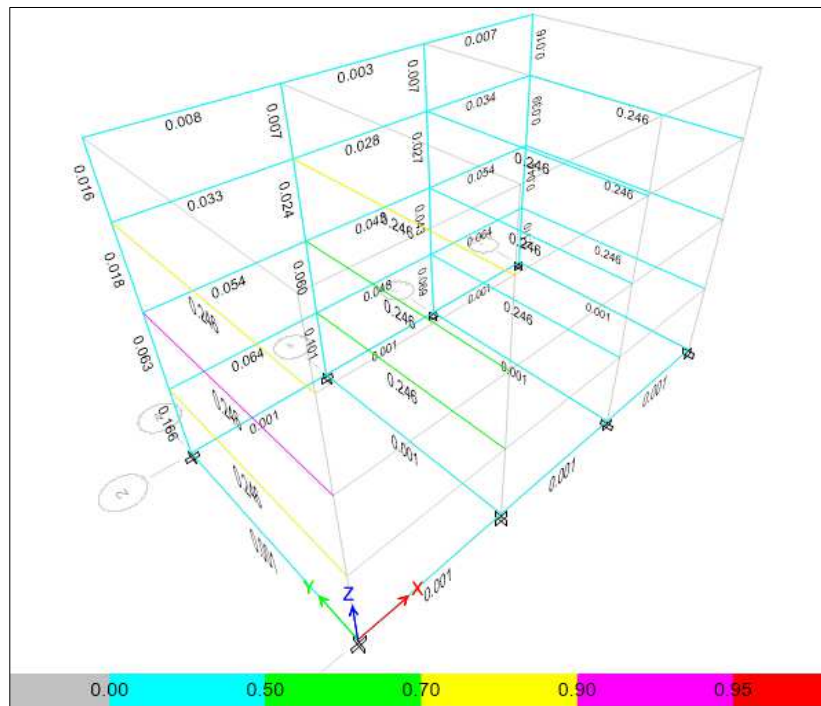


Figura 85. Nueva comprobación del D/C ratio (dispensador)

Se comprueba que el dispensador se encuentra dentro de los rangos adecuados. A continuación, se presenta un cuadro de resumen del diseño en Etabs, para el elemento más cargado representado con color morado en la Figura 85.

Tabla 9. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Dispensador)

ETABS 2013 Steel Frame Design

AISC 360-10 Steel Section Check (Strength Summary)

Element Details

Level	Element	Location (mm)	Combo	Element Type	Section	Classification
Story2	B4	1250	Comb2	Special Moment Frame	R27/8"	Compact

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (mm)	LLRF	Stress Ratio Limit
1300.0	1	0.95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$	τ_b	EA factor	EI factor
0	0	1	0.8	0.8

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_V	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1	1

Section Properties

A (mm ²)	J (mm ⁴)	I ₃₃ (mm ⁴)	I ₂₂ (mm ⁴)	A _{v3} (mm ²)	A _{v2} (mm ²)
446.3	563245.6	281622.8	281622.8	223.1	223.1

Design Properties

S ₃₃ (mm ³)	S ₂₂ (mm ³)	Z ₃₃ (mm ³)	Z ₂₂ (mm ³)	r ₃₃ (mm)	r ₂₂ (mm)	C _w (mm ⁶)
7713.1	7713.1	10091.8	10091.8	25.1	25.1	

Material Properties

E (kgf/mm ²)	f _y (kgf/mm ²)	R _y	α
20389.02	32.34	1.4	NA

HSS Section Parameters

HSS Welding	Reduce HSS Thickness?
ERW	No

Stress Check forces and Moments

Location (mm)	P _u (kgf)	M _{u33} (kgf-mm)	M _{u22} (kgf-mm)	V _{u2} (kgf)	V _{u3} (kgf)	T _u (kgf-mm)
1250	0	-17708.82	70003.2	28.33	-116.67	0

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1-1b)

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	0.962	1	1	1	1	1
Minor Bending	0.962	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L _{ltb}	K _{ltb}	C _b
0.962	1	2.311

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn.(H1-1b)

D/C Ratio =	$(P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$
-------------	--



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

D/C Ratio =	$(P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$
0.246 =	0 + 0.06 + 0.238

Axial Force and Capacities

P_u Force (kgf)	ϕP_{nc} Capacity (kgf)	ϕP_{nt} Capacity (kgf)
0	10996.56	12989.42

Moments and Capacities

	M_u Moment (kgf-mm)	ϕM_n Capacity (kgf-mm)	ϕM_n No L_{TBD} (kgf-mm)
Major Bending	17708.82	293741.92	293741.92
Minor Bending	70003.2	293741.92	

Torsion Moment and Capacities

T_u Moment (kgf-mm)	T_n Capacity (kgf-mm)	ϕT_n Capacity (kgf-mm)
Major Bending	17708.82	293741.92
0	1427693.51	1284924.16

Shear Design

	V_u Force (kgf)	ϕV_n Capacity (kgf)
Major Shear	28.33	3896.83
Minor Shear	116.67	3896.83

End Reaction Major Shear Forces

Left End Reaction (kgf)	Load Combo	Right End Reaction (kgf)	Load Combo
		28.33	Comb2



3.1.3. Soporte para el dado

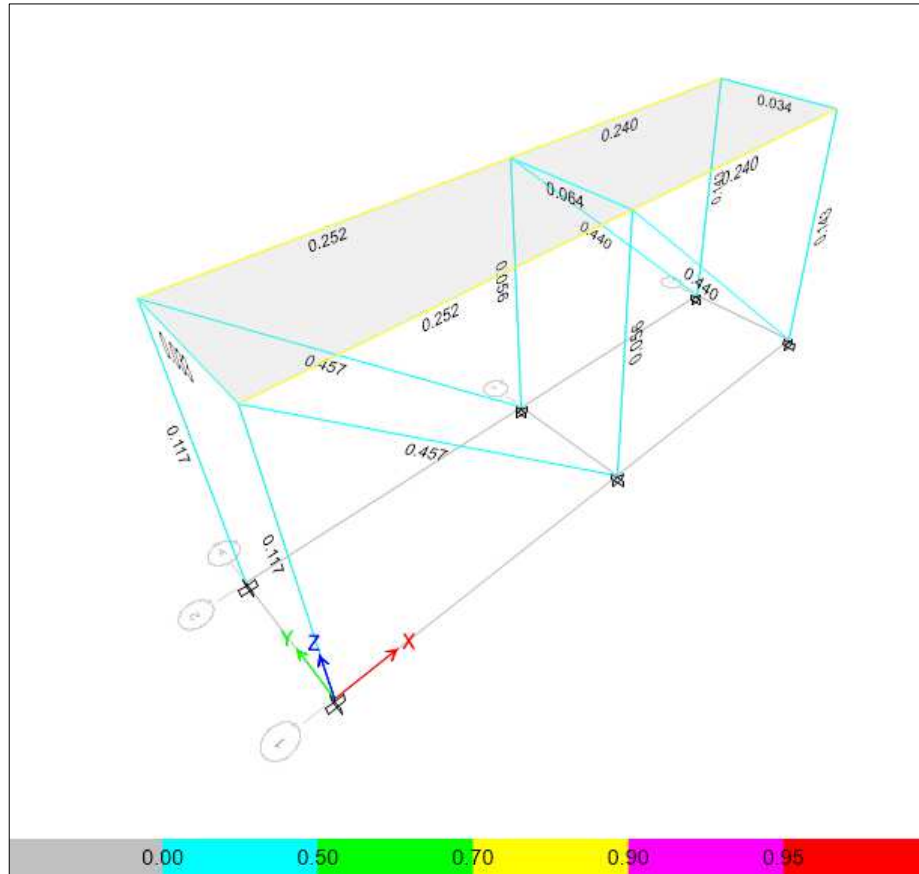


Figura 86. Comprobación del D/C ratio (soporte del dado)

Se comprueba que el soporte para el dado se encuentra dentro de los rangos adecuados. La franja de colores indica que no se ha sobrepasado el radio de demanda capacidad al no aparecer ningún elemento en color rojo, se puede verificar esto al observar cada elemento por separado y ver que el radio no sobrepasa de 0.90 que es lo permitido.

A continuación, se presenta un cuadro de resumen del diseño en Etabs, para el elemento más cargado, representado con color amarillo en la Figura 86.



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Tabla 10. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Soporte para el dado)

ETABS 2013 Steel Frame Design

AISC 360-10 Steel Section Check (Strength Summary)

Element Details

Level	Element	Location (mm)	Combo	Element Type	Section	Classification
Story1	B8	1210	Comb2	Special Moment Frame	T30X30X1.2	Compact

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (mm)	LLRF	Stress Ratio Limit
1225.0	1	0.95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$	τ_b	EA factor	EI factor
0	0	1	0.8	0.8

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_V	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1	1

Section Properties

A (mm ²)	J (mm ⁴)	I ₃₃ (mm ⁴)	I ₂₂ (mm ⁴)	A _{v3} (mm ²)	A _{v2} (mm ²)
138.2	28665.4	19143.5	19143.5	63.4	63.4

Design Properties

S ₃₃ (mm ³)	S ₂₂ (mm ³)	Z ₃₃ (mm ³)	Z ₂₂ (mm ³)	r ₃₃ (mm)	r ₂₂ (mm)	C _w (mm ⁶)
1276.2	1276.2	1493.9	1493.9	11.8	11.8	

Material Properties

E (kgf/mm ²)	f _y (kgf/mm ²)	R _y	α
20389.02	32.34	1.3	NA

HSS Section Parameters

HSS Welding	Reduce HSS Thickness?
ERW	No



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Stress Check forces and Moments

Location (mm)	P _u (kgf)	M _{u33} (kgf-mm)	M _{u22} (kgf-mm)	V _{u2} (kgf)	V _{u3} (kgf)	T _u (kgf-mm)
1210	0	-10974.25	0	44.18	0	-73.26

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1-1b)

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	0.976	1	1	1	1	1
Minor Bending	0.976	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L _{ltb}	K _{ltb}	C _b
0.976	1	2.574

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn.(H1-1b)

D/C Ratio =	(P _r / 2P _c) + (M _{r33} / M _{c33}) + (M _{r22} / M _{c22})
0.252 =	0 + 0.252 + 0

Axial Force and Capacities

P _u Force (kgf)	φP _{nc} Capacity (kgf)	φP _{nt} Capacity (kgf)
0	2010.82	4023.76

