



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO PENDULAR DE  
ACCIONAMIENTO MANUAL PARA UN SISTEMA DE BOMBEO DE 20 L/h DE  
AGUA Y ELEVACIÓN DE UN METRO

JHON ALEXANDER ALAPE VEGA  
RODRIGO ROMERO BERNAL

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA  
INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C  
2020

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO PENDULAR DE  
ACCIONAMIENTO MANUAL PARA UN SISTEMA DE BOMBEO DE 20 L/h DE  
AGUA Y ELEVACIÓN DE UN METRO

JHON ALEXANDER ALAPE VEGA

RODRIGO ROMERO BERNAL

PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIEROS MECÁNICOS

HENRY MORENO ACOSTA

INGENIERO MECÁNICO

DOCENTE FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA

INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2020

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Presidente jurado

---

Firma de jurado

---

Firma de jurado

Bogotá D.C., mayo 2020

## DEDICATORIA

### A DIOS

Aquel ser espiritual y armonioso que me acompañó en cada paso de este arduo proceso, brindándome sabiduría y paciencia para lograr esta grandiosa meta.

### A MIS PADRES

Por el apoyo incondicional que me brindaron en este proceso pese a algunas adversidades que se presentaron y por la pasión que me influyeron para asumir con responsabilidad los proyectos que me propongo.

### A MI TÍA

Ella que fue parte fundamental para la obtención de este logro brindándome su apoyo y sabiduría para cumplir esta meta.

### A MIS HERMANOS

Por qué gracias a ellos, por su apoyo y por la inspiración que me daban para seguir luchando cada día por esta meta es que los hago acreedores de este logro, en especial a mi hermosa María Fernanda Alape vega a quien espero logre ser un ejemplo en su vida.

### A MI FAMILIA

Porque cada miembro de mi núcleo familiar que contribuyo con palabras de apoyo y buenas energías para que no desfalleciera de este gran sueño que tenía, que a pesar de que se presentaron muchas, muchas dificultades hoy por fin lograron cumplir este sueño y demostrarles que estoy para mucho más.

JHON ALEXANDER ALAPE VEGA

A DIOS

Por la fuerza, dedicación sabiduría y paciencia en la meta que sembró en mi corazón y lo que me propuse a lograr, sus grandes bendiciones para que este logro se efectuara de la mejor manera.

A MIS PADRES

Por sus enseñanzas a luchar con responsabilidad, por lo que uno se propone en la vida, su inalcanzable paciencia y constante apoyo en seguir con mis sueños sin importar las circunstancias o problemas que se presenten en el transcurso del camino.

A MI PAREJA

Por su persistencia y máximo apoyo en lograr mis metas, su comprensión en las dificultades que se van presentando en el camino y motivación para seguir y culminar mi logro.

A MI FAMILIA

Por el apoyo y unión brindado para cumplir esta meta. Para expresar que estoy hecho para grandes triunfos y grandes cosas que lograr en la vida junto a los seres que quiero.

RODRIGO ROMERO BERNAL

## AGRADECIMIENTOS

A nuestros profesores que estuvieron presentes a lo largo del desarrollo de nuestra etapa de formación profesional, que con sus conocimientos y criterios concernientes en el área de ingeniería contribuyeron a que logramos desarrollar este trabajo de grado. En especial a nuestro director el Ingeniero Henry Moreno Acosta docente de la FIMEB de la Universidad Antonio Nariño, sede sur que con su apoyo, aportes y directrices logramos establecer un buen trabajo de grado y la culminación de este.

También a quienes contribuyeron con la realización de este trabajo brindándonos su colaboración facilitándonos herramientas, tiempo y espacio ya que fueron fundamentales para el desarrollo y finalización de este proyecto.

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
RESUMÉN .....	4
CAPITULO 1 .....	5
ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.....	5
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	6
1.3 ALCANCE .....	7
1.4 OBJETIVOS.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos .....	8
CAPITULO 2 .....	9
MECANISMO OSCILANTE DE ACCIONAMIENTO MANUAL.....	9
2.1. ESTADO DEL ARTE .....	9
2.2. ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA EL MECANISMO DE ACCIONAMIENTO MANUAL.....	9
2.3. MATRIZ DE DECISIÓN .....	12
2.4. SINOPSIS DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS .....	13
2.5. REGISTRO DE LA PATENTE .....	14
2.6. MARCO TEÓRICO .....	15
2.6.1. Péndulo .....	15
2.6.1.1. Péndulo simple.....	15
2.6.1.2. Péndulo físico o compuesto.....	16
2.6.1.3. Péndulo de Torsión .....	17
2.6.2. Mecanismos de transmisión lineal.....	18
2.6.3. Bomba de diafragma.....	18
2.6.4. Árbol de transmisión.....	19
2.7. METODOLOGÍA DISEÑO MECÁNICO E INGENIERÍA INVERSA .....	19

CAPITULO 3 .....	21
MECANISMO PENDULAR DE DOS ETAPAS PARA UN SISTEMA DE BOMBEO DE 20Lh DE AGUA ....	21
3.1. ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE PROCESO .....	21
3.2. CRITERIOS DE DISEÑO PARA LOS COMPONENTES DEL MECANISMO.....	23
3.2.1. Péndulo .....	23
3.2.2. Punto de pivote principal.....	24
3.2.3. Viga oscilante .....	24
3.2.4. Contrapesos .....	25
3.2.5. Base principal .....	25
3.3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO OSCILANTE.....	26
3.4. DIMENSIONAMIENTO DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS.....	28
3.5. PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO PARA COMPONENTES DEL MECANISMO OSCILANTE ..	29
3.5.1. Tamaño de la mesa que soportara el mecanismo .....	29
3.5.2. Tamaño de la viga oscilante .....	31
3.5.3. Tamaño para la base de la viga oscilante .....	32
3.5.4. Tamaño de los contrapesos para la viga oscilante .....	34
3.5.5. Tamaño del péndulo .....	34
CAPITULO 4 .....	35
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS .....	35
4.1. DISEÑO DE LA VIGA OSCILANTE .....	35
4.1.1. Diseño preliminar.....	36
4.1.2 Comportamiento de la viga conforme a su aplicación .....	37
4.1.3. Estimación del peso para las cargas A y B.....	38
4.1.4 Análisis por rigidez mecánica .....	39
4.1.5 Relación de la sección transversal según catálogo de tubo estructural .....	43
4.1.6. Análisis por resistencia mecánica .....	44
4.2. DISEÑO DEL PASADOR PARA LA VIGA OSCILANTE .....	51
4.2.1. Diseño preliminar para el pasador.....	51
4.2.2. Estimación de las cargas presentes en el pasador.....	52

4.2.3. Diámetros para el pasador de la viga.....	57
4.3. DISEÑO DEL PÉNDULO DE MASA VARIABLE .....	59
4.3.1. Cálculos del péndulo .....	59
4.3.1.1. Cálculo de energía cinética generada en el punto <b>B</b> .....	63
4.3.2. Construcción del péndulo .....	64
4.3.2.1. Discos del péndulo .....	64
4.3.2.2. Varilla roscada para el péndulo .....	64
4.3.2.3. Base para el péndulo.....	65
4.3.2.4. Cálculo para el Pasador que sujetara al péndulo.....	66
4.3.2.4. Diámetros del pasador para el péndulo.....	70
4.3.2.5. Resultado de la fabricación de péndulo de masa variable .....	71
4.4. DISEÑO DE LOS CONTRAPESOS PARA LA VIGA OSCILANTE .....	74
4.5. DISEÑO DE LA BASE PARA LA VIGA .....	75
4.5.1. Proceso de dimensionamiento para la base de la viga oscilante .....	76
4.5.2. Construcción de la base para la viga oscilante .....	77
4.5.3. Modelamiento computacional de la base para la viga oscilante por medio de SolidWorks .....	82
4.6. DISEÑO DE LA MESA DE SOPORTE PARA EL MECANISMO.....	83
4.6.1. Criterio para el dimensionamiento para la mesa de soporte del mecanismo oscilante.	84
4.6.2. Proceso de construcción para la mesa de soporte del mecanismo oscilante .....	84
4.6.3. Modelamiento de la mesa de soporte para el mecanismo oscilante por medio de SolidWorks .....	88
CAPITULO 5 .....	90
SELECCIÓN DE ELEMENTOS NORMALIZADOS QUE CONFORMARAN AL MECANISMO .....	90
5.1. CÁLCULOS DE LOS PERNOS PARA EL PÉNDULO .....	90
5.1.1. Selección de pernos según tabla de rosca métricas .....	91
5.2. CÁLCULOS DE LOS PERNOS PARA LA VIGA OSCILANTE.....	93
5.3. CÁLCULOS DE LOS PERNOS PARA LA BASE DE LA VIGA OSCILANTE .....	95
5.4. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA EL PÉNDULO.....	97
5.5. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA LA VIGA OSCILANTE .....	100
CAPITULO 6. ....	103

BOMBA DE DIAFRAGMA PARA EL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS.....	103
6.1. Principio de funcionamiento de la bomba de diafragma .....	103
6.2. ADAPTACIÓN DE LAS BOMBAS DE COMBUSTIBLE AL MECANISMO PENDULAR .....	104
6.3. JUSTIFICACIÓN PARA LAS BOMBAS DE DIAFRAGMA.....	106
6.3.1. Esquemas hidráulicos.....	106
6.3.2. cálculos para las bombas hidráulicas $B_1$ y $B_2$ . .....	111
CAPITULO 7 .....	116
ANALISIS Y RESULTADOS DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS .....	116
7.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON EL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS.....	118
7.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRIMER ETAPA DE PRUEBAS PARA $M=2,3$ kg .....	118
7.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA SEGUNDA ETAPA DE PRUEBAS PARA $M=4,6$ kg.....	121
7.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA TERCERA ETAPA DE PRUEBAS PARA $M=7$ KG.....	124
7.1.4. DESCRIPCIÓN DE LA CUARTA ETAPA DE PRUEBAS PARA $M=9,5$ kg.....	130
7.2. VENTAJA MECÁNICA EVALUADO SEGÚN PRUEBAS.....	138
7.3. ENERGIA MECÁNICA GENERADA POR EL MECANISMO EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE LA VIGA OSCILANTE. ....	140
CONCLUSIONES.....	142
BIBLIOGRAFIA.....	144
ANEXOS .....	145

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Energía libre generador pendular .....	10
Figura 2. Hand Powered machine. ....	10
Figura 3. Two Stage Mechanical oscillator .....	10
Figura 4. Return To Gravity Assisted Power.....	10
Figura 5. Mecanismo oscilante de 2 etapas por autores .....	13
Figura 6. Criterios de evaluación diseñado por autores.....	14
Figura 7. Ilustración de péndulo simple por autores.....	15
Figura 8. Ilustración de péndulo físico o compuesto .....	16
Figura 9. Ilustración de péndulo de torsión .....	17
Figura 10. Bomba de diafragma .....	18
Figura 11. Árbol de transmisión por autores.....	19
Figura 12. Esquema inicial para el diseño del mecanismo por autores .....	21
Figura 13. Diagrama de bloques conceptualización del proceso .....	22
Figura 14. Imagen del Péndulo por autores.....	23
Figura 15. Imagen del pivote principal por autores.....	24
Figura 16. Imagen de la viga por autores.....	24
Figura 17. Imagen del contrapeso por autores.....	25
Figura 18. Imagen de la base por autores .....	25
Figura 19. Mecanismo oscilante de 2 etapas por autores .....	26
Figura 20. Fuerza de excitación inicial para el péndulo por autores.....	26
Figura 21. Péndulo en recorrido y viga oscilante en punto superior por autores.....	27
Figura 22. Péndulo y viga en recorrido por autores.....	27
Figura 23. Oscilación intermedia del péndulo y viga por autores.....	27
Figura 24. Viga oscilante bloqueada por fuerza exterior con péndulo oscilando por autores .....	28
Figura 25. Péndulo y viga en punto inferior máximo por autores .....	28
Figura 26. Altura de mesa soporte imagen tomada de video de YouTube.....	30
Figura 27. Ancho de mesa soporte imagen tomada de video de YouTube.....	30
Figura 28. Longitud de la mesa imagen tomada de video de YouTube.....	30
Figura 29. Longitud del extremo corto de la viga oscilante imagen tomada de video de YouTube .....	31
Figura 30. Longitud de extremo extenso de la viga imagen tomada de video de YouTube .....	32
Figura 31. Longitud del soporte de la viga imagen tomada de video de YouTube.....	33
Figura 32. Altura de los travesaños de la base para la viga oscilante, imagen tomada de video de YouTube .....	33
Figura 33. Altura del contrapeso imagen tomada de video de YouTube .....	34
Figura 34. Vista conceptual del diseño de la viga oscilante en SolidWorks .....	36
Figura 35. Sección transversal del perfil .....	37
Figura 36. Viga sin carga y con carga .....	38

Figura 37. Cargas presentes sobre la viga oscilante .....	38
Figura 38. Diagrama de cuerpo libre para la viga oscilante .....	39
Figura 39. Sección trasversal de la viga.....	40
Figura 40. Cálculo de la sección transversal .....	42
Figura 41. Sección transversal resultante .....	43
Figura 42. DCL N°1.....	45
Figura 43. DCL N°2.....	46
Figura 44. DCL N°3.....	46
Figura 45. Circulo de Mohr por autores .....	49
Figura 46. Ilustración del punto pivote principal con su pasador de sujeción .....	52
Figura 47. Fuerzas aplicadas sobre el pasador .....	52
Figura 48. Diagrama de cuerpo libre para pasador de la viga.....	53
Figura 49. Apéndice 3 Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados de Robert L. Mott 4. Edición P. A6 (2006) .....	54
Figura 50. Resistencia a la fatiga Sn en función de la resistencia a la tensión Diseño de máquina. Robert L. Mott 4 edición P.175 (2006) .....	55
Figura 51. Diseño del pasador para la viga .....	57
Figura 52. Péndulo en funcionamiento .....	61
Figura 53. Discos del péndulo de masa variable .....	64
Figura 54. Varilla roscada para el péndulo .....	65
Figura 55. Base de altura variable del péndulo.....	65
Figura 56. Diagrama para el pasador del péndulo.....	66
Figura 57. Diagrama de cuerpo libre.....	67
Figura 58. Apéndice 3 Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados de Robert L. Mott 4. Edición P. A6 (2006) .....	68
Figura 59. Resistencia a la fatiga Sn en función de la resistencia a la tensión Diseño de máquina. Robert L. Mott 4 edición P.175 (2006) .....	68
Figura 60. Diámetros del pasador para el péndulo.....	71
Figura 61. Vista frontal del péndulo con sus componentes.....	71
Figura 62. Contrapeso en U para la viga oscilante.....	74
Figura 63. Imagen de silueta para el diseño del soporte de la viga oscilante.....	76
Figura 64. Dimensionamiento de la altura para el soporte de la viga oscilante tomada de YouTube .....	76
Figura 65. Dimensionamiento de la longitud para la base de la viga oscilante tomada de YouTube .....	77
Figura 66. Corte de tubo estructural cuadrado.....	78
Figura 67. Primera fase de armado de la base para la viga oscilante.....	78
Figura 68. Fase final de construcción para el soporte .....	79
Figura 69. DCL N°1.....	80
Figura 70. DCL N°2.....	80
Figura 71. DCL 3.....	80
Figura 72. Diagrama de fuerza cortante y momento flector .....	81
Figura 73. Modelamiento de la estructura en SolidWorks .....	82

Figura 74. Corte del tubo para la mesa de soporte del mecanismo .....	84
Figura 75. Fase de soldadura para la estructura .....	85
Figura 76. Mesa de soporte para el mecanismo .....	85
Figura 77. Cartelas para dar rigidez a la estructura .....	86
Figura 78. Instalación de la lámina y tubo para las bombas de diafragma .....	86
Figura 79. Adaptación para las bombas de diafragma instalado a la estructura .....	87
Figura 80. Etapa final de construcción para las bombas de diafragma .....	87
Figura 81. Modelamiento de la mesa de soporte para el mecanismo oscilante .....	88
Figura 82. Representación pictórica de los pernos seleccionados para la sujeción del péndulo .....	92
Figura 83. Montaje del péndulo junto con pernos seleccionados .....	93
Figura 84. Representación pictórica de los pernos seleccionados para la sujeción de la viga .....	94
Figura 85. Montaje de la viga junto con los pernos seleccionado .....	95
Figura 86. Montaje del soporte de la viga junto con sus pernos seleccionados .....	96
Figura 87. Chumacera de pedestal para rodamiento del pasador del péndulo .....	97
Figura 88. Chumacera de brida para cuatro tornillos .....	100
Figura 89. Vista se sección de una bomba de combustible .....	104
Figura 90. Instalación de las bombas de diafragma el mecanismo .....	105
Figura 91. Válvula antirretorno de 13mm junto con su racor para adaptación a manguera .....	105
Figura 92. Mecanismo con zoom en la instalación de bombas y válvulas .....	106
Figura 93. Esquema de tanques de suministro (1) y descarga (2) .....	107
Figura 94. Vista de perfil de los tanques .....	108
Figura 95. Esquema hidráulico línea de succión .....	109
Figura 96. Esquema hidráulico de la línea de descarga .....	110
Figura 97. Identificación de variables .....	117
Figura 98. Longitud del péndulo de 120 mm .....	118
Figura 99. Longitud del péndulo de 120 mm .....	121
Figura 100. Longitud del péndulo de 120 mm .....	124
Figura 101. Longitud del péndulo de 120mm .....	130