Moments and Capacities

	M _u Moment (kgf-mm)	φM _n Capacity (kgf-mm)	φM _n No L _{TBD} (kgf-mm)
Major Bending	10974.25	43481.79	43481.79
Minor Bending	0	43481.79	

Torsion Moment and Capacities

T _u Moment (kgf-mm)	T _n Capacity (kgf-mm)	φT _n Capacity (kgf-mm)
Major Bending	10974.25	43481.79
-73.26	38498.6	34648.74

Shear Design

	V _u Force (kgf)	φV _n Capacity (kgf)
Major Shear	44.18	1106.53
Minor Shear	0	1106.53

End Reaction Major Shear Forces

Left End Reaction (kgf)	Load Combo	Right End Reaction (kgf)	Load Combo
34.11	Comb2	44.18	Comb2



3.1.4. Soporte para el sistema de halado

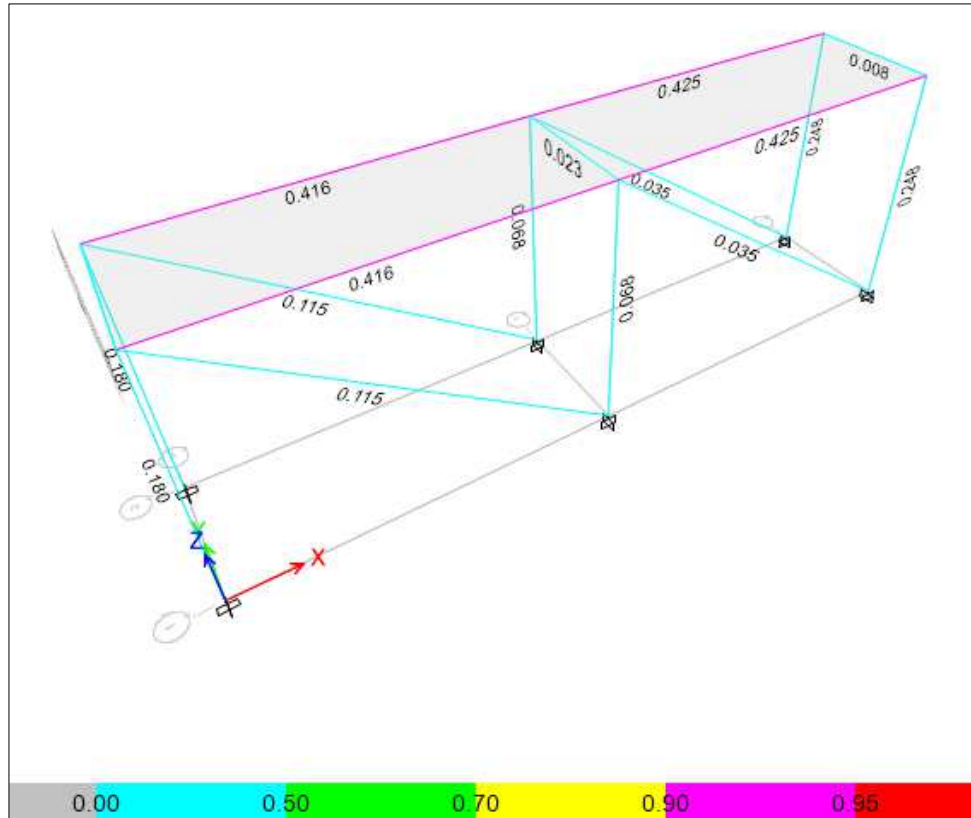


Figura 87. Comprobación del D/C ratio (soporte de haladores)

Se comprueba que el soporte para el sistema de halado se encuentra dentro de los rangos adecuados. La franja de colores indica que no se ha sobrepasado el radio de demanda capacidad al no aparecer ningún elemento en color rojo, se puede verificar esto al observar cada elemento por separado y ver que el radio no sobrepasa de 0.90 que es lo permitido.

A continuación, se presenta un cuadro de resumen del diseño en Etabs, para el elemento más cargado, representado con color morado en la Figura 87.

Tabla 11. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Soporte para el sistema de halado)

ETABS 2013 Steel Frame Design AISC 360-10 Steel Section Check (Strength Summary)



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Element Details

Level	Element	Location (mm)	Combo	Element Type	Section	Classification
Story1	B7	30	Comb2	Special Moment Frame	T60X60X3.0 (haladores)	Compact

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (mm)	LLRF	Stress Ratio Limit
1500.0	1	0.95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

α_{Pr} / P_y	α_{Pr} / P_e	τ_b	EA factor	EI factor
0	0	1	0.8	0.8

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_v	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1	1

Section Properties

A (mm ²)	J (mm ⁴)	I ₃₃ (mm ⁴)	I ₂₂ (mm ⁴)	A _{v3} (mm ²)	A _{v2} (mm ²)
684	555579	371412	371412	306	306

Design Properties

S ₃₃ (mm ³)	S ₂₂ (mm ³)	Z ₃₃ (mm ³)	Z ₂₂ (mm ³)	r ₃₃ (mm)	r ₂₂ (mm)	C _w (mm ⁶)
12380.4	12380.4	14634	14634	23.3	23.3	

Material Properties

E (kgf/mm ²)	f _y (kgf/mm ²)	R _y	A
20389.02	32.34	1.3	NA

HSS Section Parameters

HSS Welding	Reduce HSS Thickness?
ERW	No

Stress Check forces and Moments

Location (mm)	P _u (kgf)	M _{u33} (kgf-mm)	M _{u22} (kgf-mm)	V _{u2} (kgf)	V _{u3} (kgf)	T _u (kgf-mm)
30	0	-180884.76	0	-652.35	0	615.18



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1-1b)

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	0.96	1	1	1	1	1
Minor Bending	0.96	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L _{ltb}	K _{ltb}	C _b
0.96	1	2.425

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn.(H1-1b)

D/C Ratio =	$(P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$
0.425 =	0 + 0.425 + 0

Axial Force and Capacities

P _u Force (kgf)	φP _{nc} Capacity (kgf)	φP _{nt} Capacity (kgf)
0	15399	19909.24

Moments and Capacities

	M _u Moment (kgf-mm)	φM _n Capacity (kgf-mm)	φM _n No L _{TBD} (kgf-mm)
Major Bending	180884.76	425953.05	425953.05
Minor Bending	0	425953.05	

Torsion Moment and Capacities

T _u Moment (kgf-mm)	T _n Capacity (kgf-mm)	φT _n Capacity (kgf-mm)
Major Bending	180884.76	425953.05
615.18	376251.8	338626.62

Shear Design

	V _u Force (kgf)	φV _n Capacity (kgf)
Major Shear	652.35	5344.06
Minor Shear	0	5344.06

End Reaction Major Shear Forces

Left End Reaction (kgf)	Load Combo	Right End Reaction (kgf)	Load Combo
652.35	Comb2	516.19	Comb2



3.1.5. Soporte para la sierra

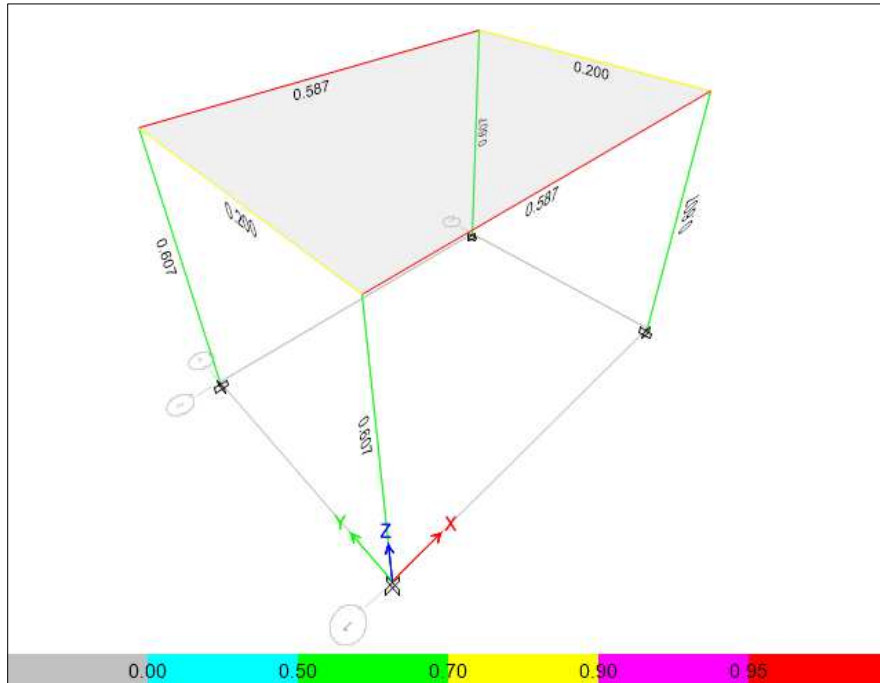


Figura 88. Comprobación del D/C ratio (soporte de la sierra)

Se observa que las vigas longitudinales se muestran en color rojo a pesar de que el radio de demanda capacidad es menor a 1, verificando las tablas, observamos que esto es debido a las deflexiones.

Steel Stress Check Information (AISC 360-10)

Story: Story1
Beam: B3
Analysis Section: T20X20X1.2 (sierra)
Design Section: T20X20X1.2 (sierra)

COMBO ID	STATION LOC	DEFLECTION RATIO
Comb1	10.00	0.000
Comb1	392.50	0.767
Comb1	775.00	1.191
Comb1	1157.50	0.767
Comb1	1540.00	0.000
Comb2	10.00	0.000
Comb2	392.50	2.256
Comb2	775.00	3.190
Comb2	1157.50	2.256
Comb2	1540.00	0.000

Overwrites Details Envelope

Strength
 Deflection

OK Cancel

Figura 89. Chequeo de deflexiones (soporte de la sierra)



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Por lo que se aumentara la sección de un tubo cuadrado de 20 x 20 x 1.2 mm a un tubo cuadrado de 30 x 30 x 1.2 mm.

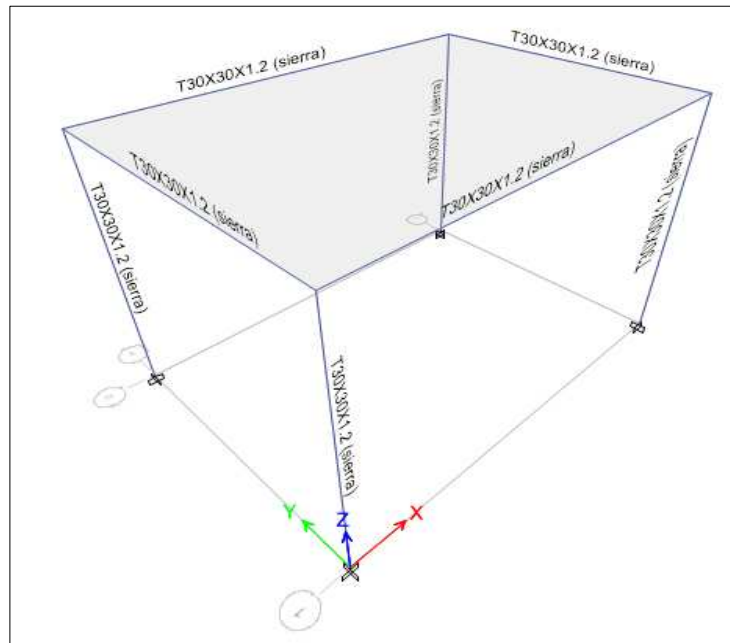


Figura 90. Asignación de nuevas secciones (soporte de la sierra)

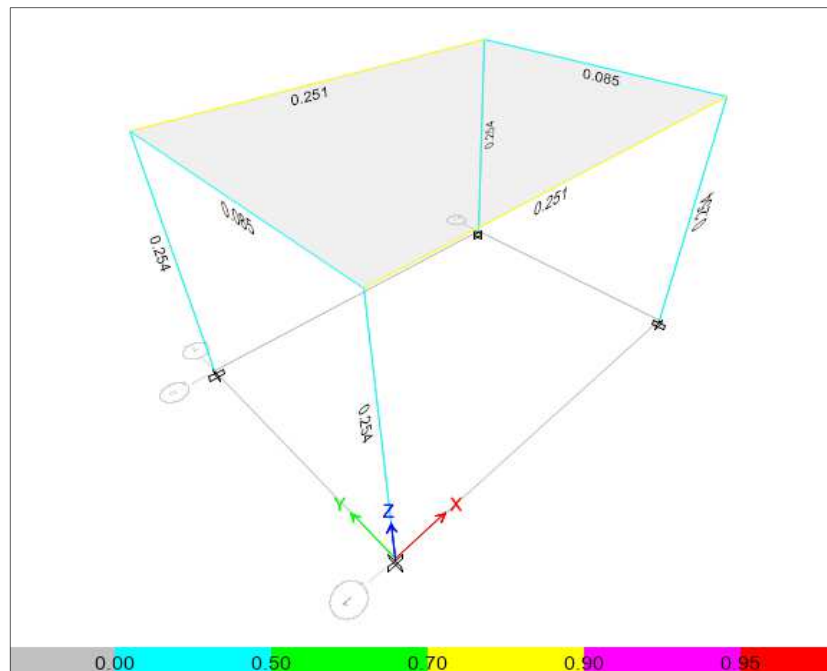


Figura 91. Nueva comprobación del D/C ratio (soporte de la sierra)



Se comprueba que el soporte para el sistema de halado se encuentra dentro de los rangos adecuados. La franja de colores indica que no se ha sobrepasado el radio de demanda capacidad al no aparecer ningún elemento en color rojo, se puede verificar esto al observar cada elemento por separado y ver que el radio no sobrepasa de 0.90 que es lo permitido.

A continuación, se presenta un cuadro de resumen del diseño en Etabs, para el elemento más cargado, representado con color morado en la Figura 91.

Tabla 12. Cuadro resumen de diseño del elemento más cargado (Soporte para la sierra)

ETABS 2013 Steel Frame Design

AISC 360-10 Steel Section Check (Strength Summary)

Element Details

Level	Element	Location (mm)	Combo	Element Type	Section	Classification
Story1	B3	775	Comb2	Special Moment Frame	T30X30X1.2	Compact

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (mm)	LLRF	Stress Ratio Limit
1550.0	1	0.95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$	τ_b	EA factor	EI factor
0	0	1	0.8	0.8

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_v	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1	1

Section Properties

A (mm ²)	J (mm ⁴)	I ₃₃ (mm ⁴)	I ₂₂ (mm ⁴)	A _{v3} (mm ²)	A _{v2} (mm ²)
138.2	28665.4	19143.5	19143.5	63.4	63.4

Design Properties



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

S₃₃ (mm³)	S₂₂ (mm³)	Z₃₃ (mm³)	Z₂₂ (mm³)	r₃₃ (mm)	r₂₂ (mm)	C_w (mm⁶)
1276.2	1276.2	1493.9	1493.9	11.8	11.8	

Material Properties

E (kgf/mm²)	f_y (kgf/mm²)	R_y	A
20389.02	32.34	1.3	NA

HSS Section Parameters

HSS Welding	Reduce HSS Thickness?
ERW	No

Stress Check forces and Moments

Location (mm)	P_u (kgf)	M_{u33} (kgf-mm)	M_{u22} (kgf-mm)	V_{u2} (kgf)	V_{u3} (kgf)	T_u (kgf-mm)
775	0	10897.36	0	0	0	0

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1-1b)

	L Factor	K₁	K₂	B₁	B₂	C_m
Major Bending	0.981	1	1	1	1	1
Minor Bending	0.981	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L_{ltb}	K_{ltb}	C_b
0.981	1	1.229

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn.(H1-1b)

D/C Ratio =	(P_r /2P_c) + (M_{r33} /M_{c33}) + (M_{r22} /M_{c22})
0.251 =	0 + 0.251 + 0

Axial Force and Capacities

P_u Force (kgf)	φP_{nc} Capacity (kgf)	φP_{nt} Capacity (kgf)
0	1316.05	4023.76

Moments and Capacities

	M_u Moment (kgf-mm)	φM_n Capacity (kgf-mm)	φM_n No L_{TBD} (kgf-mm)
Major Bending	10897.36	43481.79	43481.79
Minor Bending	0	43481.79	

Torsion Moment and Capacities

T_u Moment (kgf-mm)	T_n Capacity (kgf-mm)	φT_n Capacity (kgf-mm)
Major Bending	10897.36	43481.79
0	38498.6	34648.74



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

Shear Design

	V_u Force (kgf)	ϕV_n Capacity (kgf)
Major Shear	0	1106.53
Minor Shear	0	1106.53

End Reaction Major Shear Forces

Left End Reaction (kgf)	Load Combo	Right End Reaction (kgf)	Load Combo
34.58	Comb2	34.58	Comb2



3.1.6. Dimensiones y secciones finales

Se presenta un cuadro de resumen con las dimensiones y secciones de diseño finales de los cada uno de los elementos que componen la máquina:

Tabla 13. Dimensiones y secciones de la maquina

	COLUMNAS				VIGAS					
	BASE	ALTO	ESPESOR	ALTURA	BASE	ALTO	ESPESOR	RADIO	LUZ	
	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(in)	LONGITUDINAL (m)	TRANSVERSAL (m)
ESTANTERÍA	40	40	1.5	0.45	40	40	1.5	-	1.2	0.7
DISPENSADOR	100	100	5	1.7	100	100	5	-	0.8	1.3
					-	-	2	2 7/8"	-	1.3
SOPORTE PARA EL DADO	30	30	1.2	1.1	30	30	1.2	-	1.225	0.55
SOPORTE PARA EL SISTEMA DE HALADO	60	60	3	1.1	60	60	3	-	1.5	0.55
SOPORTE PARA LA SIERRA	30	30	1.2	1.1	30	30	1.2	-	1.55	1.1



3.2. Diseño de conexiones

Las conexiones de los elementos serán mediante soldadura por arco eléctrico. Se utilizará un electrodo E7018, para estructuras metálicas de alta resistencia, con las siguientes características.

Tabla 14. Propiedades químicas de Electrodo E7018²⁴

Chemical Composition	
Si	- 0.6%
Fe	- Rem%
Mn	- 1%
P	- 0.021%
C	- 0.08%
S	- 0.011%

El tipo de unión será de esquina, con filete interno o externo único como se muestra en la figura 51.

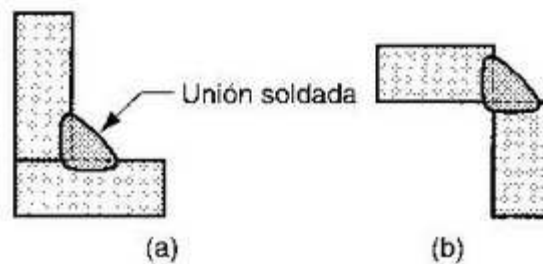


Figura 92. Tipo de conexión²⁵

Debido a que los elementos de la máquina no están sometidos a cargas excesivas, se tomará el más cargado, y se utilizará ese tipo de soldadura en el resto de elementos.

El soporte para el sistema de halado es el elemento más cargado, con una carga viva de 3.5 Ton y con una reacción máxima en el apoyo medio de 398.02 kg.

²⁴ Fuente: Lincon Electric. Disponible en: <http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/ConsumableEU_StickElectrodes-Lincoln-Lincoln7018-1/lincoln7018-1-es.pdf>

²⁵ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<https://es.slideshare.net/nurrego/generalidades-de-soldadura-y-diseño-de-juntas>>

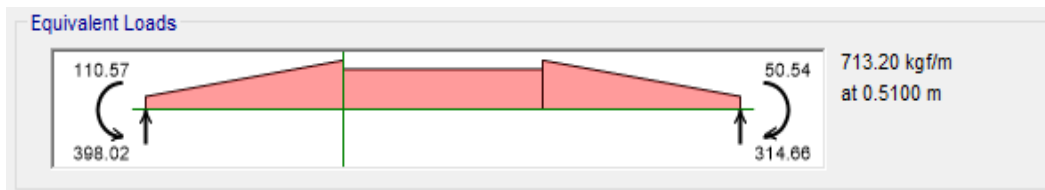


Figura 93. Reacciones y momentos en los apoyos (sistema de haladores)

Cálculo de la soldadura

De acuerdo al AISC el tamaño mínimo para la garganta de la soldadura, viene dado por el espesor de los perfiles a ser soldados

Tabla 15. Tamaño mínimo de las soldaduras de filete²⁶

Espesor del Material Más Grueso de las Partes Unidas, en Pulg. (cm)	Tamaño Mínimo de la Soldadura de Filete, en Pulg. (mm)	
Hasta 1/4" (6 mm), inclusive	1/8"	3 (mm)
Más de 1/4" (6 mm) a 1/2" (13 mm)	3/16"	5 (mm)
Más de 1/2" (13 mm) a 3/4" (19 mm)	1/4"	6 (mm)
Más de 3/4" (19 mm)	5/16"	8 (mm)

[a] La dimensión de la pierna de las soldaduras de filete. Pueden usarse soldaduras de paso simple.
[b] Ver Sección J2.2b para tamaño máximo de las soldaduras de filete.