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Alternativas planteadas para el mecanismo oscilante.....	11
Tabla 2. Matriz de decisión.....	12
Tabla 3. Partes del mecanismo oscilante.....	13
Tabla 4. tabla descriptiva del mecanismo preliminar.....	21
Tabla 5. Características generales de acero AISI 1020 laminado en caliente.....	36
Tabla 6. Catálogo de perfil estructural rectangular.....	44
Tabla 7. Carta tecnológica de fabricación de la viga oscilante.....	51
Tabla 8. Carta tecnológica de fabricación para el pasador de la viga oscilante.....	58
Tabla 9. Componentes para el péndulo.....	60
Tabla 10. Carta tecnológica de fabricación para el péndulo.....	73
Tabla 11. Carta tecnológica de fabricación para el contrapeso.....	75
Tabla 12. Carta tecnológica de fabricación para la base de la viga oscilante.....	83
Tabla 13. Carta tecnológica de fabricación para la mesa de soporte.....	89
Tabla 14. tabla de dimensiones de roscas métricas Diseño de máquina. Robert L. Mott 4 edición P.718 (2006).....	92
Tabla 15. Datos del pasador del péndulo.....	97
Tabla 16. Catálogo de selección para los rodamientos de pedestal.....	99
Tabla 17. Datos del pasador de la viga.....	100
Tabla 18. Catalogo NKS para los rodamientos que irán dentro de la brida.....	102
Tabla 19. Partes de la bomba de combustible.....	104
Tabla 20. Descripción de las variables.....	116
Tabla 21. Caudal promedio con D variable con valor de $m= 8,9$ kg.....	119
Tabla 22. Caudal promedio con D variable con valor de $m= 12,4$ kg.....	120
Tabla 23. Caudal promedio con D y m variable.....	122
Tabla 24. Caudal promedio con D variable con valor de $m= 1,8$ kg.....	123
Tabla 25. Caudal promedio con D y m variable.....	125
Tabla 26. Caudal promedio con D y m variable.....	126
Tabla 27. Caudal promedio con D y m variable.....	127
Tabla 28. Caudal promedio con D y m variable.....	128
Tabla 29. Caudal promedio con D y m variable.....	129
Tabla 30. Caudal promedio con D y m variable.....	132
Tabla 31. Caudal promedio con D variable con valor de $m= 8,9$ kg.....	133
Tabla 32. Caudal promedio con D y m variable.....	134
Tabla 33. Caudal promedio con D variable con valor de $m= 12,4$ kg.....	135
Tabla 34. Caudal promedio con D y m variable.....	136
Tabla 35. Caudal promedio con D variable con valor de $m= 12,4$ kg.....	137

## LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Factores de concentración de esfuerzos. Pag A29, Diseño de máquina de Robert L. Mott cuarta edición .....	48
Grafica 2. Caudal promedio generado para la tabla 21 .....	119
Grafica 3. caudal promedio generado para la tabla 22 .....	120
Grafica 4. Caudal promedio generado para la tabla 23 .....	122
Grafica 5. Caudal promedio generado para la tabla 24 .....	123
Grafica 6. Caudal promedio generado para la tabla 25 .....	125
Grafica 7. Caudal promedio generado para la tabla 26 .....	126
Grafica 8. Caudal promedio generado para la tabla 27 .....	127
Grafica 9. Caudal promedio generado para la tabla 28 .....	128
Grafica 10. Caudal promedio generado para la tabla 29 .....	129
Grafica 11. Caudal promedio generado para la tabla 30 .....	132
Grafica 12. Caudal promedio generado para la tabla 31 .....	133
Grafica 13. Caudal promedio generado para la tabla 32 .....	134
Grafica 14. Caudal promedio generado para la tabla 33 .....	135
Grafica 15. Caudal promedio generado para la tabla 34 .....	136
Grafica 16. Caudal promedio generado para la tabla 35 .....	137

## INTRODUCCIÓN

A continuación, se describe el proyecto de grado denominado “Diseño y construcción de un mecanismo pendular de accionamiento manual para un sistema de bombeo de  $20 \frac{L}{h}$  de agua y elevación de un metro”

Actualmente en la sociedad que convivimos observamos un gran avance tecnológico y de desarrollo de infraestructura en las principales ciudades del país, donde se procura suplir cada vez más las necesidades que necesitan las personas que las residen, pero, aun así, con este gran avance que se ha presentado en esta década, es inevitable observar que aún se encuentran partes del territorio colombiano padeciendo de necesidades básicas para la existencia, como lo es el suministro de agua potable. Ya sea por la falta de inversión en infraestructura por los gobiernos locales o por el bajo poder adquisitivo de las personas que las restringen en obtener maquinas que les permitan un suministro de agua constante. El presente diseño propone una nueva alternativa de fácil acceso con respecto a mecanismos capacitados para el suministro de agua.

El documento comprende todos los aspectos relacionados con el diseño antes referido, considerando elementos teóricos que sustentan y soportan el trabajo. En consideración a lo anterior, el documento está organizado en los siguientes apartados: el capítulo uno trata de los aspectos generales del proyecto; en el capítulo dos se realiza un análisis sobre mecanismos pendulares adaptables a la aplicación que se va a desarrollar, para luego seleccionar el indicado, en el capítulo 3 se estudia más a fondo el mecanismo seleccionado y se evalúan criterios de diseño y el dimensionamiento que tendrá; en el capítulo cuatro se desarrolla cálculos, diseños y construcción del mecanismo con base en el análisis realizado anteriormente; el capítulo cinco presenta la selección de elementos normalizados que complementaran al mecanismo para sujetar piezas móviles que lo conformaran; el capítulo seis se basa en un análisis de la bombas de diafragma que fueron adaptadas y los cálculos desarrollados para sustentar trabajo y caudales generados; en el capítulo siete se presentan en detalle las pruebas realizadas con respecto a algunas configuraciones a las que se pueden adaptar el mecanismo con respecto a los elementos que lo constituyen, a su vez se desarrolla un análisis de energías suministradas por el mecanismo dependiendo de algunos elementos que lo conforman.

A lo largo de este documento se soporta el diseño y construcción de un mecanismo capaz de suministrar agua potable a determinada altura, y a su vez se deja abierta las posibilidades de continuar con estudios adicionales para posibles adaptaciones a las que se le quiera implementar al mecanismo.

## RESUMÉN

En este proyecto se presenta un trabajo de ingeniería inversa aplicada al diseño conceptual de un mecanismo oscilante de 2 etapas. Donde su aplicación será transformar los movimientos oscilatorios de un péndulo en un movimiento periódico que se transmitirá a una palanca oscilante que accionará unas bombas de diafragma para el suministro de agua a una determinada altura.

Se inicia con la descripción de los fenómenos físicos que puede manifestar el mecanismo durante su aplicación y a su vez se determina las características funcionales y dimensionales de cada componente. Se agrupa estos conceptos en el diseño de un “Mecanismo manual para un sistema de bombeo de  $20 \frac{L}{h}$  de agua” bajo la premisa de bajos costos, ya que se utilizarán materiales y herramientas que se encuentren en disposición económica factible. Además, se realiza un estudio anticipado del dispositivo original para establecer las medidas aproximadas del mecanismo y entender el funcionamiento de cada componente, esto para lograr replicar y dar una aplicación distinta a la del autor. A su vez se elabora un modelado en 3D de los componentes observados, esto con el previo estudio realizado al mecanismo original, se realizan las guías de fabricación para cada uno de ellos y se presenta la etapa de fabricación y ensamble del mecanismo.

En la etapa de evaluación de desempeño del mecanismo oscilante se realiza una serie de pruebas para la toma de datos e iniciar con un proceso de estudio dinámico, matemático y mecánico con la ayuda de algunos programas ofimáticos.

# CAPITULO 1

## ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El suministro de agua potable en zonas áridas y de bajos recursos en nuestro país es una problemática cada vez más frecuente, en la actualidad son muchas las zonas del país las cuales carecen de este servicio y no pueden saciar sus necesidades básicas como aseo y alimentación. Produciendo así una crisis de carácter publica la cual se debe solucionar implementando sistemas de distribución y consumo de agua potable.

Muchos de estos sistemas son implementados en zonas urbanas las cuales presentan características ideales para lograr su montaje y puesta en marcha de equipos para el suministro de agua. Caso contrario sucede en zonas rurales las cuales no presentan las condiciones ideales para implementar dichos sistemas convencionales.

Es por eso que se plantea un mecanismo de bombeo de accionamiento manual el cual no va a necesitar de las fuentes de energía convencionales como combustibles fósiles o fuentes de energías eléctrica, generando así consumos monetarios para las familias habitantes de zonas que carecen de recursos monetarios para la adquisición de equipos como electrobombas o motobombas. Ya que este mecanismo se accionará por una fuerza de excitación mínima que pueda ejercer un ser humano sobre un elemento de movimiento constante como lo puede ser un péndulo.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La dificultad que presentan distintas zonas áridas del país de bajos recursos y que carecen de un beneficio vital como lo es el agua potable. Hacen que se planteen posibles soluciones, una de ellas es el desarrollo de un mecanismo que pueda ser utilizado como un elemento para el suministro de agua potable, ya que en muchas de estas zonas residen familias a las que se les dificulta obtener dispositivos existentes en el mercado para que puedan realizar esa labor y a su vez por la omisión que presentan gobiernos encargados de aplicar políticas y presupuestos para plantear proyectos para el suministro de agua potable hace que este mecanismo oscilador de dos etapas aplicado a unas bombas de diafragma pueda ser una solución transitoria para suplir la necesidad de este recurso tan importante para la subsistencia humana.

Es por eso por lo que con este trabajo se busca dar un soporte de modelamiento de tipo matemático y mecánico en la aplicación del diseño conceptual; además se pretende ir de lo particular a la elaboración de un diseño de detalle con el fin de determinar y verificar el funcionamiento de cada elemento que compone al mecanismo. Se debe considerar que durante los estudios que se realizarán al mecanismo se pueden presentar algunas dificultades en el análisis de cada pieza que lo conforman, ya que se podrían presentar planteamientos inconclusos. Esto se daría por que para el desarrollo del mecanismo se contemplan variables principales que rigen el diseño de cada elemento.

### 1.3 ALCANCE

Este mecanismo se realiza con el fin de plantear una solución sobre el suministro de agua potable para algunos sectores que carecen de este servicio, por eso se plantea el análisis, desarrollo y construcción de este dispositivo y la puesta en marcha de él, esta puesta en marcha se ejecutará por medio de la implementación de unas bombas de diafragma que serán las encargadas de suministrar un determinado caudal a una altura ya establecida; para esta aplicación el mecanismo debe contar con las siguientes características, debe ser un mecanismo manual que pueda ser operado con la capacidad física de una sola persona y que genere la fuerza de excitación suficiente para mantener el balanceo constante de un péndulo.

El caudal resultante de la interacción de los elementos que componen el mecanismo será de  $20 \frac{L}{h}$  de agua ya que es lo propuesto por el proyecto, si se logra un caudal fuera de lo establecido se asumirá como una ganancia que podrá ser destacada para el mecanismo y brindada al cliente al momento de utilizar el mecanismo para el suministro de agua potable.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir un mecanismo pendular para el accionamiento manual de un sistema de bombeo de  $20 \frac{L}{h}$  de agua y elevación máxima de un metro.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar elementos mecánicos normalizados presentes en el mecanismo (rodamientos y tornillos).
- Diseñar y construir los elementos mecánicos no normalizados (elemento pendular y viga oscilante).
- Diseñar y construir la estructura del mecanismo pendular.
- Determinar la ventaja mecánica del mecanismo.
- Determinar la energía mecánica generada por el mecanismo en función de la masa del péndulo.
- Determinar la energía mecánica generada por el mecanismo en función de la longitud de la viga oscilante.
- Elaborar la documentación que soporta el diseño y construcción del mecanismo.

## CAPITULO 2

### MECANISMO OSCILANTE DE ACCIONAMIENTO MANUAL

#### 2.1. ESTADO DEL ARTE

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una investigación con respecto a mecanismos pendulares. Los resultados de esa investigación nos permiten postular cuatro posibles alternativas a desarrollar, la principal característica que se tiene en cuenta para el desarrollo del proyecto es que deben ser mecanismos accionados por medio de oscilaciones que ejerza un péndulo y deben permitir la aplicabilidad para suministrar agua potable.

Teniendo en cuenta la funcionalidad a la que estará sometida el dispositivo seleccionado, se procede a evaluar las 4 alternativas estableciendo algunos parámetros de selección, estos son: número de piezas que lo conforman, simplicidad del diseño del mecanismo, funcionalidad y esfuerzo humano que se debe ejercer para el accionamiento.

#### 2.2. ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA EL MECANISMO DE ACCIONAMIENTO MANUAL

Como se mencionó anteriormente la característica principal será que va a hacer un mecanismo el cual será operado por un péndulo físico mediante oscilaciones que este ejerza, es por eso por lo que se presentan las 4 alternativas planteadas.

Figura 1. Energía libre generador pendular<sup>1</sup>

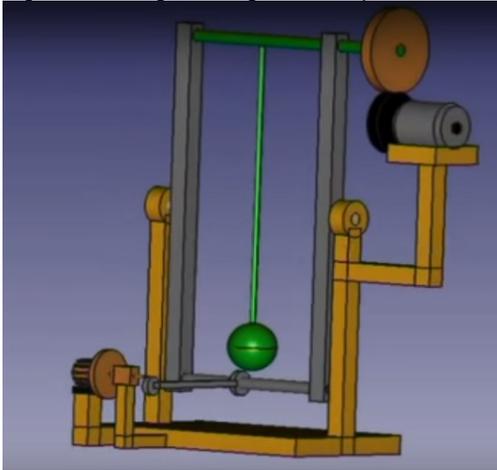


Figura 3. Two Stage Mechanical oscillator<sup>3</sup>

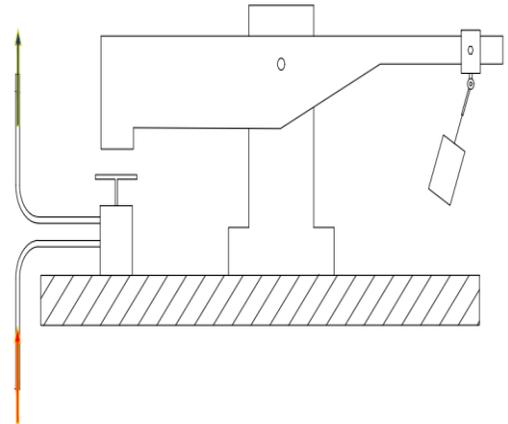


Figura 2. Hand Powered machine.<sup>2</sup>

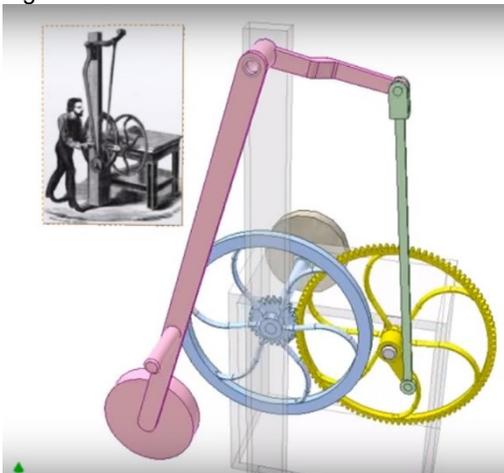
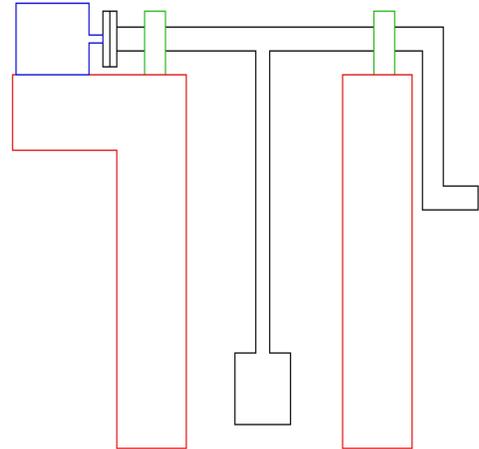


Figura 4. Return To Gravity Assisted Power<sup>4</sup>



En el siguiente esquema se presentan las 4 alternativas postuladas con los parámetros establecidos para luego ser evaluadas por medio de una matriz de decisión que se define en el desarrollo del documento.

<sup>1</sup> Energía alternativa, recuperado, <https://www.youtube.com/watch?v=eWkZqMQHoJs&t=33s>

<sup>2</sup> Hand powered machine, recuperado, <https://www.youtube.com/watch?v=w88ODRI2We8>

<sup>3</sup> TWO STAGE OSCILLATOR MECHANICAL – PENDULUM- LEVER SYSTEM, recuperado, [https://www.youtube.com/watch?v=5ho0\\_obiakM&t=661s](https://www.youtube.com/watch?v=5ho0_obiakM&t=661s)

<sup>4</sup> Gravitational energy corporation, recuperado, <https://www.youtube.com/watch?v=-1n-C5o8fz0>

Tabla 1. Alternativas planteadas para el mecanismo oscilante.

Referencia	Número de piezas	Simplicidad de desarrollo	Descripción de funcionamiento
Energía libre generador pendular	7	El tamaño que infiere la estructura del mecanismo 1. Indica que se debe tener en cuenta varios parámetros de medidas para que la estructura y el péndulo logren una correcta sincronización para su funcionamiento derive en la generación de energía por medio de su motor.	Se procede a excitar un péndulo constantemente para vencer la inercia que presenta la FEM del motor eléctrico instalado a su salida, aprovechando así la energía generada para suministrar algún tipo de energía eléctrica.
Hand powered machine	10	El desarrollo del péndulo de excitación junto con sus ruedas dentadas y la estructura requieren de bastante material que elevaría los gastos de desarrollo del mecanismo.	Se excita un péndulo sujeto a un gran eslabón que ayuda a accionar 2 ruedas dentadas las cuales generan la energía suficiente para accionar una hoja de sierra ubicada en el extremo del mecanismo y sea utilizado para el corte de madera.
Two stage mechanical oscillator	3	El desarrollo de un mecanismo con tan solo 3 piezas que no infieren en bastante presupuesto, además de la simplicidad de las piezas para el desarrollo hace que sea un mecanismo favorable para desarrollar y con modificaciones simples de hacer para la aplicación que se requiere desarrollar.	El péndulo de masa variable sujeto a una palanca produce un movimiento lineal alternativo capaz de accionar dos linternas para generar luz lumínica con tan solo la energía suministrada por el dedo de su operador.
Return to gravity assisted power	6	Por su gran tamaño y cantidad de piezas a realizar hace que sea un mecanismo complejo de construir aplicar al proyecto.	Se suministra una energía por medio de un cilindro neumático la cual hace posible la oscilación de un péndulo de gran tamaño y que a su vez ayuda a regular las oscilaciones que genere el péndulo.

### 2.3. MATRIZ DE DECISIÓN

Al presentar las alternativas planteadas para la aplicación, se procede a elaborar una matriz de decisión tabla 2. Que conduce a la elección final utilizando cuatro nuevos criterios que son fundamentales para la construcción del mecanismo (1: Costo; 2: Impacto visual; 3: facilidad de producción; 4: facilidad de operación) para elegir entre los cuatro modelos diferentes. Hemos atribuido un valor de 0 y 10 a cada a parámetro de la tabla, ligado a su correspondiente influencia (0: desfavorable; 10: favorable). Cada alternativa fue evaluada de la siguiente manera.

Tabla 2. Matriz de decisión

Aspecto para evaluar		costo	Impacto visual	Facilidad de producción	Facilidad de operación	RANGO TOTAL
Factor de ponderación		0,20	0,25	0,30	0,25	10
DISEÑO 1	Evaluación	4	4	3	4	3,7
	Rango parcial	0,8	1	0,9	1	
DISEÑO 2	Evaluación	3	8	5	7	4,85
	Rango parcial	0,6	1	1,5	1,75	
DISEÑO 3	Evaluación	7	6	9	9	7,85
	Rango parcial	1,4	1,5	2,7	2,25	
DISEÑO 4	Evaluación	2	7	2	8	4,74
	Rango parcial	0,4	1,74	0,6	2	

Teniendo en cuenta los resultados de la matriz se ha decidido seleccionar el diseño 3, porque al final es la alternativa que presenta un rango total de evaluación más alto como se puede apreciar en la tabla 2. Aquel diseño corresponde al mecanismo referenciado como TWO STAGE MECHANICAL OSCILLATOR, ya que por su simplicidad para su desarrollo aplica notablemente para su desarrollo y suministrar el caudal asignado para el proyecto.

A continuación, se procede a realizar una sinopsis del mecanismo seleccionado describiendo en forma sencilla su funcionamiento con base a la documentación encontrada en la página web<sup>5</sup> del diseñador donde se profundiza un poco más de su invención.

<sup>5</sup>Website Veljko Milkovic <https://www.velikomilkovic.com/index.htm>

## 2.4. SINOPSIS DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS

El Two Stage mechanical oscillator o mecanismo oscilante de dos etapas es un dispositivo diseñado para utilizarse en diversas aplicaciones, una de ellas es la generación de energía mecánica. Su funcionamiento se basa en estimular un péndulo para ejercer un movimiento oscilatorio que será el encargado de vencer la inercia que presenta en una viga oscilante. El movimiento que genera la oscilación del péndulo hacia la viga será un movimiento lineal alternativo que genera una energía cinética la cual podrá ser utilizada por dispositivos diseñados para la generación de energía o suministro de caudales.

Los principales componentes para el funcionamiento del mecanismo de 2 etapas son un péndulo, una viga oscilante, contrapesos y un punto pivote o eje de oscilación los cuales se presenta en la tabla 3. Estos componentes tendrán la posibilidad variar algunos puntos de referencia, por ejemplo, distancia del péndulo al punto pivote principal, altura del péndulo, entre otros para conseguir un trabajo útil y eficiente del mecanismo.

Figura 5. Mecanismo oscilante de 2 etapas por autores

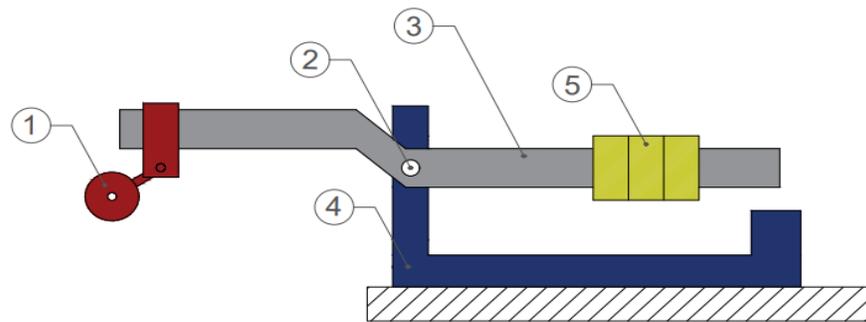


Tabla 3. Partes del mecanismo oscilante

ITEM	ELEMENTO
1	Péndulo
2	Punto de pivote principal
3	Viga oscilante
4	Base de palanca
5	Contrapeso

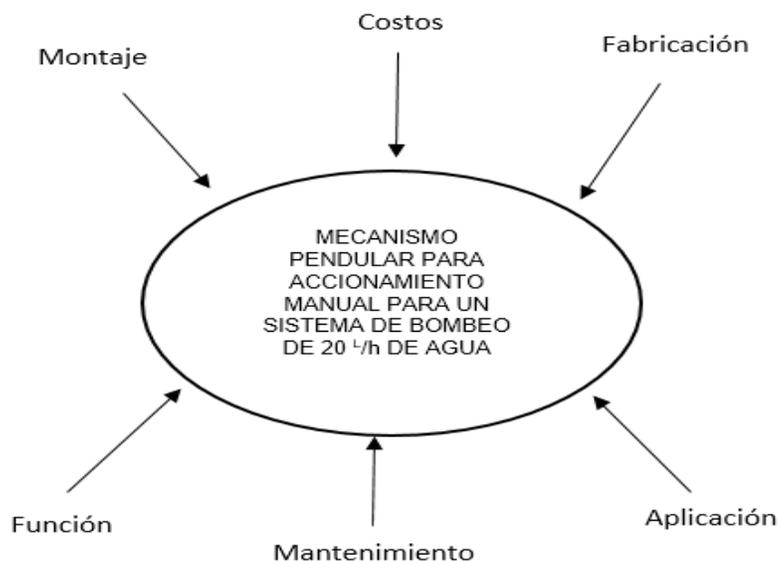
Para la realización de este proyecto se aplicará la metodología de ingeniería inversa la cual consiste en los siguientes pasos:

1. Recopilación de la información en páginas web, artículos y videos descriptivos del proyecto.

2. Análisis del diseño conceptual del mecanismo oscilador de dos etapas.
3. Dimensionamiento y modelación del mecanismo y las partes que lo conforman.
4. Desarrollo del prototipo.
5. Evaluación del diseño del prototipo.

En la figura 6. Se establecen algunos criterios de evaluación que se emplearán en el estudio del mecanismo de accionamiento manual.

Figura 6. Criterios de evaluación diseñado por autores



## 2.5. REGISTRO DE LA PATENTE

Después de realizar la indagación correspondiente para el proyecto, se encuentra una serie de artículos publicados por personas externas al desarrollo del mecanismo que aportan conceptos académicos, pero cabe resaltar que se encuentra con la patente registrada por el autor Veljko Milkovic el cual se adjuntara en los anexos que complementaran al documento.

Esta información se utiliza como punto de partida para el análisis, desarrollo del proyecto y para realizar unas conclusiones adecuadas.

## 2.6. MARCO TEÓRICO

Se postula inicialmente que el mecanismo puede desarrollar un trabajo mecánico eficiente y que la fuerza de excitación que necesita es mínima ya que con las oscilaciones que genera el péndulo logra vencer la inercia que ejerce la viga oscilante y entrega una fuerza mucho mayor en su salida, la cual es utilizada para aplicar en dispositivos con el fin de generar energía eléctrica o accionar dispositivos que generen suministros de caudales.

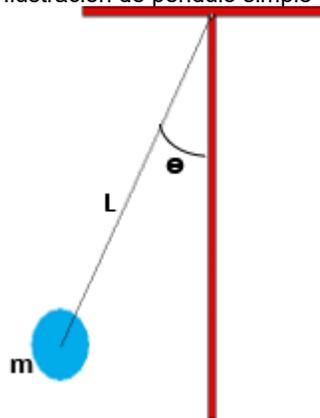
### 2.6.1. Péndulo

El péndulo es un elemento que puede presentarse de distintas maneras, puede estar atado a una cuerda o barra de masa despreciable que al momento de desplazarlo a un determinado ángulo de su posición de equilibrio se obtiene la oscilación de determinado elemento teniendo así un comportamiento ideal y describiendo un movimiento armónico simple. Existen distintos tipos de péndulos los cuales son: péndulo simple, péndulo físico o compuesto y péndulo de torsión, su descripción se presenta a continuación.

#### 2.6.1.1. Péndulo simple

Es un sistema mecánico que se mueve con movimiento oscilatorio, se compone de una masa puntal  $m$  y una cuerda de longitud  $L$  la cual se encuentra en un extremo sujeta a un punto fijo.

Figura 7. Ilustración de péndulo simple por autores



Ecuaciones que describen al péndulo simple:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \text{ Periodo para un péndulo simple}$$

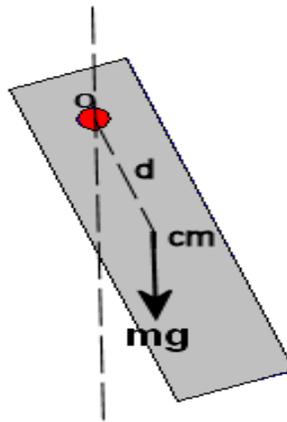
$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \text{Frecuencia angular para un péndulo simple}$$

$$f = 2\pi \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \text{Frecuencia para un péndulo simple}$$

### 2.6.1.2. Péndulo físico o compuesto

El péndulo físico es una generalización del péndulo simple y es un cuerpo rígido instalado de manera que pueda oscilar en un plano vertical en torno de un eje fijo que pase por el cuerpo.

Figura 8. Ilustración de péndulo físico o compuesto



Donde,

O: Eje fijo

d: Distancia del eje fijo al centro de masa

cm: Centro de masa

w: masa del cuerpo

Ecuaciones que describen al péndulo físico son:

Para este análisis de este tipo de péndulo, hay que tener en cuenta que se debe calcular el momento de inercia para el tipo de cuerpo de rígido que se quiere analizar.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}} \quad \text{Periodo para un péndulo físico}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{mgd}{I}} \quad \text{Frecuencia angular para un péndulo físico}$$

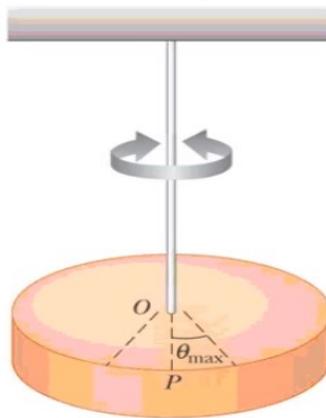
$$f = 2\pi \sqrt{\frac{mgd}{I}} \text{ Frecuencia para un péndulo físico}$$

$$I = (mgd) \left( \frac{T^2}{(2\pi)^2} \right) \text{ Momento de inercia para péndulo físico}$$

### 2.6.1.3. Péndulo de Torsión

Consiste en un cuerpo rígido suspendido por un alambre o fibra que pasa por el centro de masas del cuerpo que gira.

Figura 9. Ilustración de péndulo de torsión



Ecuaciones que describen al péndulo de torsión son:

Para estas ecuaciones se agrega un constante de torsión (K) del alambre que sostiene la masa y se mantiene la constante de momento de inercia, esto depende del elemento que se va a sujetar al alambre, siendo así se presentan sus ecuaciones.

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{I}} \text{ Frecuencia angular para un péndulo de torsión}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}} \text{ Periodo para un péndulo de torsión}$$

$$f = 2\pi \sqrt{\frac{K}{I}} \text{ Frecuencia para un péndulo de torsión}$$

### 2.6.2. Mecanismos de transmisión lineal

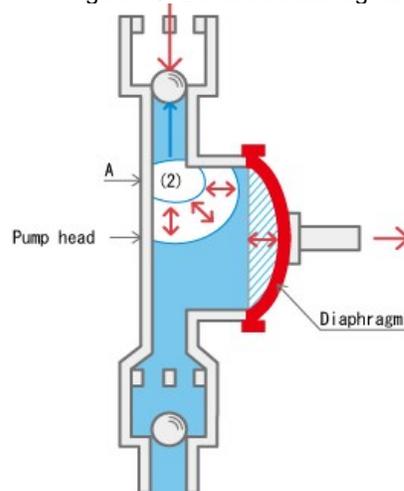
Son mecanismos que transmiten el movimiento y la fuerza de manera lineal de un punto a otro. La aplicación de estos mecanismos reside en la transformación de fuerzas, de manera que la fuerza necesaria para realizar una determinada acción sea menor. En este tipo de mecanismos se destacan la palanca y la polea.

### 2.6.3. Bomba de diafragma

Una bomba de diafragma es una bomba de potencia que desplaza un volumen predeterminado de líquido en un tiempo especificado. Su propulsión suele ser externa de velocidad fija o variable.

La bomba de diafragma está constituida de un diafragma flexible, en donde uno de sus lados está en contacto directo con el líquido de proceso; se puede utilizar uno o más diafragmas donde pueden ser planos o configurados y su impulsión puede ser hidráulica o mecánica. Estos diafragmas lo que hacen es desplazar los líquidos por medio de sus membranas, cuando estas membranas se ponen en movimiento generan una succión, seguido de una impulsión de los líquidos a través de sus válvulas, estas válvulas de distribución cambian de sentido para entregar caudales definidos. Ambos diafragmas y el eje efectúan un recorrido inverso al anterior, produciendo el vaciamiento de la cámara de líquido izquierda y generando vacío en la derecha, este ciclo se repite indefinidamente mientras esté conectado a un suministro fijo que active al eje y a los diafragmas.

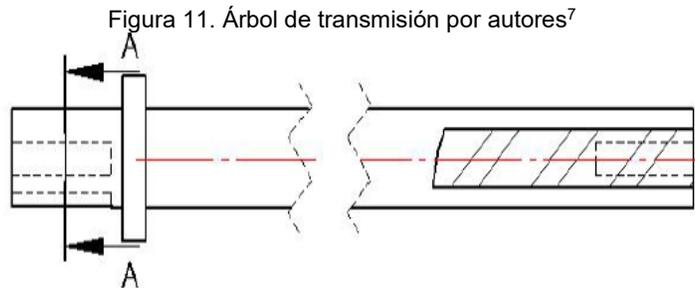
Figura 10. Bomba de diafragma<sup>6</sup>



<sup>6</sup> WATSON MARLOW, Fluid technology group, recuperado, <https://www.watson-marlow.com/es-es/support/against-the-competition/outperform-diaphragm/>

#### 2.6.4. Árbol de transmisión

Un árbol de transmisión es un eje generalmente de sección circular que transmite un esfuerzo de torsión debido a la aplicación de una o varias fuerzas.