Los perfiles tienen una sección de 60 x 60 x 3 mm, el tamaño de garganta será de 1/8" = 3 mm.

3.2.1. Área de la garganta

$$A_g = 0.707 * h * d$$

$$A_g = 0.707 * 3 \text{ mm} * 60 \text{ mm} = 127.26 \text{ mm}^2$$

Para calcular la fuerza de aporte del metal de aporte, se necesita la resistencia última para el electrodo E70xx:

²⁶ Fuente: Diseño de conexiones con AISC-LRFD 1999, Oscar Guzmán 2006, pág. 115



Tabla 16. Resistencia última de soldaduras de filete²⁷

TAMAÑO		RESISTENCIA ϕR_n (Kg/cm)		
(plg)	(mm)	E60XX	E70XX	E90XX
1/8	3	403	470	603
3/16	5	672	783	1006
1/4	6	806	940	1207
5/16	8	1075	1253	1609
3/8	9	1209	1409	1810
1/2	13	1746	2036	2615
5/8	16	2149	2506	3218

$$F = f * l$$

$$F = 470 \frac{kg}{cm} * 6 cm = 2820 kg$$

$$2820 kg > 398.02 kg \quad \text{Ok}$$

La fuerza permisible es mayor a la fuerza que soporta el elemento, por lo tanto, la resistencia del metal de aporte es satisfactoria.

- Chequeo del cortante en la unión adyacente a la soldadura

El esfuerzo cortante del metal base no debe exceder $0.40 * F_y$

$$\tau_{perm} = 0.40 * F_y = 0.40 * 3234 kg/cm^2$$

$$\tau_{perm} = 1293.6 kg/cm^2$$

- Esfuerzo cortante en el metal base adyacente a la soldadura

$$\tau = \frac{F}{2hl} = \frac{398.02 kg}{2 * 0.3 cm * 6 cm} = 110.56 kg/cm^2$$

La unión resulta satisfactoria cerca de los cordones de soldadura ya que $\tau_{perm} > \tau$

- Chequeo del esfuerzo de tensión.

El esfuerzo de tensión en la unión del cuerpo no debe exceder $0.60 * F_y$

²⁷ Fuente: Diseño de conexiones con AISC-LRFD 1999, Oscar Guzmán 2006, pág. 113



$$\sigma = \frac{F}{tl} = \frac{398.02 \text{ kg}}{0.3 \text{ cm} * 6 \text{ cm}}$$

$$\sigma = 221.12 \text{ kg/cm}^2$$

- Esfuerzo de tensión permisible

$$\sigma_{perm} = 0.6 * Fy = 0.6 * 3234 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{perm} = 1940.4 \text{ kg/cm}^2$$

La unión resulta satisfactoria: $\sigma_{perm} > \sigma$

Se ha realizado la comprobación del elemento más cargado y cumple satisfactoriamente con un área de soldadura mínima, por lo que se utilizará el mismo tipo de soldadura en los elementos restantes.

3.3. Placas de anclaje

Se diseñarán las placas de anclaje para los elementos la máquina tomando en cuenta que esta irá apoyada sobre una losa de cimentación. El hormigón tendrá una resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Debido a que las cargas son mínimas, se toma el elemento más cargado para realizar las comprobaciones. Los datos de cargas y reacciones serán tomados del diseño en Etabs.

- Soporte del sistema de halado

$$C.m. = 45.23 \text{ kg}$$

$$C.v. = 869.52 \text{ kg}$$

$$Col = 60 \times 60 \text{ mm}$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

3.3.1. Área de la placa

$$P_u = 1.2 \times 45.23 + 1.6 \times 869.52 = 1445.51 \text{ kg}$$

$$A_1 = \frac{P_u}{\phi_c * 0.85 * f'c * \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}}$$



Como las placas irán asentadas sobre una losa de cimentación, el área de hormigón de soporte será mucho mayor que el área de la placa, por lo tanto

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2$$

$$A_1 = \frac{1445.51 \text{ kg}}{0.65 * 0.85 * 240 \text{ kg/cm}^2 * 2} = 6.61 \text{ cm}^2$$

Se ha obtenido un área de placa menor al área de columna que soportará. Se utilizarán placas base estándar de 6 x 6 in con 8mm de espesor, con 4 anclajes en las esquinas, para todos los elementos de la máquina.

$$B = 6 \text{ in}$$

$$N = 6 \text{ in}$$

$$e = 8 \text{ mm}$$

3.4. Diseño de la cimentación

Al ser una máquina automatizada no deben existir asentamientos, ya que estos afectarían a la estructura y paralizarían la producción. Por tal motivo se seleccionó una losa de cimentación, sobre la que se apoyará la máquina y el sistema de alimentación. El lugar de implantación será en los exteriores de la Facultad de Mecánica Naval, perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Gracias a los datos brindados por laboratorio de ensayos de suelos y geotecnia, de la facultad de ingeniería, perteneciente a la ULEAM, se conoce que la capacidad portante del suelo en esa zona es de 20 T/m². Con este dato se procede a calcular la cimentación:

Datos

$$q_{adm} = 20 \text{ T/m}^2$$

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

- Losa de cimentación para el sistema de alimentación

$$a = 2.1 \text{ m}$$



$$l = 7.5 \text{ m}$$

$$h = 0.15 \text{ cm}$$

- Losa de cimentación para la estructura de soporte

$$a = 1.8 \text{ m}$$

$$l = 8.2 \text{ m}$$

$$h = 0.15 \text{ cm}$$

El diseño de la cimentación se realizó en el programa SAFE, y se siguió el siguiente proceso:

- Definición del tipo de cimentación (Mat)
- Definición dimensiones y tipo de suelo
- Definición de materiales
- Asignación de cargas
- Definición de combos de cargas
- Definición de franjas de diseño
- Configuración de propiedades del recubrimiento
- Análisis y diseño
- Comprobación de la eficiencia al punzonamiento
- Visualización de diagramas de momentos
- Diseño de la armadura de refuerzo en (x) e (y)

Las combinaciones de carga a utilizarse son:

$$\text{Carga Vertical} = C.m. + C.v.$$

$$\text{Carga Ultima} = 1.2 C.m. + 1.6 C.v.$$

Se han definido la geometría de las losas de cimentación y las secciones de las diferentes columnas con sus respectivas cargas y momentos, tomados de los datos proporcionados por el cálculo en Etabs.

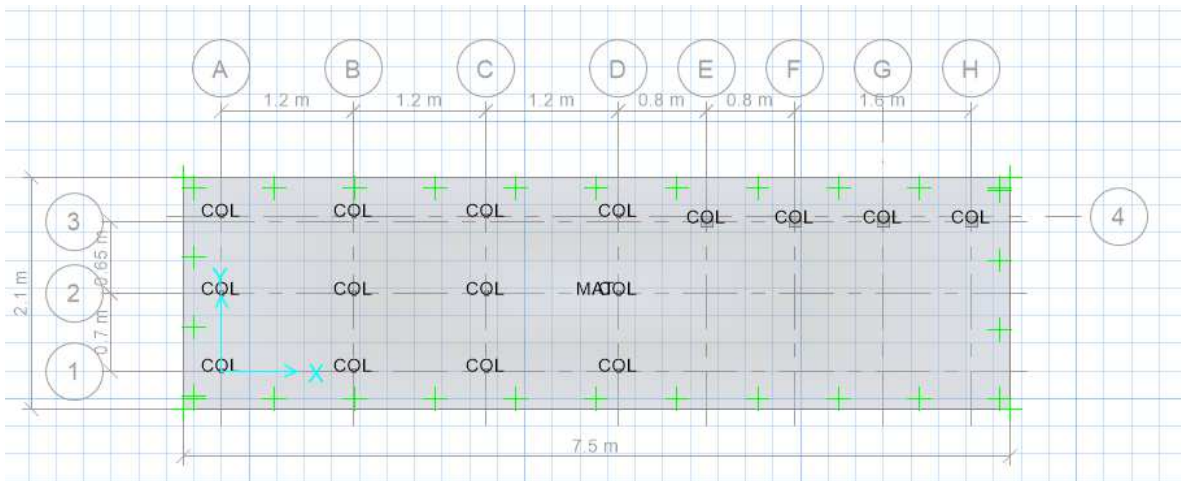


Figura 94. Definición de dimensiones (losa del sistema de alimentación)

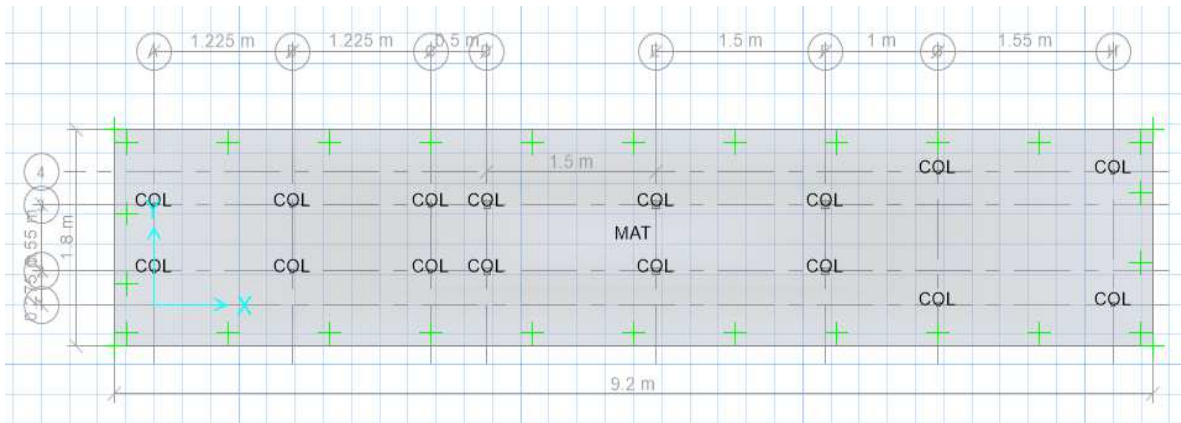


Figura 95. Definición de dimensiones (losa del sistema de soportes)

El siguiente paso es ejecutar el programa y verificar los esfuerzos en el suelo por carga vertical, que no deben sobrepasar la capacidad admisible del suelo que es de 20 T/m^2 .