Este elemento constantemente es primordial en la construcción de máquinas ya que son los encargados de generar movimientos entre piezas móviles y su diseño está sujeto a la aplicabilidad a la que estará sometida la máquina al cual este hace parte.

#### 2.7. METODOLOGÍA DISEÑO MECÁNICO E INGENIERÍA INVERSA

Es una metodología que estudia productos o diseños existentes para desarrollar mejoras en ellos. Los conceptos básicos de la ingeniería inversa son:

- Los requisitos es una condición que debe cumplir un elemento, esta debe ser de carácter afirmativo o negativo.
- Los parámetros de diseño son características medibles, generalmente son los valores esperados de funcionamientos.
- Los criterios de evaluación son características cualitativas deseables en un diseño que ayudan a decidir qué opción es óptima.

Por definición la ingeniería inversa es “El análisis de un sistema para identificar sus componentes actuales y las dependencias que existen entre ellos, para extraer y crear abstracciones de dichos sistemas e información de su diseño” [1]

La metodología que se empleo tiene los siguientes pasos.

- Se obtuvo la mayor cantidad de información (Dimensional conceptual) provenientes de la imagen y video de la máquina que ayudo a identificar y redimensionar cada uno de sus componentes.

<sup>7</sup> Mecanismos y sistemas mecánicos, recuperado, <https://tecnovehio.wordpress.com/mecanismos-de-transmision-del-movimiento/mecanismos-de-transmision-circular/arboles-y-ejes/>

- Análisis de la información y conceptualización del proceso.
- Se realizó un prototipo del mecanismo utilizando programas de modelación 3D-Cad y se simuló el movimiento del mecanismo.
- Se analizó el comportamiento y sus dimensiones.
- Se planteó mejoras en el diseño y se recalcularon los datos mecánicos aplicable a cada componente.
- Se fabricó cada uno de los componentes.
- En esta etapa se ensamblaron los componentes y se evaluó la funcionalidad del diseño en una fase de vacío, (Sin la instalación de las bombas) para luego determinar posibles ajustes que requiera el mecanismo en general.
- Pruebas con carga.
- Conclusiones.

## CAPITULO 3

### MECANISMO PENDULAR DE DOS ETAPAS PARA UN SISTEMA DE BOMBEO DE $20 \frac{L}{h}$ DE AGUA

En este capítulo se presenta un bosquejo preliminar del mecanismo y se realiza un diagrama conceptual del proceso constructivo del mecanismo, este proceso fue fundamental ya que ayudo a definir cuál era el punto de partida para obtener el mecanismo pendular.

Figura 12. Esquema inicial para el diseño del mecanismo por autores

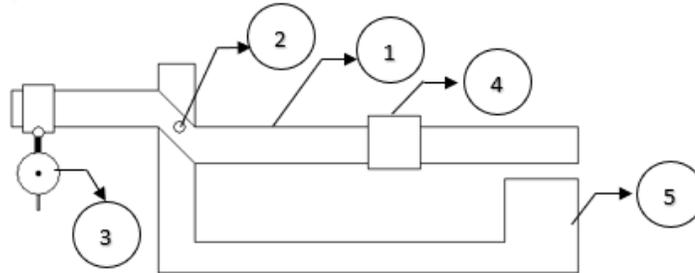


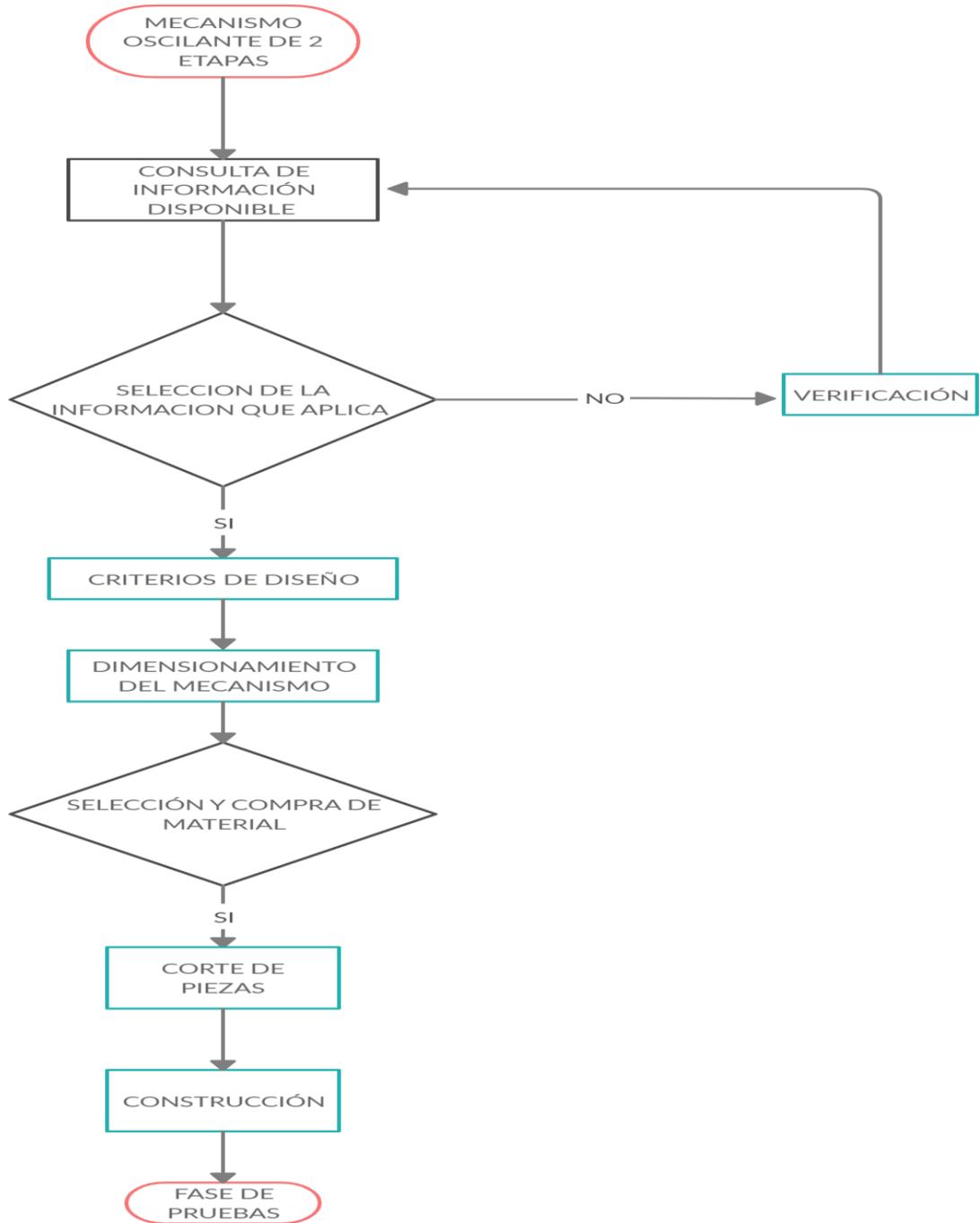
Tabla 4. tabla descriptiva del mecanismo preliminar

ITEM	ELEMENTO
1	Viga oscilante
2	Punto pivote principal
3	Péndulo
4	Contrapeso
5	Base para la viga oscilante

#### 3.1. ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE PROCESO

Se presenta a continuación el proceso que se desarrolló para la construcción del mecanismo, se redacta un paso a paso desde el inicio que fue la consulta de la información pertinente para la construcción hasta la fase de pruebas, como se puede observar es un diagrama simplificado de los pasos que se tuvieron en cuenta y que a medida que se fue desarrollando el mecanismo se aplicaban para tener un control del proceso que se tenían que aplicar para llegar al resultado final.

Figura 13. Diagrama de bloques conceptualización del proceso



## 3.2. CRITERIOS DE DISEÑO PARA LOS COMPONENTES DEL MECANISMO

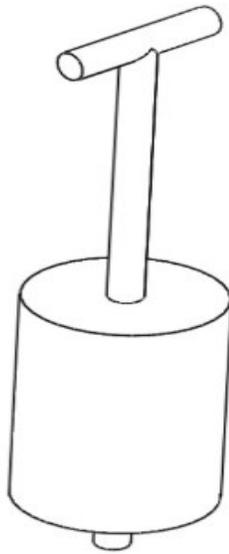
Para el proceso de construcción del mecanismo oscilante de 2 etapas, se tiene en cuenta los criterios de diseño que sugiere el autor, además se verifica la documentación y registró videográfico disponible en su página web<sup>8</sup> y en su canal de YouTube para concretar los conceptos de diseño y construcción.

A continuación, se realiza una descripción sobre de cada elemento del mecanismo con respecto a su funcionamiento y se postulan dibujos conceptuales que serán sometidos a modificaciones en el transcurso del desarrollo del mecanismo, esto para obtener un diseño final y funcional.

### 3.2.1. Péndulo

Este elemento se encuentra sujeto al extremo corto de la viga y tendrá un punto pivote el cual generará movimientos oscilatorios gracias a la fuerza de excitación que se le induce. A su vez estos movimientos lograrán generar que la viga oscilante se accione y realice su movimiento oscilatorio. Este péndulo tendrá masa y altura variable esto para pruebas que se realizaran al mecanismo con respecto a la aplicación a la que se someterá.

Figura 14. Imagen del Péndulo por autores



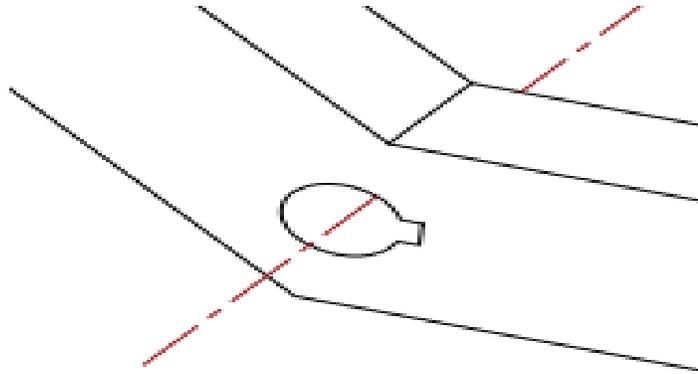
---

<sup>8</sup> <https://www.veljkomilkovic.com/Oscilacije.htm>

### 3.2.2. Punto de pivote principal

Este será primordial para el funcionamiento del mecanismo, ya que será ahí donde la viga oscilante ejercerá su movimiento alternativo que producirá las oscilaciones del péndulo. Este punto será constituido por un eje y chumaceras adecuados para ejercer la aplicación a la que será sometido el mecanismo.

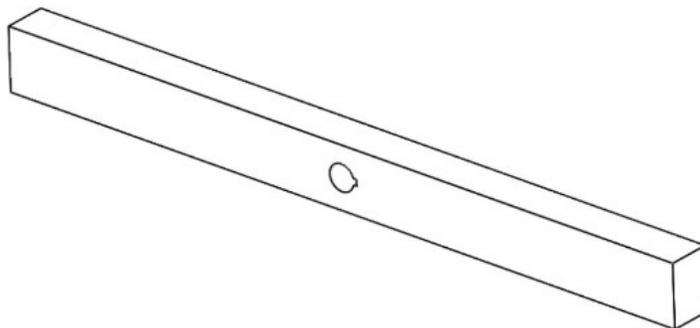
Figura 15. Imagen del pivote principal por autores



### 3.2.3. Viga oscilante

Este elemento metálico será macizo obteniendo un peso considerable para la aplicación que tiene que desarrollar, además será soporte de algunos contrapesos que se adicionaran para obtener más peso y compensar las oscilaciones ejercidas por el péndulo de masa variable. Se parte inicialmente de una viga con un diseño básico, pero aclarando que será sometida a modificaciones en transcurso del desarrollo del mecanismo.

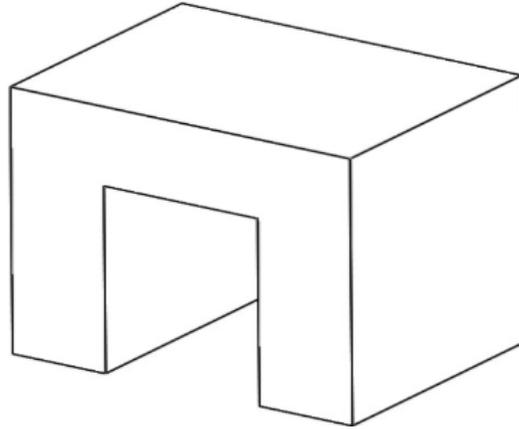
Figura 16. Imagen de la viga por autores



### 3.2.4. Contrapesos

Serán los encargados de suministrar peso a la viga oscilante y minimizar la fuerza que produce las oscilaciones del péndulo, también podrán aumentar en cierta cantidad la fuerza de salida que genera la viga. Se parte de un diseño inicial en forma de U para que se puedan desplazar por medio de la viga y tomar registro donde se compensa y ejerce el mayor trabajo el mecanismo.

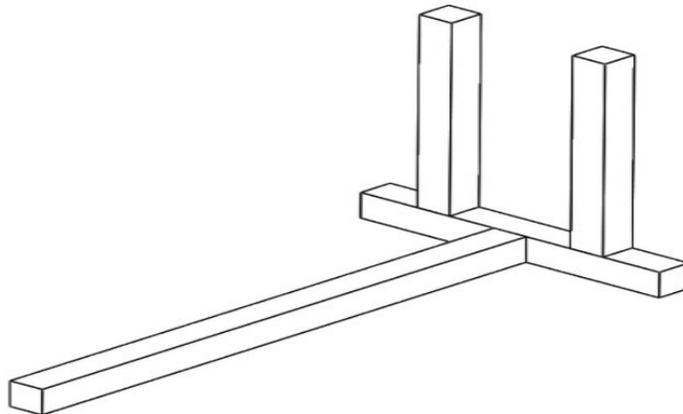
Figura 17. Imagen del contrapeso por autores



### 3.2.5. Base principal

Será quien soportará la viga junto con su punto pivote, a su vez tendrá la capacidad de absorber el martilleo que produce el movimiento alternativo de la viga oscilante y será una base fija.

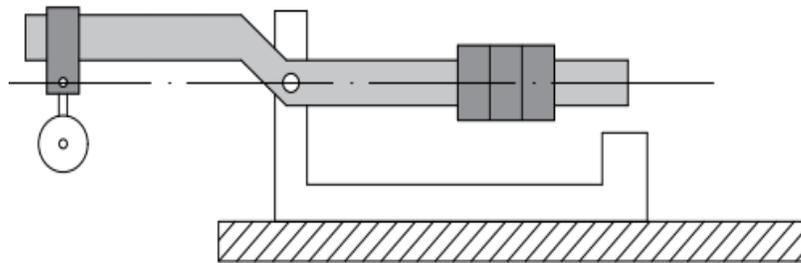
Figura 18. Imagen de la base por autores



### 3.3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO OSCILANTE

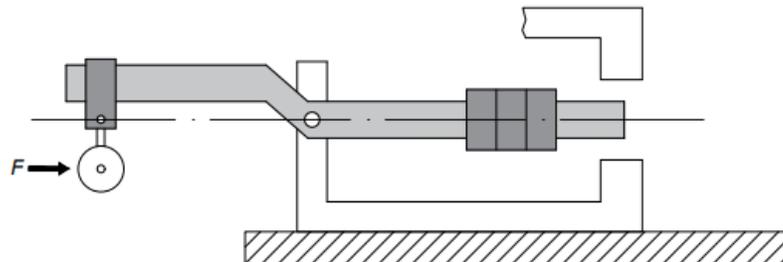
Para el desarrollo del mecanismo oscilante de 2 etapas se toma la decisión de reproducir este modelo en un modelo físico de una escala 1 a 1 con respecto a la del video, con ánimo de verificar si los comportamientos que se observan en el video van a hacer los mismos que vamos a observar en un modelo real. Por lo tanto, las dimensiones de elementos como las barras y soportes se justifican desde el punto de vista que se están tomando directamente del video.

Figura 19. Mecanismo oscilante de 2 etapas por autores



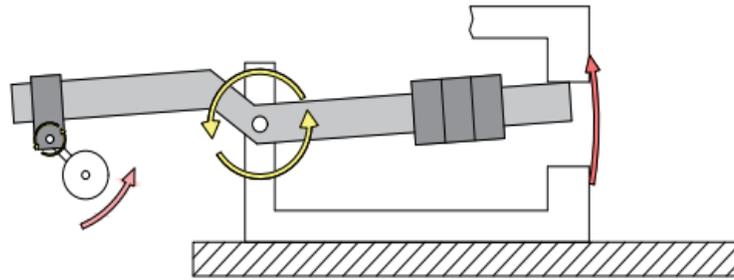
El principio de funcionamiento del mecanismo oscilante de 2 etapas es simple. Inicialmente se le suministra al péndulo una fuerza de excitación muy baja para que inicie su iteración figura 20.