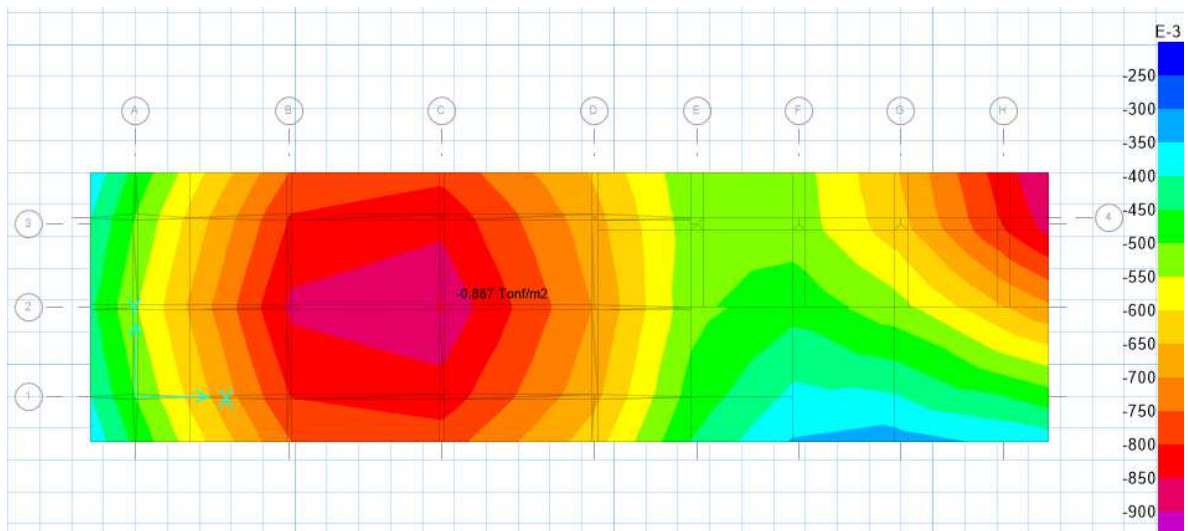


Figura 96. Esfuerzos por carga vertical (losa del sistema de alimentación)

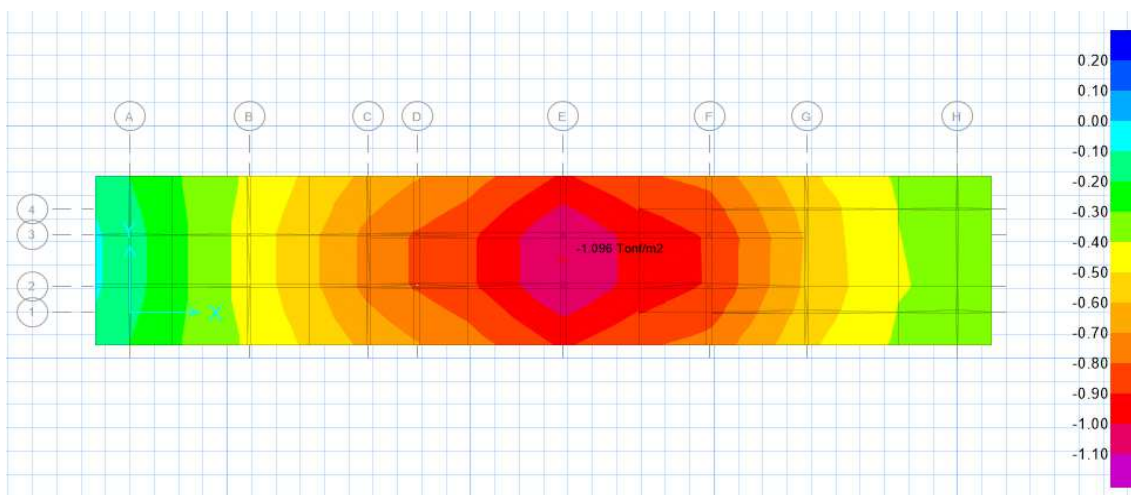


Figura 97. Esfuerzos por carga vertical (losa del sistema de soportes)

Se comprueba también la eficiencia al punzonamiento, que debe ser menor a 1, el programa la calcula con la siguiente expresión:

$$Eficiencia = \frac{Solicitud}{Resistencia}$$

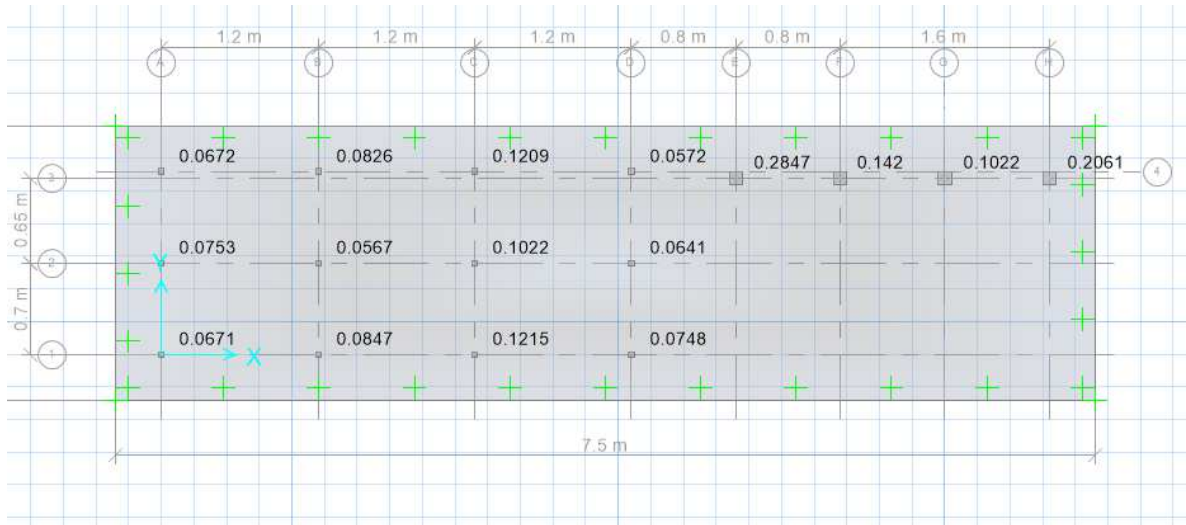


Figura 98. Comprobación de la eficiencia al punzonamiento (losa de sistema de alimentación)

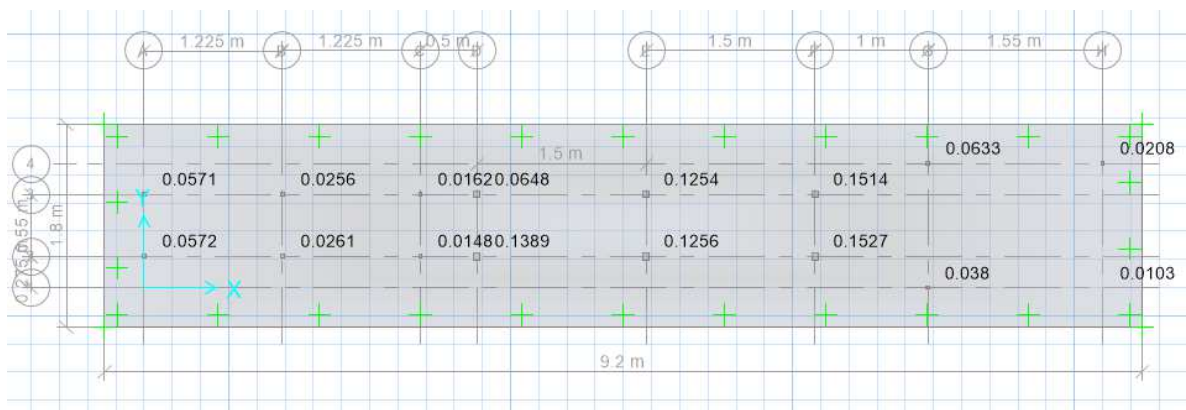


Figura 99. Comprobación de la eficiencia al punzonamiento (losa de sistema de soportes)

Se definen las franjas de diseño en ambas direcciones

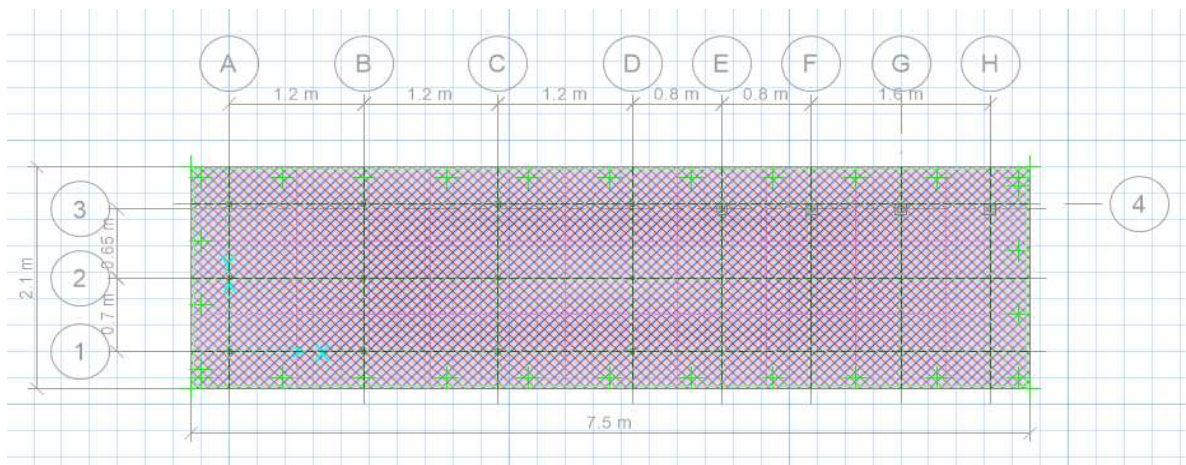


Figura 100. Franjas de diseño en ambas direcciones (losa de sistema de alimentación)