Figura 20. Fuerza de excitación inicial para el péndulo por autores



Ya cuando el péndulo inicia su oscilación la viga se ve forzada a elevarse junto con los contrapesos que tiene ubicado en su parte derecha de la figura 21, para luego tener una caída libre y así producir un martilleo sobre una superficie.

Figura 21. Péndulo en recorrido y viga oscilante en punto superior por autores



Las oscilaciones del péndulo deben ser periódicas para tener un movimiento lineal alternativo de la viga oscilante pero también es importante que la base del mecanismo sea estable durante el trabajo que ejerce el oscilador de 2 etapas de la figura 22, esto para que la energía de martilleo que genera el impulso de la viga oscilante no se pierda innecesariamente.

Figura 22. Péndulo y viga en recorrido por autores

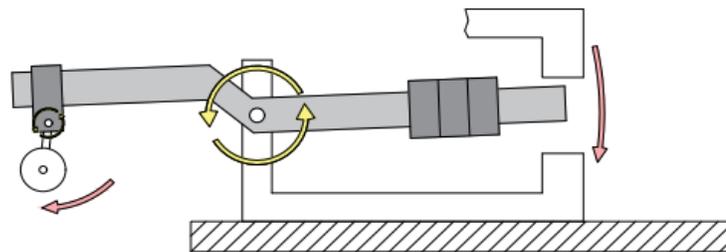
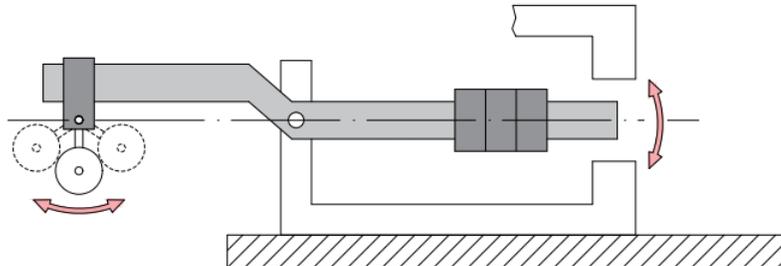
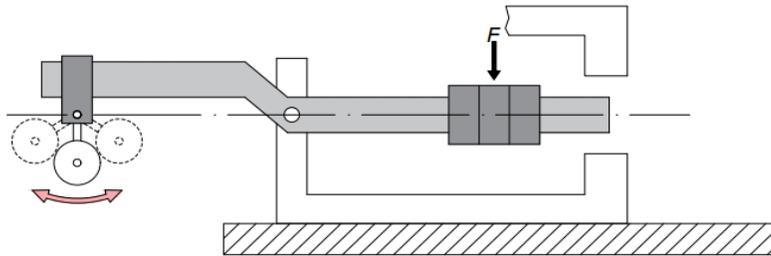


Figura 23. Oscilación intermedia del péndulo y viga por autores



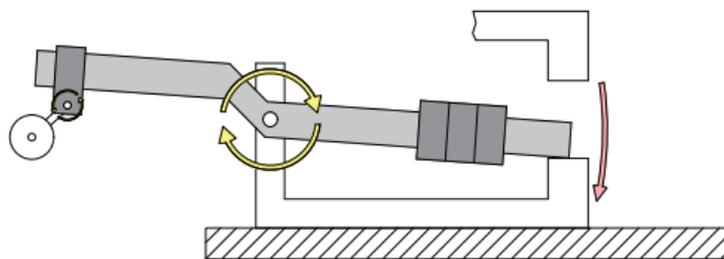
Es interesante resaltar que, si la viga oscilante se bloquea por una fuerza externa, causando que ella no oscile se podrá observar que el péndulo seguirá con sus oscilaciones sin ninguna restricción de la figura 24. Caso contrario sucederá si se bloquea el péndulo y se inicia oscilar la palanca, se podrá observar que la palanca no podrá tener un movimiento lineal alternativo continuo ya que esto lo hace dependiente de las oscilaciones del péndulo, por eso es importante resaltar que, si el péndulo oscila, esas oscilaciones forzarán a la viga oscilar.

Figura 24. Viga oscilante bloqueada por fuerza exterior con péndulo oscilando por autores



En el lado izquierdo de la viga es donde se sitúa el péndulo para que ejerza las oscilaciones y así generar un movimiento lineal de la viga. El resultado de esa interacción es un impacto que produce la viga oscilante y sucede cuando el peso de la barra desciende y el péndulo se encuentra en su punto superior e inferior de oscilación.

Figura 25. Péndulo y viga en punto inferior máximo por autores



Como se mencionaba hace unos instantes la energía que se le suministra al péndulo suele ser mínima y suficiente para obtener oscilaciones más largas y continuas, pero la inercia y la gravedad mantiene el movimiento a través de toda la longitud de la oscilación, este sistema puede ser una analogía con sistemas de transmisión que en la actualidad existen como engranes, poleas etc.

Para el mecanismo la fuerza de impacto que tendrá la viga oscilante será el peso que ejerce la barra y los contrapesos, los cuales tendrán una masa específica, esta fuerza que se está generando será utilizada para accionar dos bombas de diafragma que irán en el lado derecho de la viga y así suministrar el caudal propuesto de  $20 \frac{L}{h}$  a una altura de un metro.

#### 3.4. DIMENSIONAMIENTO DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS

Para determinar el tamaño del mecanismo, se trabajó con base al video ([https://www.youtube.com/watch?v=5ho0\\_obiakM&t=682s](https://www.youtube.com/watch?v=5ho0_obiakM&t=682s)) que se encuentra en la

plataforma de YouTube en el canal de Veljko Milkovic el autor del mecanismo original.

Para el dimensionamiento se decide determinar un parámetro fundamental para establecer las medidas aproximadas que podrían presentar cada elemento que componen al mecanismo oscilante de dos etapas. Dicho parámetro fue el de relacionar cada elemento con algunas partes del cuerpo del autor y así establecer las cotas aproximadas que podrían presentar cada elemento.

Se justifica el parámetro anteriormente definido con la relación de la altura del autor con la altura de uno de los integrantes del proyecto, esto para fundamentar o establecer las cotas aproximadas que pueden presentar cada elemento del mecanismo.

Para este proceso se procedió a verificar en varias oportunidades el video mencionado y encontrar el tiempo de reproducción exacto donde se pueda registrar una captura de pantalla y nos permita observar el momento exacto donde el elemento logre relacionarse con alguna parte del cuerpo del autor y así relacionarlo con la longitud que presente las extremidades de uno de los autores para establecer las cotas aproximadas, cabe resaltar que este proceso para establecer el dimensionamiento del mecanismo no puede ser certero, ya que se puede presentar incongruencias al momento de definir las cotas exactas de cada elemento y solo se procura obtener un fundamento para obtener medidas aproximadas para la construcción del mecanismo.

### 3.5. PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO PARA COMPONENTES DEL MECANISMO OSCILANTE

#### 3.5.1. Tamaño de la mesa que soportara el mecanismo

Como se puede observar en las siguientes imágenes se procura realizar una aproximación en varios planos para determinar el tamaño de la mesa que será el soporte del oscilador de 2 etapas.

Figura 26. Altura de mesa soporte imagen tomada de video de YouTube



Figura 27. Ancho de mesa soporte imagen tomada de video de YouTube



Figura 28. Longitud de la mesa imagen tomada de video de YouTube



Se procura definir medidas aproximadas de construcción de la mesa como son altura, longitud y anchura ya que los detalles de diseño se irán determinando a medida que se realice su construcción como son resistencia, maniobrabilidad y aspecto físico.

### 3.5.2. Tamaño de la viga oscilante

Para definir las cotas aproximadas que tendrá este elemento, se realiza el mismo proceso que se hizo para la mesa de soporte, se procura tomar capturas de pantalla que permitan relacionar la viga oscilante con alguna parte del cuerpo del autor y como se puede observar se registraron tres capturas de pantalla al video de la presentación del mecanismo, donde se procura relacionar extremidades del cuerpo del autor con algunos de los parámetros que se deben tener en cuenta para determinar aproximadamente sus medidas con las partes del cuerpo de uno de los autores para definir su tamaño.

Para la definición de las medidas de este elemento, se determina dividir la viga en dos partes, lado izquierdo y lado derecho, ya que nos hace más sencillo llegar a concluir unas cotas aproximadas relacionando cada extremidad del autor con el elemento.

- Lado izquierdo.

Como se observa se logra registrar una captura de pantalla donde se logra relacionar el brazo derecho con el extremo corto de la viga oscilante, facilitándonos así, una sencilla relación con el cuerpo del autor y definir una cota.

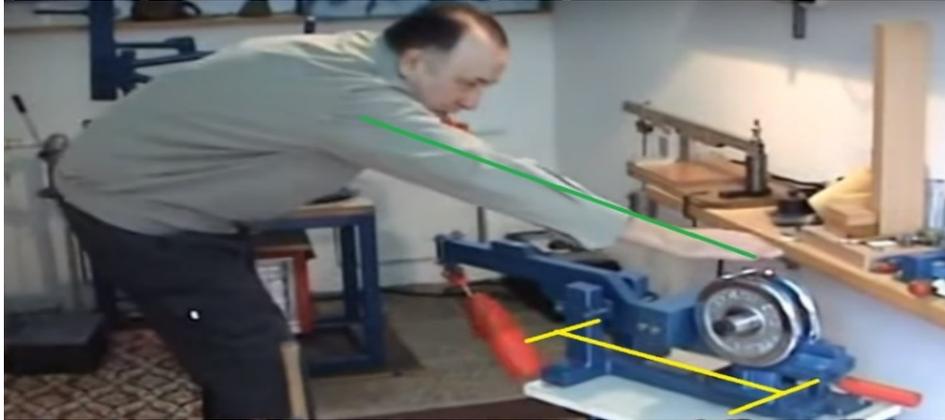
Figura 29. Longitud del extremo corto de la viga oscilante imagen tomada de video de YouTube



- Lado derecho

Se relaciona este elemento con la extremidad superior derecha ya que se logra registrar una similitud del elemento contra la extremidad.

Figura 30. Longitud de extremo extenso de la viga imagen tomada de video de YouTube



Cabe aclarar que para el diseño y construcción total de este elemento que conformara al mecanismo, se debe tener en cuenta algunas características importantes que no se deben despreciar. Una característica que resalta el autor es que para obtener un buen desempeño del mecanismo es fundamental ubicar los puntos de pivotes paralelamente ya que esto permitirá que haya un mejor balance entre las cargas a las que se someta al mecanismo.

Otra característica que se debe tener en cuenta es que la fuerza que va a entregar la viga oscilante no será una fuerza constante, ya que ese valor va a variar de valores mínimos a unos muy altos y esto se debe a la masa que se le vaya a adaptar a la viga, además como parámetro adicional esta masa debe actuar como un regulador de la fuerza variable con la que tira de un extremo de la viga el péndulo.

### 3.5.3. Tamaño para la base de la viga oscilante

Se procede a determinar las cotas que tendrá el soporte de la viga, ya que en el irán sujetas las bombas de diafragma que se van a utilizar para la aplicación y este estará sujeto a la mesa que inicialmente se estableció como soporte general del mecanismo. Esta tarea suele ser algo sencilla ya que al ya tener definidas unas cotas de el extremo largo de la viga oscilante se puede determinar la longitud que tendrá esta base, solo se procede a determinar la altura de los peldaños que tendrán suspendida a la viga oscilante.

Figura 31. Longitud del soporte de la viga imagen tomada de video de YouTube



Para resaltar con respecto a este soporte, este también sujetará el punto pivote que tendrá la viga oscilante y se será conformado por un eje, unas chumaceras de brida para 4 tornillos y platinas que servirán para sujetar a la viga al soporte que se reseña.

Figura 32. Altura de los travesaños de la base para la viga oscilante, imagen tomada de video de YouTube



La distancia que habrá entre los travesaños será definida cuando se determine la sección indicada para la viga oscilante ya que esta distancia no podrá ser tan extensa, puesto que durante la operación puede ocasionar que la viga oscilante tenga movimientos desbalanceados por las vibraciones que presente al momento de realizar el impulso hacia las bombas ocasionando posibles problemas de diseño.

El tipo de material que conformara este elemento se ira definiendo en el transcurso del diseño ya que hay que tener en cuenta que se debe tener presente posibles criterios de construcción que este elemento requiera para que pueda ejercer su funcionalidad correctamente durante la operabilidad del mecanismo.

#### 3.5.4. Tamaño de los contrapesos para la viga oscilante

Para determinar el tamaño se toma una captura donde se relaciona su mano derecha interactuando con ese elemento. De este se decide respetar la idea de diseño original del autor, pero se hace la salvedad que se le va a realizar una modificación para nuestro mecanismo, ya que en una de sus caras laterales se le realizaran orificios para insertar tornillos que permitan sujetar el contrapeso contra la viga oscilante, permitiendo que cuando esta inicie su oscilación el contrapeso permanezca fijo.

Figura 33. Altura del contrapeso imagen tomada de video de YouTube



#### 3.5.5. Tamaño del péndulo

Como se observa en el video de presentación, se observa que el autor recurre a utilizar un péndulo de masa y altura variable, idea que se respeta para la implementación del proyecto solo que se buscara definir un diseño especial que permita en un futuro adaptar algún dispositivo electroneumático para su accionamiento.

Los parámetros que se desarrollan en este capítulo se profundizan en el próximo capítulo donde se realiza una descripción técnica de cada componente y los criterios de diseño que se tienen en cuenta para la construcción y los cálculos que definirán el diseño del mecanismo, además se define los demás componentes que son esenciales para el mecanismo y que necesitan de criterios de diseños más técnicos.

## CAPITULO 4

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS

En este capítulo se sustentan criterios de diseño, cálculos y elaboración del mecanismo oscilante de dos etapas. A su vez se presentará modelaciones de algunas piezas construidas por medio de la plataforma de diseño SolidWorks donde se podrán observar pruebas de resistencia y deformación a las que estarán sometidas las piezas, además se determinan los planos que describen las cotas de diseño, cabe aclarar que las fórmulas que se utilizarán para los cálculos de diseño serán tomadas del libro de diseño de máquinas 4 edición de Mott.

#### 4.1. DISEÑO DE LA VIGA OSCILANTE

Para el proceso de diseño y construcción de la viga oscilante se tendrán en cuenta algunos criterios de diseño que se aplicarán en el desarrollo de este elemento.

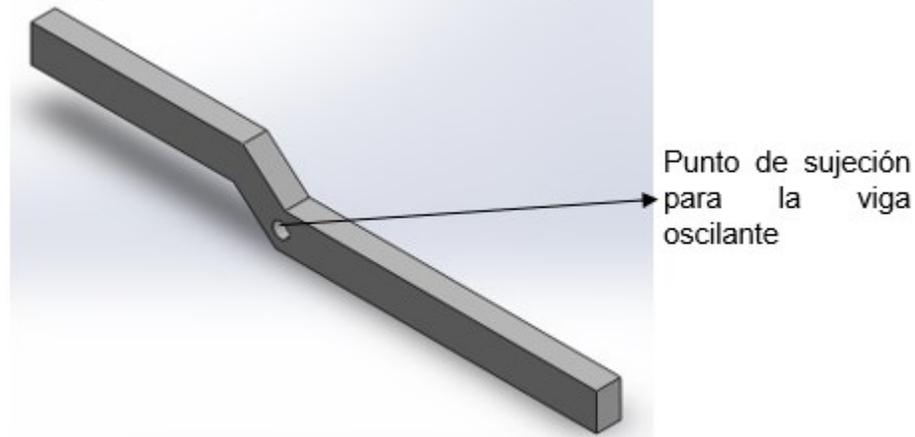
- Debe ser un elemento con un peso considerable ya que debe superar la resistencia mecánica que ejerce los elementos que irán instalados en ella y los que tendrá que accionar.
- Debe haber unas diferencias de alturas en la viga ya que la oscilación que produce el péndulo generara una fuerza variable que tendrá que transmitir y regular la viga hacia los elementos que se le sean instalados.
- El punto de pivote que se va a adaptar a la viga oscilante debe coincidir con la altura del punto de pivote del péndulo, esto para obtener un mejor trabajo mecánico por parte del mecanismo.

A continuación, se realiza cálculos de la sección transversal y la deformación máxima que tendrá la viga oscilante, ya que esto definirá el perfil que podrá ser utilizado para su construcción.

#### 4.1.1. Diseño preliminar

El diseño de este elemento del mecanismo estará pensado para estar anclado a un pasador que ira sujetó por medio de chumaceras de brida las cuales irán ancladas a una base que soportara la viga oscilante. Teniendo en cuenta los criterios anteriormente mencionados y un diseño preliminar definido, se elabora un diseño conceptual, que se puede observar en la siguiente figura.