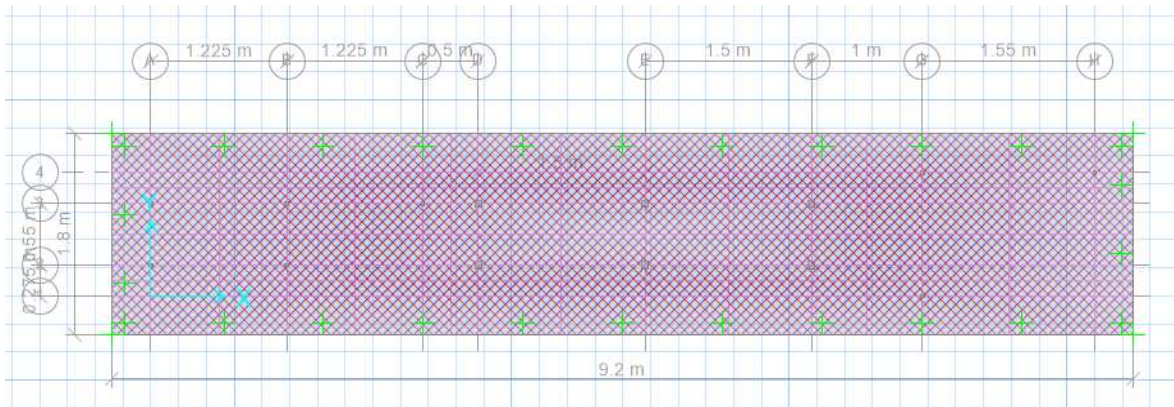


Figura 101. Franjas de diseño en ambas direcciones (losa de sistema de soportes)

Al visualizar los diagramas de momentos para carga última en ambas direcciones (kg-cm), se aprecia que los mayores momentos se producen en las caras de las columnas.

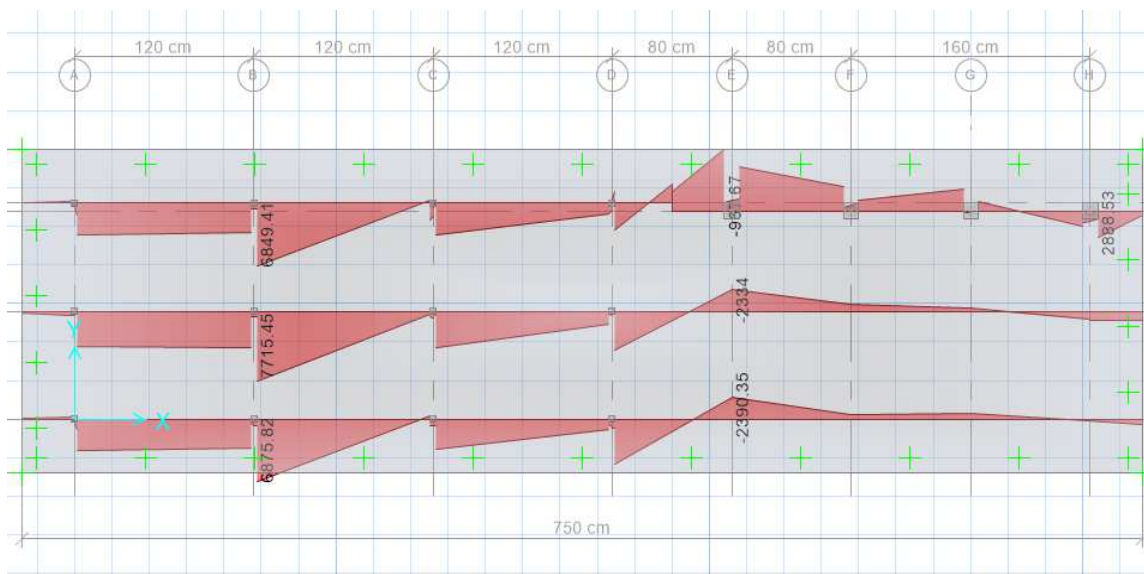


Figura 102. Diagrama de momentos en dirección x (losa de sistema de alimentación)



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

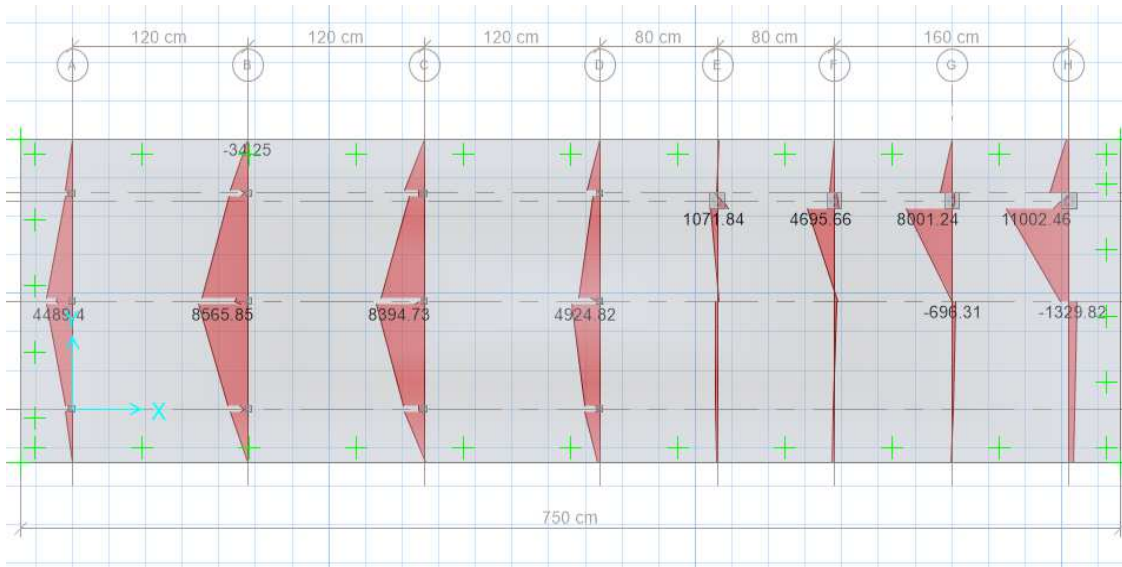


Figura 103. Diagrama de momentos en dirección y (losa de sistema de alimentación)

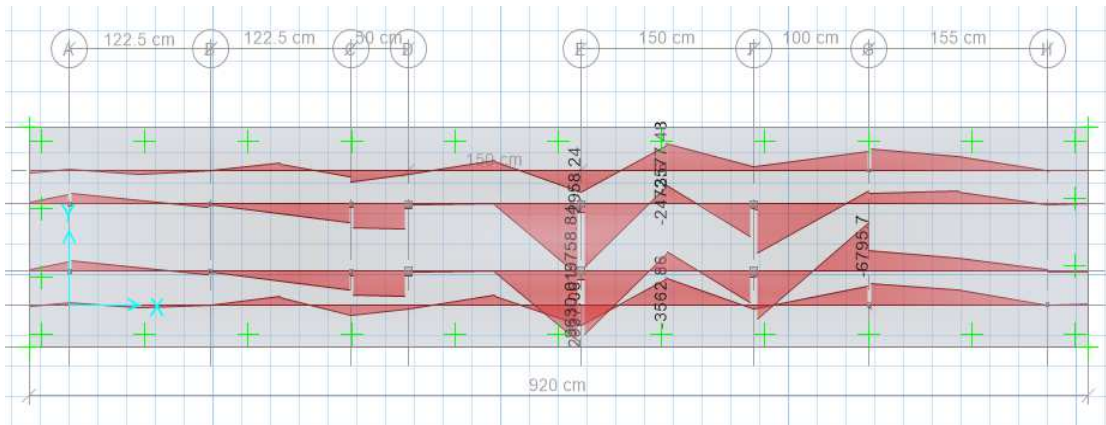


Figura 104. Diagrama de momentos en dirección x (losa de sistema de soportes)

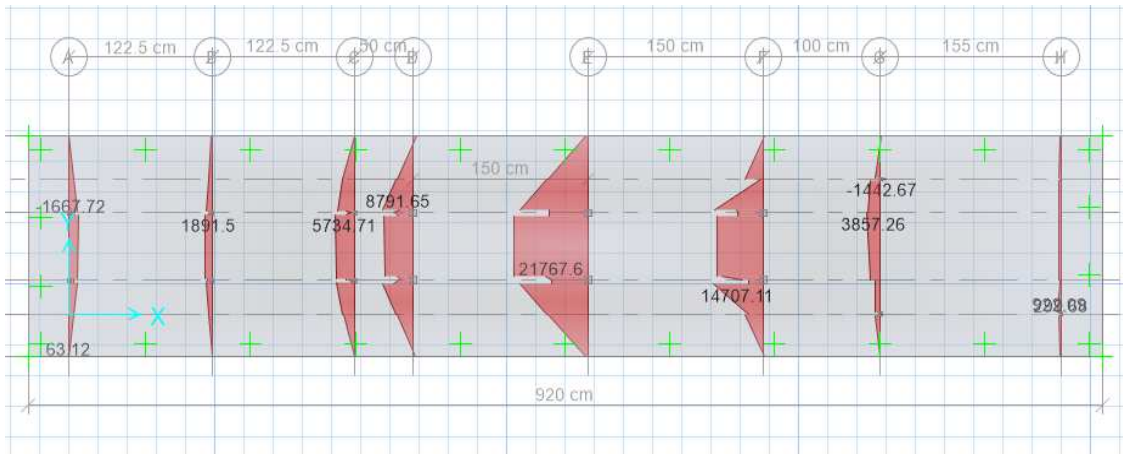


Figura 105. Diagrama de momentos en dirección y (losa de sistema de soportes)

El área de refuerzo, en unidades de cm^2/m es:

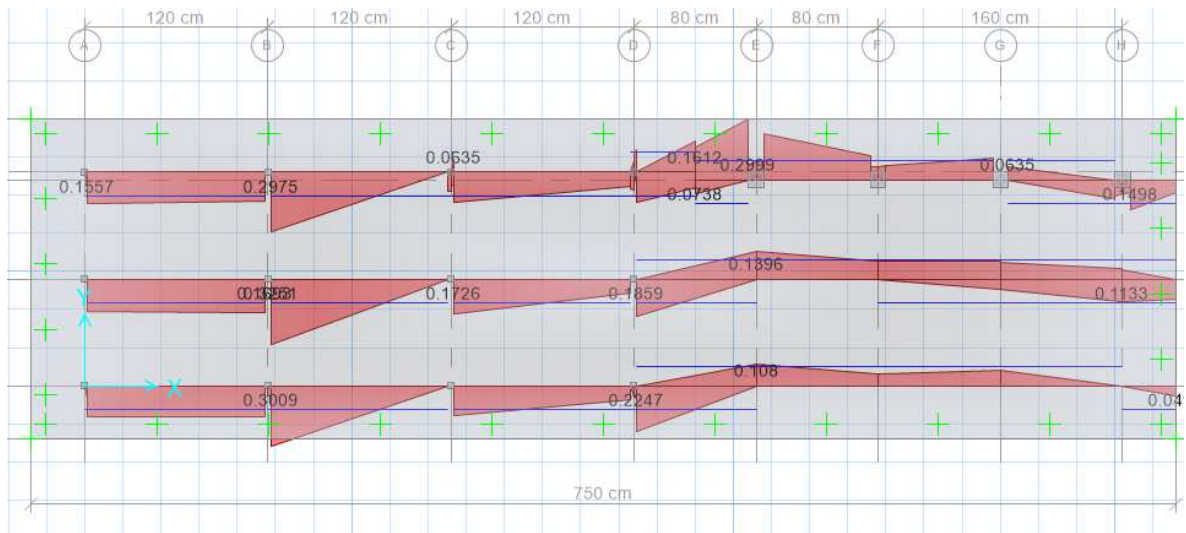


Figura 106. Área de refuerzo en dirección x (losa de sistema de alimentación)

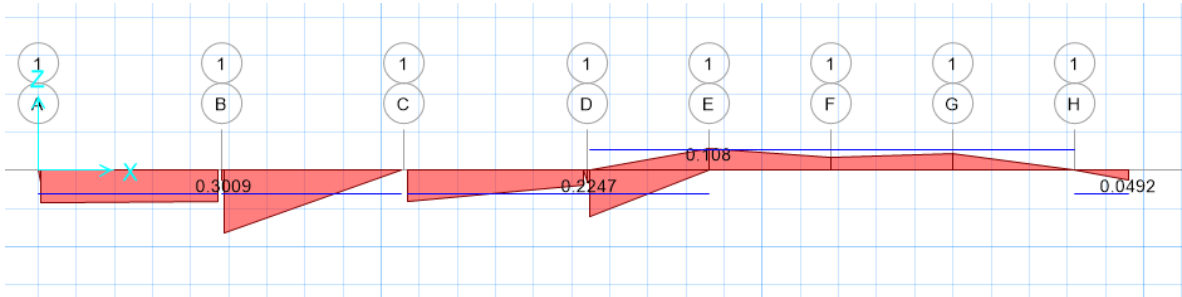


Figura 107. Área de refuerzo en dirección x por franja (losa de sistema de alimentación)

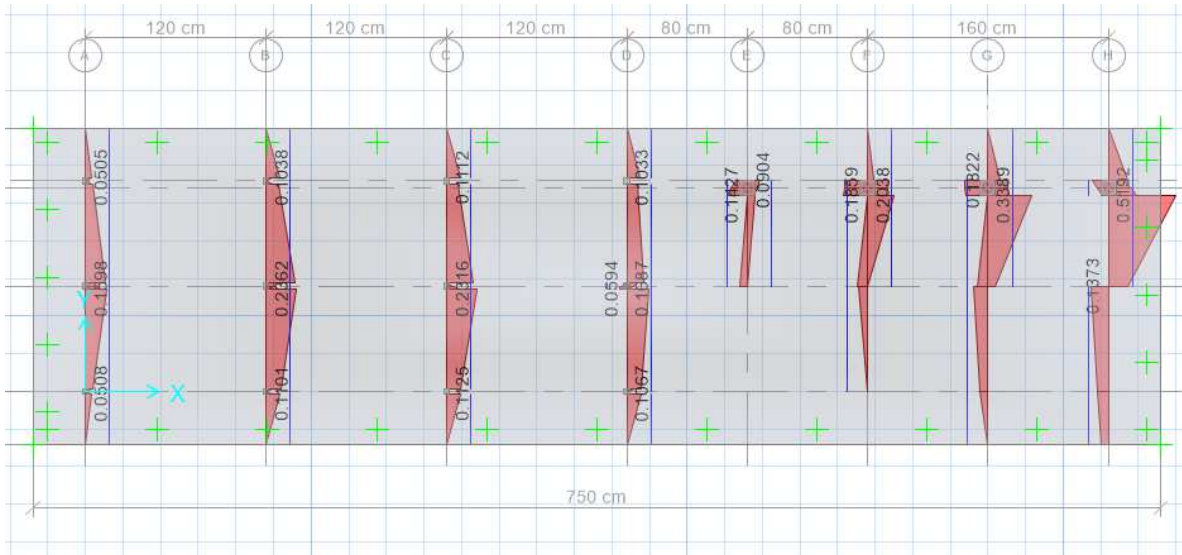


Figura 108. Área de refuerzo en dirección y (losa de sistema de alimentación)

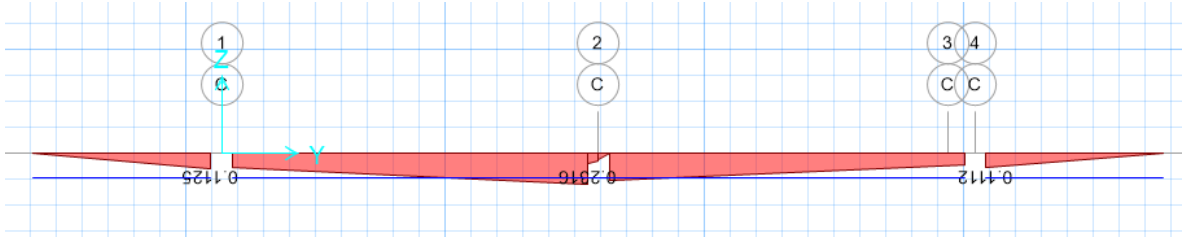


Figura 109. Área de refuerzo en dirección y por franja (losa de sistema de alimentación)



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

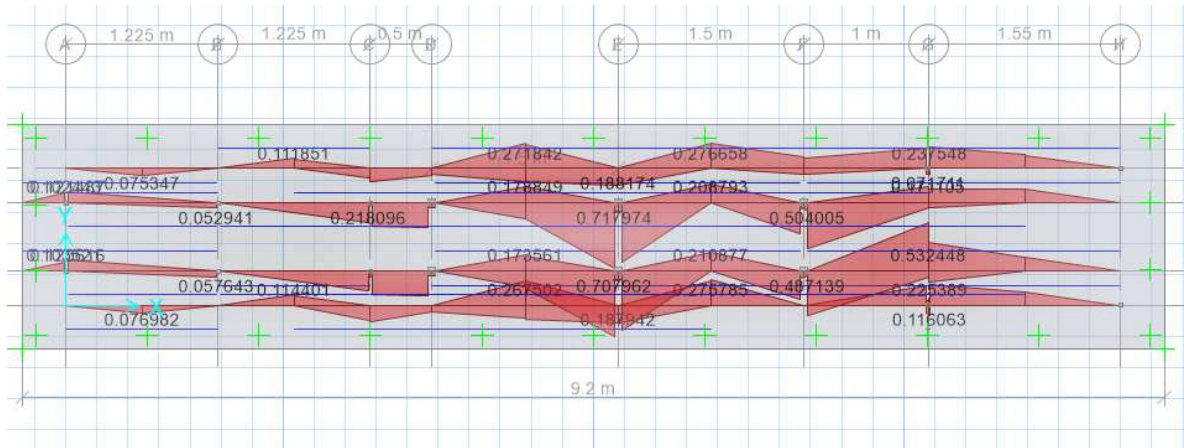


Figura 110. Área de refuerzo en dirección x (losa de sistema de soportes)

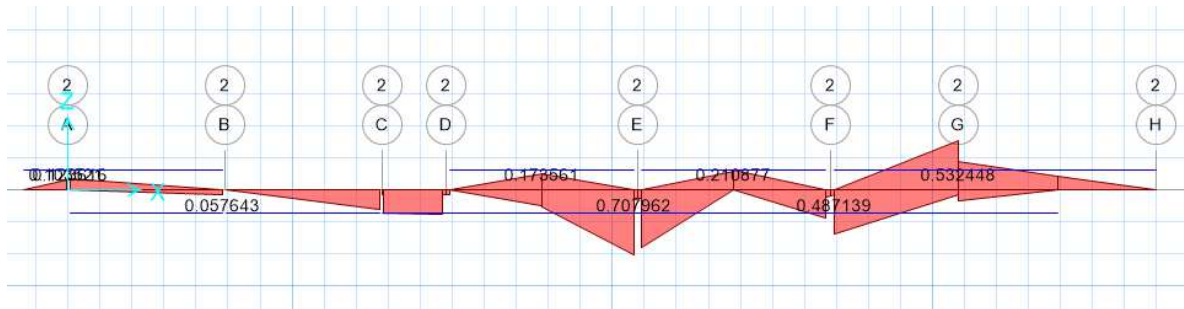


Figura 111. Área de refuerzo en dirección x por franja (losa de sistema de soportes)

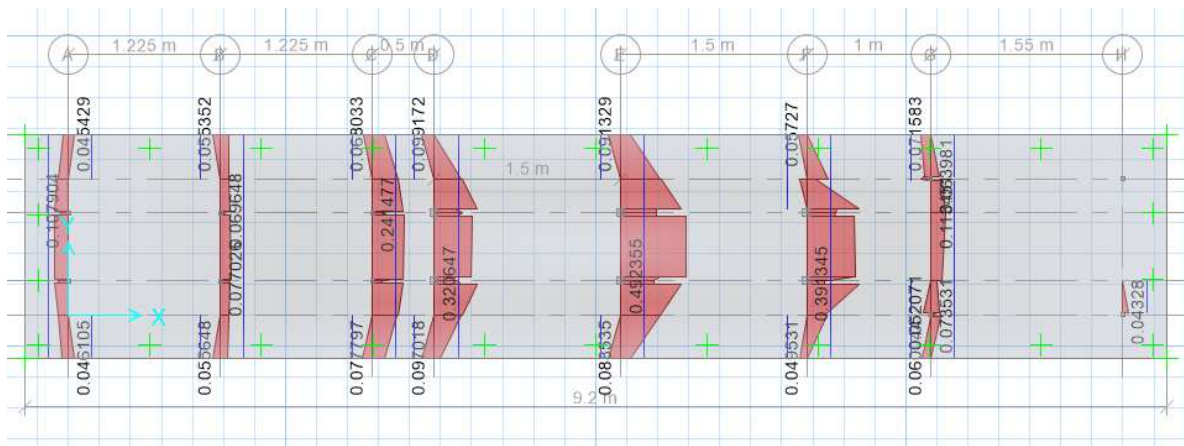


Figura 112. Área de refuerzo en dirección y (losa de sistema de soportes)