Figura 34. Vista conceptual del diseño de la viga oscilante en SolidWorks



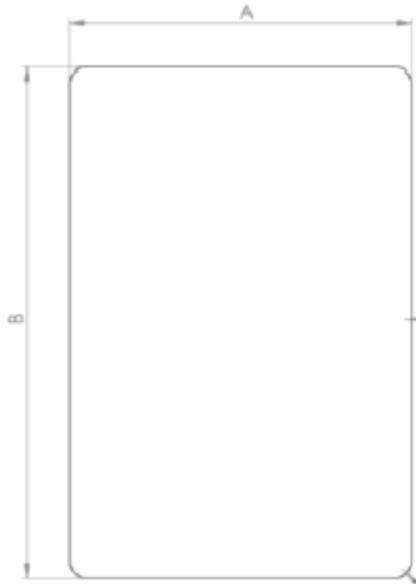
Debido a que la viga estará suspendida y accionara unas bombas de diafragma, se ha seleccionado el acero AISI 1020 laminado en caliente, ya que es un acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad. De baja dureza para usos convencionales de baja exigencia cuando se requiere una superficie dura por un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente.

Tabla 5. Características generales de acero AISI 1020 laminado en caliente

TIPO DE ACERO	PROPIEDADES FISICAS	APLICACIONES	COMPOSICIÓN QUIMICA (%)
AISI 120	densidad: $7860 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ Modulo de Young: 207 Gpa Coeficiente de dilatación: $11,7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ conductividad termica: $52 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$ Calor especifico: $500 \frac{\text{J}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$ Resistencia a la fluencia: 297 Mpa Coeficiente de poisson: 0,3	Se usa principalmente para partes de maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes, tornillería, bridas, piñones, grapas etc.	C: 0,18 Mn: 0,6 P: 0,04 S: 0,05 Si: 0,15

Se ha seleccionado un perfil rectangular macizo para la viga oscilante con el objetivo de realizar un montaje fijo y adecuado para el accionamiento de las bombas de diafragma que se instalaran en el lado derecho. La geometría principal del perfil macizo se presenta en la figura 35.

Figura 35. Sección transversal del perfil



Donde:

A: Ancho de la viga

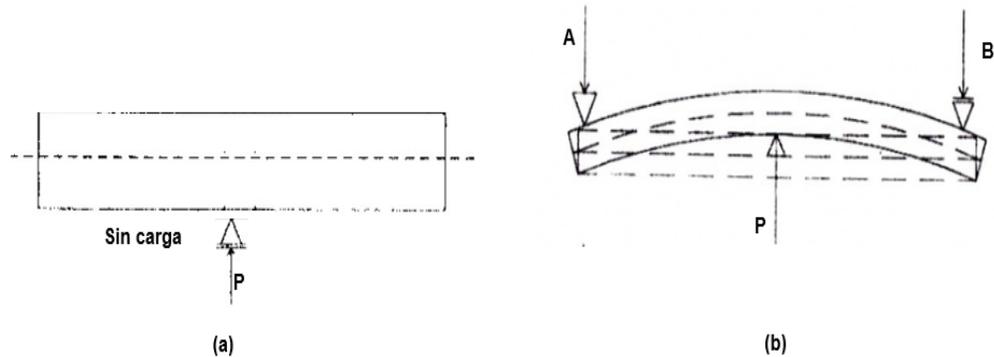
B: Alto de la viga

Cabe resaltar que la selección de la sección transversal será calculada como si fuera un perfil estructural, para así definir la construcción de la viga en un material macizo. Se debe garantizar que la pieza soporte las cargas a las que va a estar sometida y partir de un análisis por rigidez y uno por resistencia de material, para determinar los esfuerzos y momentos que se pueden presentar y seleccionar el perfil adecuado.

#### 4.1.2 Comportamiento de la viga conforme a su aplicación

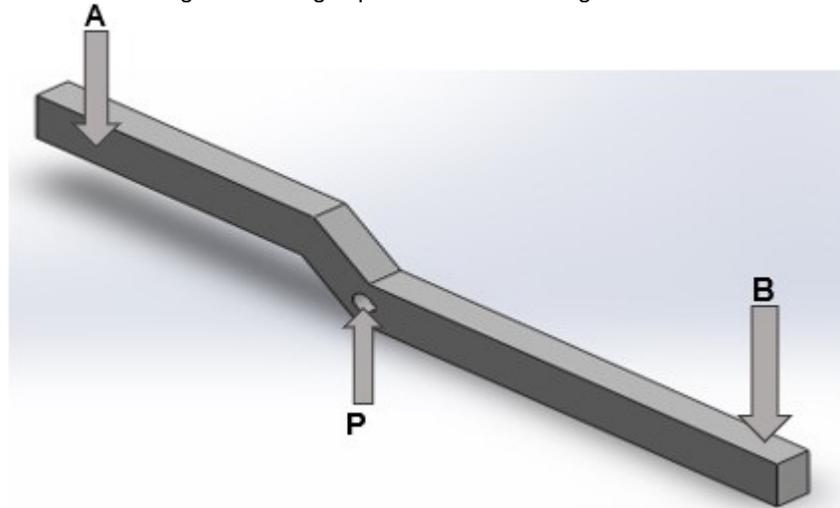
El tipo de comportamiento que se puede presentar en la viga se observa en la figura 36, donde se nota la viga sin ningún tipo de carga en la figura 36(a) en donde no presentará ningún tipo de deformación, caso contrario se observa en la figura 36(b) donde se nota la deformación de la viga cuando se somete a cargas y esto lo demuestra el comportamiento de una línea continua que enseña el desplazamiento y el tipo de trabajo que presentará durante la aplicación de fuerzas en determinados puntos.

Figura 36. Viga sin carga y con carga<sup>9</sup>



En la siguiente figura, se presentan las cargas que actuarán directamente sobre la viga, a partir de ahí se inician los análisis estáticos de rigidez y resistencia.

Figura 37. Cargas presentes sobre la viga oscilante



#### 4.1.3. Estimación del peso para las cargas A y B

- Cálculo de los pesos para las incógnitas A y B

Inicialmente se procede a realizar los cálculos de los pesos que aplican las variables A y B, teniendo en cuenta las masas que se estimaron para cada elemento que irá sujeto en las partes referenciadas de la figura 37.

$$A = \text{Masa del péndulo} = 12,4 \text{ kgf}$$

$$B = \text{Masa de los contrapesos} = 9,5 \text{ kgf}$$

<sup>9</sup> Informe Análisis de fuerzas en viga de espuma de alta densidad, [Figura.12] RECUPERADO DE [https://wiki.ead.pucv.cl/Informe An%C3%A1lisis de Fuerzas en Viga de Espuma de Alta Densidad](https://wiki.ead.pucv.cl/Informe_An%C3%A1lisis_de_Fuerzas_en_Viga_de_Espuma_de_Alta_Densidad)

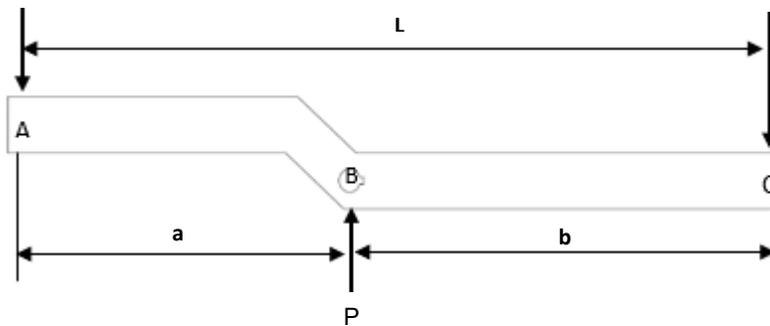
Se calcula el peso  $W$  para las variables A y B.

$$W_A = (12,4 \text{ kgf}) \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kgf}} \right) \quad \mathbf{W_A = 121,644 \text{ N}}$$

$$W_B = (9,5 \text{ kgf}) \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kgf}} \right) \quad \mathbf{W_B = 93,195 \text{ N}}$$

Se procede a dibujar el diagrama de cuerpo libre que representa las cargas a las que se encuentra sometida la viga en la siguiente figura y se procede a desarrollar cada uno de los análisis que se emplearan para definir la sección transversal de la viga.

Figura 38. Diagrama de cuerpo libre para la viga oscilante



#### 4.1.4 Análisis por rigidez mecánica

Este análisis corresponde al estudio de flexión de la viga como se puede observar en la figura 36 presentada anteriormente. Con el cálculo de la sección transversal por criterio de rigidez mecánica se orienta a garantizar y controlar la deformación transversal máxima o deflexión máxima permisible en una viga de acuerdo con la norma técnica AISC 360<sup>10</sup>.

Inicialmente se establecen las cargas a las que está sometida la viga y las cuales se presentaron anteriormente en la figura 37.

Donde se define,

$$\mathbf{W_A = 121,644 \text{ N}}$$

$$\mathbf{W_B = 93,195 \text{ N}}$$

$$\mathbf{P = 214,839 \text{ N}}$$

<sup>10</sup> Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de acero RECUPERADO DE [http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/publicacion/especificacion\\_ansi-aisc\\_360-10\\_para\\_construcciones\\_de\\_acero.pdf](http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/publicacion/especificacion_ansi-aisc_360-10_para_construcciones_de_acero.pdf)

Para el cálculo de la deformación máxima de la viga se desarrolla este procedimiento teniendo en cuenta algunos parámetros establecidos por el apéndice 14 que presenta la tabla A14-1 del libro Diseño de máquinas de Robert L. Mott que hace referencia a fórmulas aplicadas para deflexión de vigas simplemente apoyadas, de esta tabla se procede a realizar los cálculos con respecto a la formula planteada en el inciso B la cual es.

$$Y_{\max} = - \frac{Pab(L + b) \sqrt{3a(L + b)}}{27 EIL}$$

Cabe mencionar que para esta fórmula se trabajará con un valor de  $Y_{\max} = 0.0001$  m, que es el valor de deflexión que se permite para una estructura definido por la norma técnica ANSI/AISC 360 planteada anteriormente. A continuación, se realiza una caracterización de las incógnitas que presenta la formula anterior.

P= Fuerza ejercida en el punto intermedio de la viga.

a= Longitud entre P el punto máximo A de la viga.

b=Distancia entre P y el punto intermedio C de la viga.

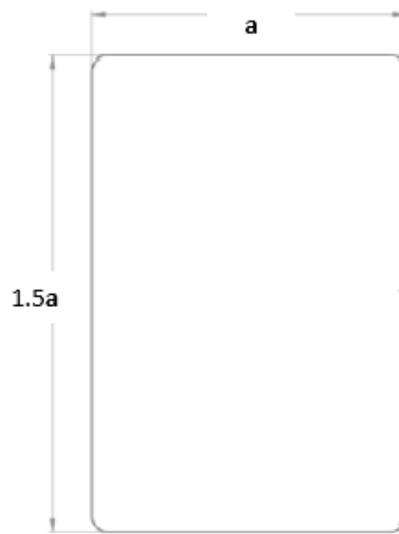
L=Longitud entre los puntos A y C.

E= Modulo de elasticidad.

I=Momento de inercia.

Se procede a realizar el cálculo del momento de inercia para una sección rectangular. Para este análisis se definirá una relación entre alto y ancho de la viga que será de:

Figura 39. Sección transversal de la viga



Esto se realiza para encontrar un momento de inercia con respecto a un valor  $a$ , para relacionar un perfil comercial aproximado para la construcción de la viga oscilante.

$$I = \frac{1}{12}BH^3$$

Reemplazando valores en la ecuación anterior.

$$I = \frac{1}{12}(a)(1.5a)^3$$

$$I = \frac{1}{12}a(3.375a^3)$$

$$I = 0.2812a^4m^4$$

A continuación, se procede a utilizar la formula presentada anteriormente, se define un valor para  $Y_{Max} = 0.0001$  m y se tomará un módulo de elasticidad para el acero AISI 1020 de  $E = 207 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$ .

$$0.0001 \text{ m} = - \frac{(214,839 \text{ N})(0.390 \text{ m})(0.509 \text{ m})(0.899 \text{ m} + 0.509 \text{ m})\sqrt{3(0.390 \text{ m})(0.899 \text{ m} + 0.509 \text{ m})}}{27(207 \times 10^9 \frac{N}{m^2})(0.2812 a^4 m^4)(0.899 \text{ m})}$$

$$0.0001 \text{ m} = - \frac{(42,6476 \text{ Nm}^2)(1.408 \text{ m})\sqrt{(1,17 \text{ m})(1.408 \text{ m})}}{27(207 \times 10^9 \frac{N}{m^2})(0.2812 a^4 m^4)(0.899 \text{ m})}$$

$$0.0001 = - \frac{(60,0478 \text{ Nm}^3)\sqrt{1,6474 \text{ m}^2}}{1.4128 \times 10^{12} \text{ Nm}^3 a^4}$$

$$0.0001 = - \frac{(60,0478 \text{ Nm}^3)(1,2835 \text{ m})}{1.4128 \times 10^{12} \text{ Nm}^3 a^4}$$

$$0.0001 = - \frac{77,0713 \text{ Nm}^4}{1.4128 \times 10^{12} \text{ Nm}^3 a^4}$$

$$0.0001 = - \frac{4,11552 \times 10^{-11} \text{ m}}{a^4}$$

$$a^4 = - \frac{5,4552 \times 10^{-11} \text{ m}}{0.0001}$$

$$a^4 = 5,4552 \times 10^{-7} \text{ m}$$

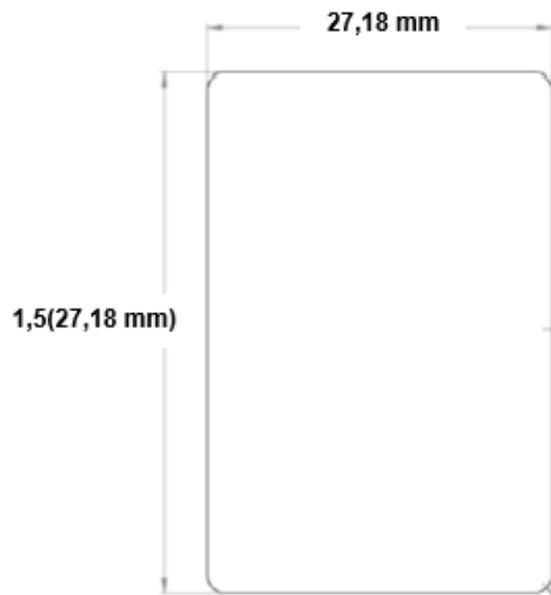
$$a = \sqrt[4]{5,4552 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$a = 0,02718 \text{ m}$$

$$a = 27,18 \text{ mm}$$

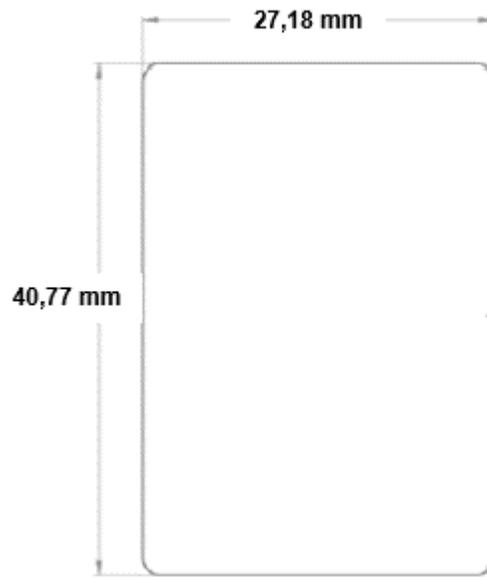
Obteniendo el valor de  $a$  se procede a realizar el cálculo de la sección transversal mínimo que se requeriría para la viga oscilante para su construcción.

Figura 40. Cálculo de la sección transversal



La sección transversal que resulto de los cálculos es:

Figura 41. Sección transversal resultante



#### 4.1.5 Relación de la sección transversal según catálogo de tubo estructural

A continuación, se compara los valores obtenidos con respecto a los valores que presenta la tabla 6, y se observa que los perfiles que presenta la tabla son superiores al que se obtuvo por cálculo de rigidez mecánica, lo que quiere decir que cualquier perfil que se seleccione cumple con las exigencias de deformación que la viga presente.