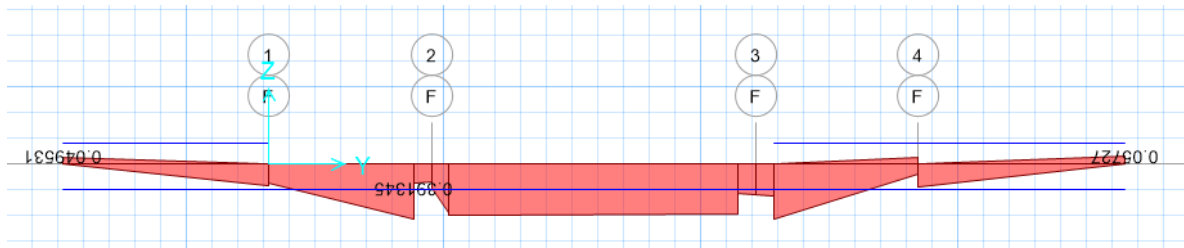


Figura 113. Área de refuerzo en dirección y por franja (losa de sistema de soportes)

3.4.1. Acero de refuerzo

Hemos obtenido áreas de acero de refuerzo menores a 1 cm^2 , en ambas cimentaciones, por lo que se trabajara con el acero mínimo según el ACI 318.

- Losa del sistema de alimentación

En dirección longitudinal

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \times b \times h$$

$$A_s = 0.0018 \times 210 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 5.67 \text{ cm}^2$$

$$sep = \frac{A_{\phi} * L}{A_s} = \frac{0.785 \text{ cm}^2 * 210 \text{ cm}}{5.67 \text{ cm}^2} = 29.07 \text{ cm}$$

Se utilizará para armadura superior e inferior $1 \text{ } \phi 10 \text{ mm c/ } 28 \text{ cm}$

En dirección transversal

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \times b \times h$$

$$A_s = 0.0018 \times 750 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 20.25 \text{ cm}^2$$

$$sep = \frac{A_{\phi} * L}{A_s} = \frac{0.785 \text{ cm}^2 * 750 \text{ cm}}{20.25 \text{ cm}^2} = 29.07 \text{ cm}$$

Se utilizará para armadura superior e inferior $1 \text{ } \phi 10 \text{ mm c/ } 28 \text{ cm}$

- Losa del sistema de soportes

En dirección longitudinal

$$A_{s \text{ min}} = 0.0018 \times b \times h$$

$$A_s = 0.0018 \times 180 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 4.86 \text{ cm}^2$$



$$sep = \frac{A_{\emptyset} * L}{A_s} = \frac{0.785 \text{ cm}^2 * 180 \text{ cm}}{4.86 \text{ cm}^2} = 29.07 \text{ cm}$$

Se utilizará para armadura superior e inferior 1 Ø 10 mm c/ 26 cm

En dirección transversal

$$A_s \text{ min} = 0.0018 \times b \times h$$

$$A_s = 0.0018 \times 920 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 24.84 \text{ cm}^2$$

$$sep = \frac{A_{\emptyset} * L}{A_s} = \frac{0.785 \text{ cm}^2 * 920 \text{ cm}}{24.84 \text{ cm}^2} = 29.07 \text{ cm}$$

Se utilizará para armadura superior e inferior 1 Ø 10 mm c/ 28 cm

3.5. Presupuesto

Se presenta un presupuesto aproximado de la obra tomando como referencia los precios de la CAMICON (Ecuador), para el mes de enero del año 2017.

Tabla 17. Presupuesto del proyecto.

Rubro	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Hormigón f'c 210*	4.84	m3	\$ 235.00	\$ 1,137.40
Acero estructural	2681.98	kg	\$ 2.30	\$ 6,168.55
Placas de anclaje	36	u	\$ 35.00	\$ 1,260.00
			Total	\$ 8,565.95

*Incluye armado y mano de obra

El costo aproximado para llevar a cabo la colocación del sistema de alimentación y soporte de la máquina, incluida la cimentación es de \$ 8565.95 dólares americanos.

Se debe tomar en cuenta que el costo de estas máquinas dependiendo de su capacidad se encuentra entre los \$ 15000 y \$ 40000 dólares americanos, sin contar con la cimentación ni los gastos de envío. El sistema de soportes propuesto en el presente trabajo está diseñado para soportar máquinas de mediana capacidad de hasta 3.5 Tn, con costos alrededor de los \$ 25000 dólares americanos.



DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SOPORTE DE UNA MÁQUINA DE
PULTRUSIÓN UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ACERO



EDDY CEVALLOS – BRIAN MENDOZA

ANEXOS

PLANOS



CONCLUSIONES

El uso de materiales pultruidos está ganando terreno en el sector de la construcción a nivel internacional debido a su fácil producción, bajo costo y propiedades finales del acabado, por lo tanto, es importante estudiar las características, el proceso, la tecnología y la maquinaria necesaria para producir estos materiales.

En el medio local aún no se cuenta con la maquinaria necesaria para producir este tipo de materiales, y es necesario importar este tipo de tecnología lo que genera costos elevados, por lo que el presente trabajo espera crear un punto de partida para futuros trabajos investigativos relacionados con la pultrusión.

Las cargas aquí estudiadas y propuestas para la realización de los modelos se seleccionaron en base a diferentes tipos de máquinas con diferentes volúmenes de producción, pensando que el tipo de perfiles que se fabricará será utilizado principalmente en el área de la construcción, ya que pueden existir variaciones de pesos, densidades y volúmenes al momento de seleccionar la materia prima necesaria.

Los modelos han sido verificados en Etabs y se ha comprobado que la estructura está apta para resistir las solicitaciones propuestas, se han tomado en cuenta las limitaciones físicas del lugar de implantación por lo que el uso de acero es una opción óptima frente a otros materiales.

El costo para la realización de este proyecto tomando en cuenta el diseño mecánico y eléctrico correspondiente podría alcanzar hasta un 70% del valor total de una máquina completa, por lo que podemos concluir que el diseño de la estructura de alimentación y soporte de la máquina de pultrusión utilizando estructura de acero representa una solución factible desde el punto de vista técnico y económico.



RECOMENDACIONES

Existen varios tipos de resinas en el mercado que otorgan diferentes propiedades a los perfiles pultruidos, el presente trabajo recomienda el uso de resinas de poliéster insaturado, ya que otorgan excelentes propiedades mecánicas químicas y eléctricas a un costo menor, además es la más adecuada para construir materiales livianos.

La estructura de soporte aquí presentada es para una máquina de pultrusión de mediana capacidad (hasta 3.5 Ton.) por lo que se recomienda que al momento de diseñar las partes mecánicas se tomen en cuenta las solicitaciones propuestas en el presente trabajo.

De acuerdo a la investigación realizada, para la construcción de los soportes, se recomienda la utilización de acero frente a otros materiales, tales como aluminio, ya que en el país no existen fabricas que provean de aluminio estructural, y no se encuentra tanta variedad de secciones y tamaños; o como hormigón ya que este no es desmontable en caso de que la máquina deba trasladarse de lugar, adicional a esto el costo de mano de obra y tiempo de implantación de una estructura de acero es menor al de una estructura de aluminio o concreto.

El tipo de soportes propuestos se seleccionó en base a la investigación del tipo de cargas involucradas en el proceso, por lo que se recomienda mantener la geometría de los modelos.

Se recomienda para futuros proyectos tomar en cuenta que las cargas con que se diseñaron los soportes son propias para sistemas de halado hidráulicos y que para sistemas mecánicos pueden variar, en caso de que algún investigador requiera de la fabricación de soportes con diferentes geometrías debido a limitaciones en el lugar de implantación.



BIBLIOGRAFÍA

Carbajales Ramón, Inspector Naval. (2013). “Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra”.

Carlos Viegas, (2009). Mundo de especialidades, Brasill – Pulltech, ensambladora 2009.

Carbón Concrete, (2010). “Refuerzos de estructura de hormigón”, Material compuesto. España.

Ciencia y desarrollo CONACYT. (2010). “Los materiales compuestos y su desarrollo actual”.

Moschiar S.M.; Reboredo M.M.; Kenny J.M. and Vázquez A. (1996) *Analysis of pultrusion processing of unsaturated polyester resin with glass fibers*, Polymer Composites, v. 17, n. 3, p. 478.

Luna Rubén de Blas, (2010). “Análisis paramétrico del corte ortogonal de materiales compuestos mediante modelización numérica”, Universidad Carlos III de Madrid. Tesis de ingeniería.

Rodríguez Carlos Alfonso. (2013)” Patrones Y Mecanismos De Fractura En Los Materiales Compuestos De Matriz Polimérica Reforzados Con Fibras”, Tesis maestría Universidad Autónoma de Nuevo León.

Santiago, D., Lombera, G., Urquiza, S., & Moschiar, S. M. (2003). Modelado numérico del proceso de pultrusión en materiales compuestos. *Materials Research*, 6(4), 583-589.

Liberty Pultrusions (2016). Recuperado de:
<http://www.libertypultrusions.com/pultrusion-products/>



CME Argentina (2015). Recuperado de: <http://www.cmeargentina.com/CME-Argentina-SA>

Soriano, N. (2007). Propiedades en tracción de perfiles pultruidos. Influencia de la geometría de las probetas. In *MATCOMP 07*.

José Batista de Andrade, (2009). Director del programa Pultruir – Brasil, ensambladora de maquinarias y equipos.

Reolid Hernández, O. (2011). Análisis y modelización de ensayos de uniones mecánicas de materiales GFRP fabricados por pultrusión.

Plan Nacional del Buen Vivir, (2010). Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador. Quito.