Tabla 6. Catálogo de perfil estructural rectangular<sup>11</sup>

PERFIL RECTANGULAR														
TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA cm <sup>2</sup>	FLEXIÓN EJE X - X			FLEXIÓN EJE Y - Y			MÓDULO PLÁSTICO Zx cm <sup>3</sup>	MÓDULO PLÁSTICO Zy cm <sup>3</sup>	TORSIÓN	
TAMAÑO NOMINAL	PULG.				MM	MOMENTO INERCIA Ix cm <sup>4</sup>	MÓDULO SECCIÓN Sx cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO rx cm	MOMENTO INERCIA Iy cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁST Sy cm <sup>3</sup>			RADIO DE GIRO ry cm	MOMENTO INERCIA J cm <sup>4</sup>
2X1/2	50 x 13	1,50	1,37	1,72	4,54	1,81	1,62	0,50	0,77	0,54	2,46	0,90	1,61	1,45
2X1 1/16	50 X 30	1,50	1,77	2,25	7,72	2,97	1,85	2,78	2,06	1,11	3,70	2,34	6,71	3,56
		2,00	2,31	2,94	9,76	3,76	1,82	3,49	2,58	1,09	4,74	2,99	8,63	4,49
		2,50	2,82	3,59	11,55	4,44	1,79	4,09	3,03	1,07	5,69	3,58	10,41	5,31
2 3/8X1 1/2	60 X 40	1,50	2,24	2,85	13,84	4,61	2,20	6,81	3,60	1,54	5,59	4,07	14,59	5,99
		2,00	2,93	3,73	17,69	5,90	2,18	8,66	4,57	1,52	7,22	5,26	18,95	7,66
		2,50	3,60	4,59	21,18	7,06	2,15	10,32	5,45	1,50	8,75	6,35	23,07	9,18
		3,00	4,25	5,41	24,33	8,11	2,12	11,79	6,23	1,48	10,16	7,37	26,96	10,56
3X1 1/2	76 X 38	1,50	2,57	3,27	24,92	6,54	2,76	8,54	4,48	1,61	8,07	5,00	20,50	7,74
		2,00	3,37	4,29	32,06	8,42	2,73	10,90	5,72	1,59	10,48	6,47	26,65	9,93
		2,50	4,15	5,29	38,64	10,14	2,70	13,05	6,85	1,57	12,75	7,85	32,48	11,94
		3,00	4,90	6,24	44,67	11,73	2,68	14,98	7,86	1,55	14,89	9,14	38,00	13,79
3 3/16 X11/2	80 X 40	1,50	2,71	3,45	28,99	7,25	2,90	9,94	4,97	1,70	8,93	5,53	23,81	8,58
		2,00	3,56	4,54	37,36	9,34	2,87	12,72	6,36	1,67	11,61	7,17	30,99	11,02
		2,50	4,39	5,59	45,11	11,28	2,84	15,26	7,63	1,65	14,15	8,72	37,81	13,28
		3,00	5,19	6,61	52,25	13,06	2,81	17,56	8,78	1,63	16,54	10,16	44,30	15,36
3 1/2X2	90 X 50	1,50	3,18	4,05	44,88	9,96	3,33	18,15	7,26	2,12	12,09	8,07	41,02	12,32
		2,00	4,19	5,34	58,15	12,90	3,30	23,41	9,36	2,09	15,78	10,52	53,63	15,93
		2,50	5,17	6,59	70,59	15,66	3,27	28,28	11,31	2,07	19,31	12,84	65,75	19,32
		3,00	6,13	7,81	82,24	18,24	3,25	32,80	13,12	2,05	22,67	15,05	77,38	22,49
4X14/7	100 X 40	1,50	3,18	4,05	50,49	10,10	3,53	12,16	6,08	1,73	12,68	6,69	31,94	10,80
		2,00	4,19	5,34	65,38	13,08	3,50	15,61	7,81	1,71	16,54	8,69	41,59	13,91
		2,50	5,17	6,59	79,32	15,86	3,47	18,78	9,39	1,69	20,23	10,59	50,77	16,80
		3,00	6,13	7,81	92,34	18,47	3,44	21,67	10,84	1,67	23,75	12,38	59,49	19,48
4X2	100 X 50	2,00	4,50	5,74	74,98	15,00	3,62	25,67	10,27	2,12	18,50	11,46	61,72	17,75
		2,50	5,56	7,09	91,20	18,24	3,59	31,06	12,42	2,09	22,67	14,01	75,68	21,54
		3,00	6,60	8,41	106,46	21,29	3,56	36,06	14,42	2,07	26,66	16,44	89,09	25,09
		4,00	8,59	10,95	134,14	26,83	3,50	44,95	17,98	2,03	34,10	20,93	114,32	31,55
4 3/4X2 3/8	120 X 60	2,00	5,45	6,94	136,64	22,44	4,44	45,76	15,28	2,57	27,60	16,92	109,88	26,42
		2,50	6,74	8,59	167,03	27,43	4,41	55,68	18,59	2,55	33,94	20,77	135,18	32,22

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, se procede a determinar que la sección transversal que conformará a la viga será de las medidas de 40mm x 60mm. Estas medidas estarán relacionadas con la longitud se decida seleccionar para el corte del material.

#### 4.1.6. Análisis por resistencia mecánica

Se procede a realizar el cálculo por el criterio de resistencia mecánica para determinar los valores de tensiones principales en un punto de la viga oscilante, esto permite establecer una condición de resistencia de la pieza en dicho punto.

Se procede a calcular las fuerzas presentes con respecto al diagrama de cuerpo libre presentado en la figura 38 y se grafican los diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga a partir de las cargas presentes

<sup>11</sup> PERFIL ESTRUCTURAL TUBULAR NEGRO GALVANIZADO ASTM 500 (NTC 4526), (catalogo), recuperado <http://tuboscolmena.com/colmena/wp-content/uploads/2018/03/perfil-estructural.pdf>

$$\begin{aligned}
 &+\uparrow \sum F_Y = 0 \\
 &-121,644 \text{ N} + \mathbf{P} - 93,195 \text{ N} = 0 \\
 &-214,839 \text{ N} + \mathbf{P} = 0 \\
 &\mathbf{P} = 214,839 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Se realiza los diagramas de fuerza cortante V y momento flector M y se analiza una porción derecha de la viga oscilante, seccionándola desde el punto B, que es donde ira un agujero para instalar un pasador para la viga.

Figura 42. DCL N°1

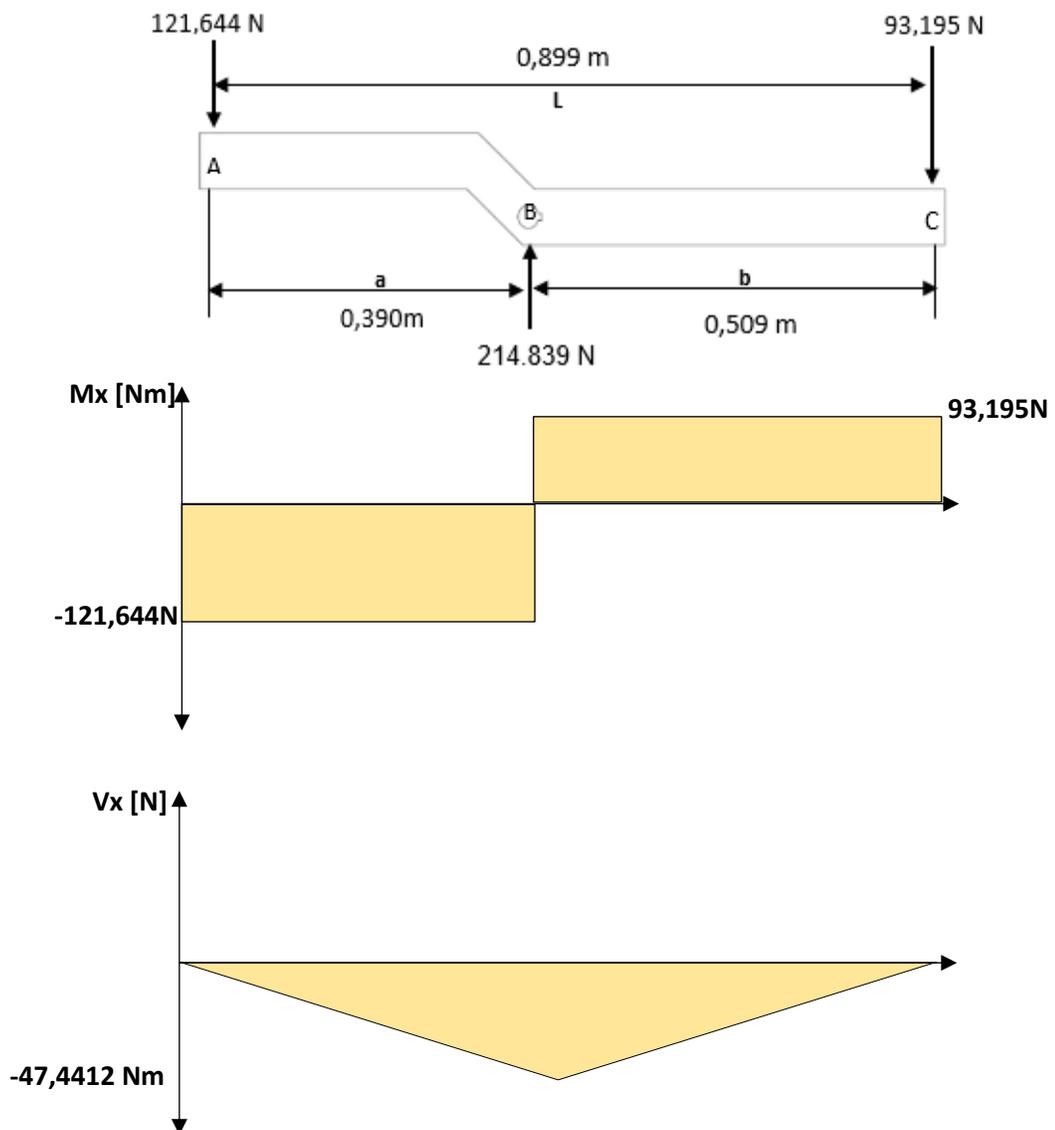


Figura 43. DCL N°2

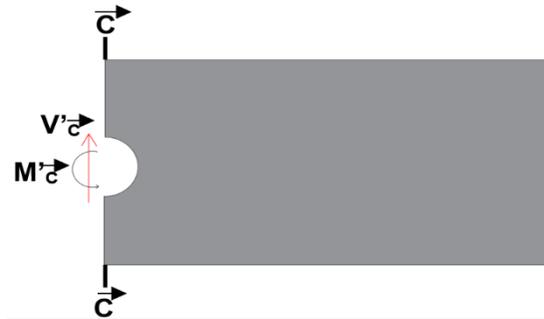
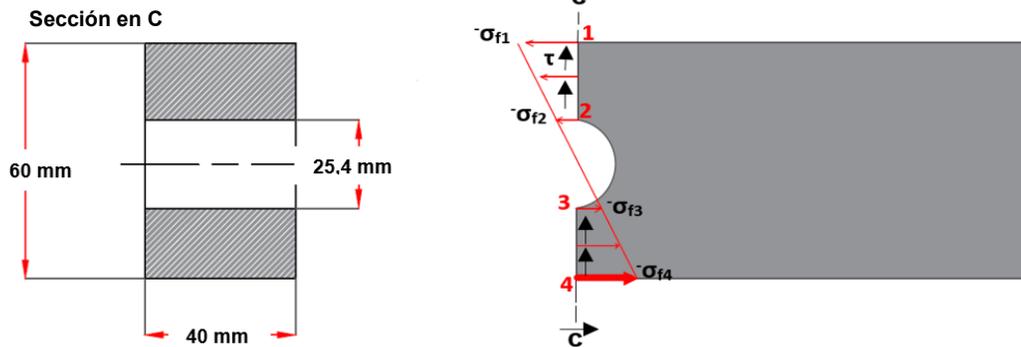


Figura 44. DCL N°3



El cálculo y análisis de la sección transversal de la viga oscilante mediante el criterio de resistencia parte del resultado obtenido en el análisis previo de rigidez, mediante el cual se controló la deflexión máxima de la viga. El resultado previo obtenido fue de una sección transversal rectangular sólida de 40,77 mm de alto por 27,18 mm de ancho, que es el resultado de los cálculos. A partir de estos valores se propuso un perfil comercial de 60 mm de alto por 40 mm de ancho debido a que se debe considerar la elaboración de un agujero de 25,4 mm cerca al centro de la viga para el pasador sobre el cual oscila la viga.

A partir del diagrama de cuerpo libre N°1 de la viga planteado anteriormente se elaboran diagramas de fuerza cortante interna  $V_x$  y momento flector interno  $M_x$  para cualquier sección comprendida entre los extremos A y B de la viga oscilante.

Para analizar la resistencia y el valor de los esfuerzos de trabajo en la sección crítica de la viga oscilante se elaboraron los DCL N°2 y DCL N°3, en los cuales se analiza la porción derecha de la viga al realizar un corte un infinitesimal a la derecha de B. (B corresponde al centro de agujero elaborado en la viga oscilante). La sección crítica corresponde a la sección donde se encontró el valor máximo del momento flector interno con valor de 47,4 Nm en B.

La sección crítica se encuentra bajo la acción de una fuerza cortante interna con valor de 93,19 N, la cual al aplicarse sobre el área crítica que muestra la figura 44, genera un esfuerzo cortante directo  $\tau$ .

$A_c$ : Área crítica

$$A_c: (0,06-0,0254)(0,040) = 1,384 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{V'_c}{A_c} = \frac{93,19 \text{ N}}{1,384 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 67333,8 \text{ Pa} = 0,067 \text{ Mpa}$$

La sección crítica también se encuentra bajo la acción de un momento flector interno  $M'_c$  con valor de 47,4 Nm, el cual al operar sobre la geometría del área de la sección crítica genera esfuerzos normales por flexión y son de tensión en los puntos 1 y 2 del DCL N°3.

$$\sigma_{f1} = \frac{M_c \times d_1}{I_c}$$

$d_1$ : Distancia desde el eje centroidal horizontal hasta el punto 1 en el DCL N°3

$I_c$ : Momento de inercia de la sección con respecto al eje centroidal horizontal

$d = 30 \text{ mm}$

$$I_c = \frac{1}{12} (0,040 \text{ m})(0,060 \text{ m})^3 - \frac{1}{12} (0,040 \text{ m})(0,0254)^3$$

$$I_c = 6,65 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{f1} = \frac{47,4 \text{ Nm} \times 0,03 \text{ m}}{6,65 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{f1} \rightarrow 2138345,9 \text{ Pa} \quad \sigma_{f1} = 2,138 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{f2} = \frac{M_c \times d_2}{I_c}$$

$d_2$ : Distancia desde el eje centroidal horizontal hasta el punto 2 en el DCL 3

$d_2 = 12,7 \text{ mm}$

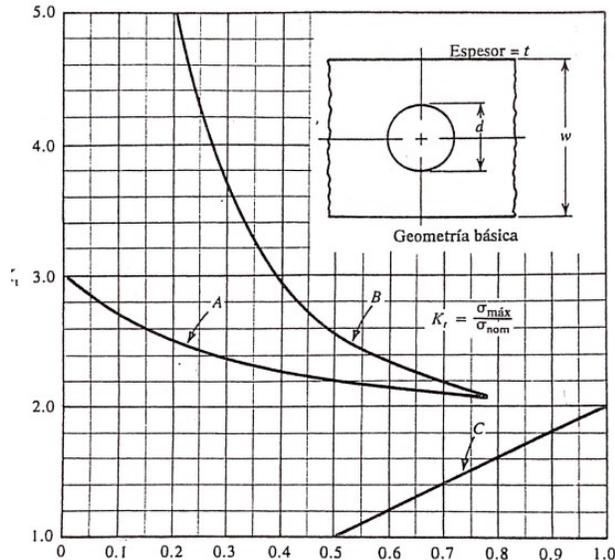
$$\sigma_{f2} = \frac{47,4 \text{ Nm} \times 0,0127 \text{ m}}{6,65 \times 10^{-7} \text{ m}^4} \rightarrow \sigma_{f2} = 905233,08 \text{ Pa} \rightarrow \sigma_{f2} = 0,905 \text{ Mpa}$$

Hay que considerar un incremento en el valor de  $\sigma_{f2}$  porque el efecto concentrador de tensión por estar el punto 2 en la periferia del agujero

$$\sigma_2 = k_t \sigma_{f2}$$

$K_t$ : Factor de concentración de esfuerzo por orificio central

Grafica 1. Factores de concentración de esfuerzos. Pag A29, Diseño de máquina de Robert L. Mott cuarta edición



$$\frac{d}{w} = \frac{25,4}{60} = 0,42$$

$K_t = 2,8$  curva B grafica 1.

$\sigma_2$  = Esfuerzo normal de flexión en el punto 2 incrementado por el concentrador de esfuerzo.

$$\sigma_2 = (2,8) \times (0,905) \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = 2,534 \text{ Mpa}$$

Comparando  $\sigma_{f1}$  y  $\sigma_{f2}$  en la sección crítica, el valor del esfuerzo normal flexionante máximo es  $\sigma_{f2}$  en el punto 2.

Según estos análisis se encontró una combinación de esfuerzo normal flexionante con un esfuerzo cortante puro en la sección crítica.

Se procede a realizar el análisis de combinación de esfuerzos mediante la técnica del círculo de Mohr para determinar los esfuerzos principales.

$$\sigma_x = \sigma_2 = 2,534 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\tau_{xy} = \tau = 0,067 \text{ Mpa}$$

Según el procedimiento para trazar el círculo de Mohr de la página 146 del texto diseño de elementos de máquinas de Robert L. Mott cuarta edición Editorial Pearson

$$\sigma_{\text{prom}} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} = \frac{2,534 + 0}{2} = 1,267 \text{ Mpa} \quad (\sigma_{\text{prom}}: \text{centro del círculo de Mohr})$$

$$a = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} = \frac{2,534 - 0}{2} = 1,267 \text{ Mpa}$$

$$b = \tau_{xy} = \tau = 0,067 \text{ Mpa}$$

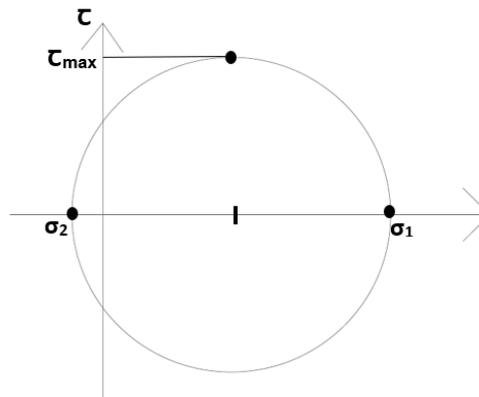
$$R = \tau_{\text{MAX}} = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}} = (1,267^2 + 0,067^2)^{\frac{1}{2}} = \tau_{\text{MAX}} = 1,268 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{prom}} + R = 1,267 + 1,268 = 2,535 \text{ Mpa}$$

$\sigma_1$  = Esfuerzo normal principal máximo

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{prom}} - R = 1,267 - 1,268 = 0,001 \text{ Mpa}$$

Figura 45. Círculo de Mohr por autores



Con los valores de los esfuerzos principales obtenidos debido a la combinación de carga presente en la sección crítica y teniendo en cuenta que la viga oscilante está sometida a cargas prácticamente estáticas porque las oscilaciones de la viga son pequeñas, se aplica el método de diseño del esfuerzo cortante máximo, para establecer el nivel de seguridad del diseño de la viga.

Según el método de diseño del esfuerzo cortante máximo para cargas estáticas y material dúctil la ecuación de diseño es:

$$\tau_{\max} \leq \tau_d \leq \frac{S_{YS}}{N} \quad \text{ecuación 01}$$

$\tau_{\max}$ : Esfuerzo cortante principal del círculo de Mohr

$\tau_d$ : Esfuerzo cortante de diseño

$S_{YS}$ : Resistencia de fluencia en corte del material de la viga oscilante

N: Factor de diseño o factor de seguridad

$$\tau_{\max} = 1,268 \text{ Mpa}$$

$S_Y = 207 \text{ Mpa}$  Acero 1020 laminado en caliente

$$S_{YS} = 0,5(207 \text{ Mpa}) = 103,5 \text{ Mpa}$$

Despejando N de la ecuación 01 se tiene  $N = \frac{S_{YS}}{\tau_{\max}}$

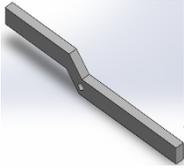
$$N = \frac{103,5 \text{ Mpa}}{1,268 \text{ Mpa}} = 81,6246$$

Es un factor de seguridad alto, y la sección crítica funciona de manera segura, pero se podría optar por una geometría más pequeña para la sección. Sin embargo se mantiene la sección 60 mm de alto por 40 mm de ancho, que para este análisis se encuentra que presenta un alto nivel de seguridad.

Se mantiene los valores de geometría de la sección propuestos porque es interés de este proyecto revisar y entender el comportamiento y desempeño del mecanismo oscilador de dos etapas propuesto como diseño conceptual de este proyecto.

A continuación, se procede a elaborar la carta tecnológica que presenta el proceso de construcción que tuvo la viga oscilante.

Tabla 7. Carta tecnológica de fabricación de la viga oscilante

PIEZA	DIBUJO DE LA PIEZA	OPERACIÓN	MATERIAL	CNT	EQUIPO	RESULTADO DEL PROCESO	TIEMPO (m)	NÚMERO DEL PLANO
VIGA OSCILANTE		Corte del material	Acero AISI 1020 laminado en caliente	1000 mm	Oxicorte	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	15	3
		Maquinado para orificio para punto de pivote principal			Fresadora		40	
		Aplicación de base anticorrosiva		1 lata	Espátula platica		60	
		Aplicación de pintura		1 lata	Pistola neumática de pintura		40	
						TIEMPO TOTAL DE LOS PROCESOS	155	

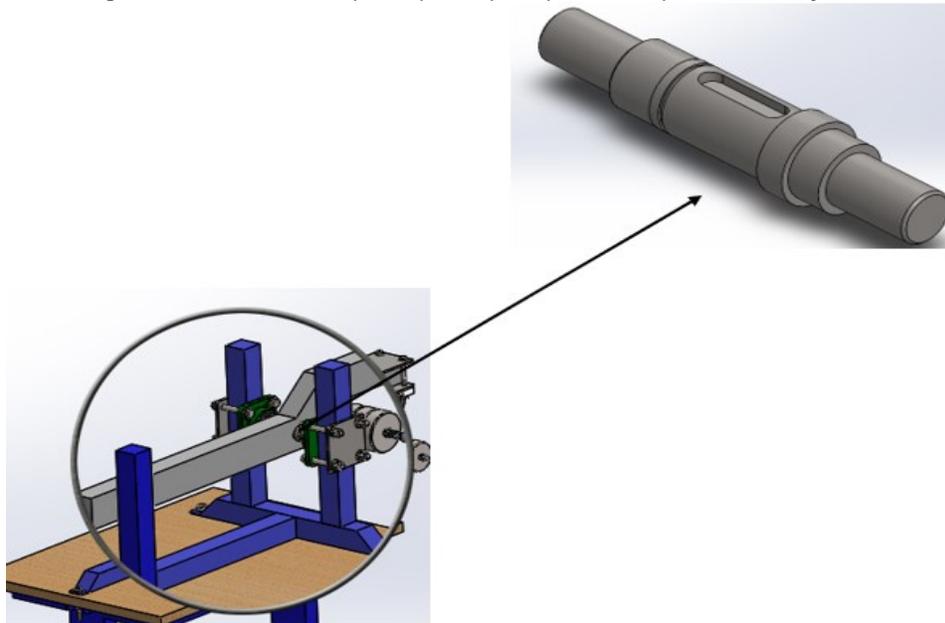
#### 4.2. DISEÑO DEL PASADOR PARA LA VIGA OSCILANTE

Es importante resaltar que este elemento se define como pasador y no como eje ya que la viga no esta girando completamente, la viga solo presentara un movimiento de una cuarta parte de un giro completamente. Pero su diseño se hara como el de un eje macizo.

##### 4.2.1. Diseño preliminar para el pasador

Este pasador sera el punto de pivote principal del mecanismo, ya que sera el punto donde la viga presenta un moviiento lineal alternativo, este movimiento se manisfestara en la viga gracias a la oscilación que esta ejerciendo el péndulo y que a medida de que este oscile la viga tendra un movimiento constante.

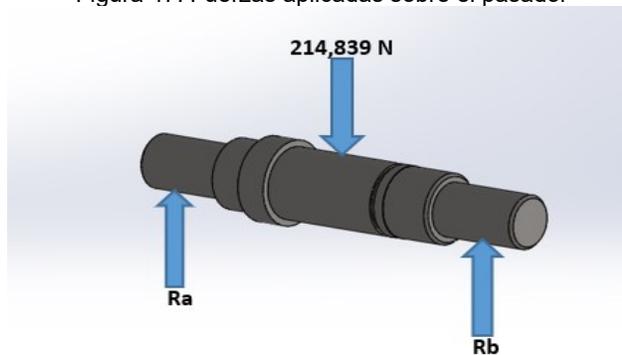
Figura 46. Ilustración del punto pivote principal con su pasador de sujeción



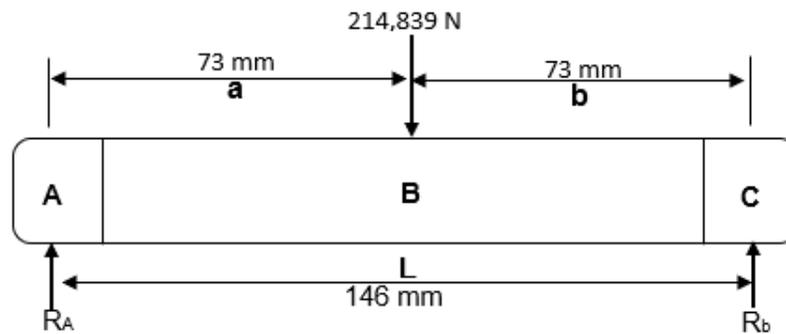
#### 4.2.2. Estimación de las cargas presentes en el pasador

A continuación, se presentan las cargas que están presentes en el pasador de sujeción para el punto de pivote principal y se procede a realizar los cálculos adecuados para el diseño de este elemento.

Figura 47. Fuerzas aplicadas sobre el pasador



Se genera un diagrama de cuerpo libre para realizar el análisis adecuado con respecto a las cargas que presenta el pasador.



Cálculo para las fuerzas aplicadas en el pasador

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$R_a - 214,839 \text{ N} + R_b = 0$$

$$R_a + R_b = 214,839 \text{ N}$$

Cálculo de \$R\_a\$

$$R_a = 214,839 \text{ N} - R_b$$

$$R_a = 214,839 \text{ N} - 107,4191 \text{ N}$$

$$R_a = 107,4199 \text{ N}$$

$$+ \sum M_a = 0$$

$$-(214,839 \text{ N})(0,073 \text{ m}) + (R_b)(0,146 \text{ m}) = 0$$

$$-15,6832 \text{ Nm} + 0,146 \text{ m } R_b = 0$$

$$0,146 \text{ m } R_b = 15,6832 \text{ Nm}$$

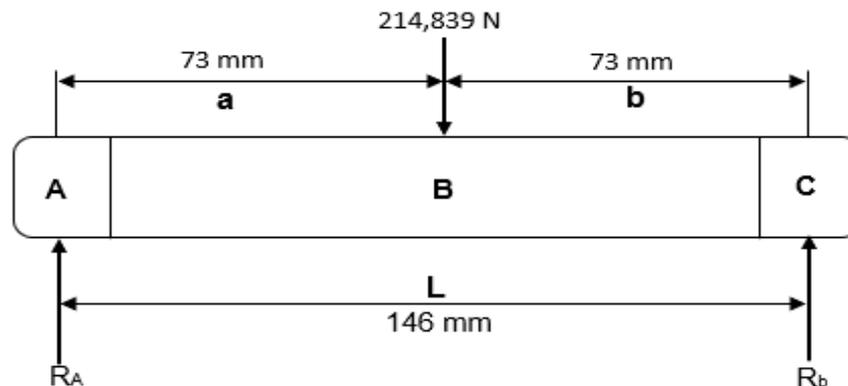
$$R_b = \frac{15,6832 \text{ Nm}}{0,146 \text{ m}}$$

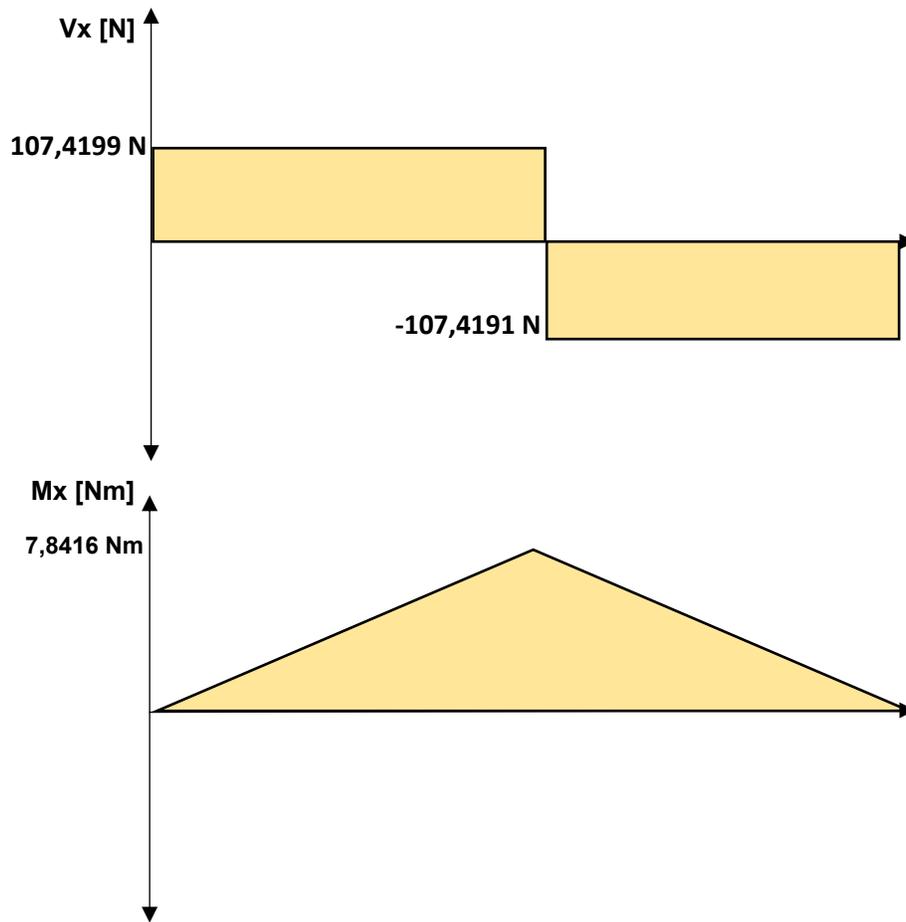
$$R_b = 107,4191 \text{ N}$$

Como se puede observar los resultados obtenidos son valores similares, lo que permite interpretar que será un pasador simétrico, donde la fuerza total que se está ejerciendo en el punto medio será dividida para cada punto de apoyo.

A continuación, se procede a desarrollar los diagramas de fuerza cortante V y momento flector M.

Figura 48. Diagrama de cuerpo libre para pasador de la viga





Con los diagramas de momento flector y fuerza cortante obtenidos, se procede a elegir el material con el que se construirá el pasador, este material será de acero AISI 1020 laminado en caliente, el cual presenta las mismas características mecánicas que presento la siguiente figura.

Figura 49. Apéndice 3 Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados de Robert L. Mott 4. Edición P. A6 (2006)

**APÉNDICE 3 PROPIEDADES DE DISEÑO PARA LOS ACEROS AL CARBÓN Y ALEADOS**

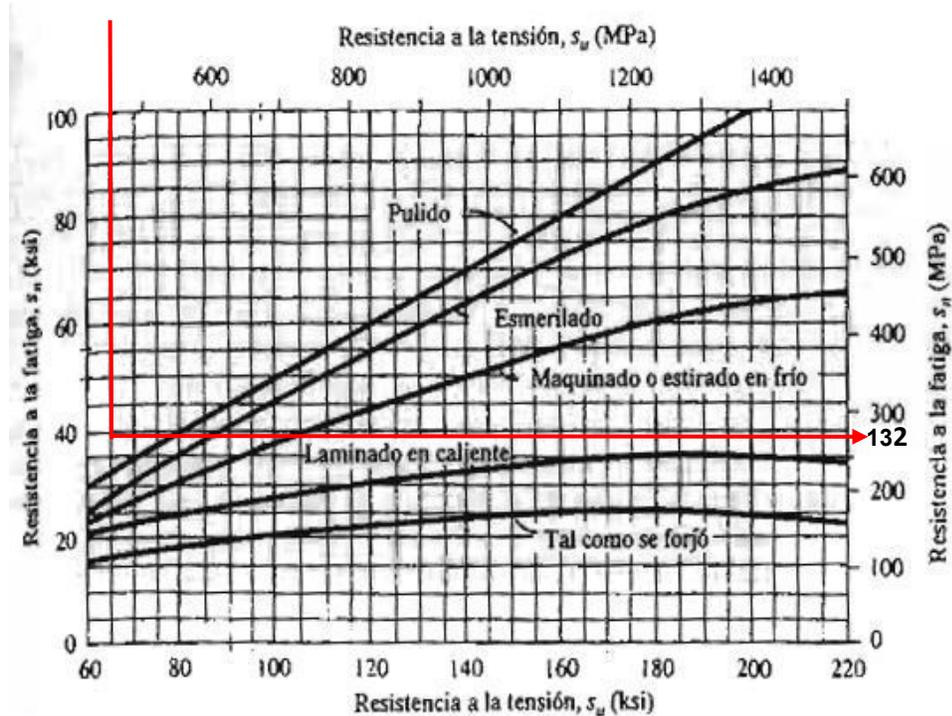
Designación del material (Número AISI)	Condición	$S_{u}$ Resistencia a la tensión		$S_y$ Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121

Resistencia a la fluencia  $\rightarrow S_y = 207$  Mpa

Resistencia a la tensión →  $S_u = 379 \text{ Mpa}$

Se procede a seleccionar un valor de resistencia a la fatiga del siguiente diagrama que presenta la figura 50.

Figura 50. Resistencia a la fatiga  $S_n$  en función de la resistencia a la tensión Diseño de máquina. Robert L. Mott 4 edición P.175 (2006)



Se determina de la resistencia a la fatiga para el acero AISI 1020 laminado en caliente por medio de la figura 50 y arroja un valor de  $S_n = 132 \text{ Mpa}$ .

A continuación, se procede a calcular la resistencia a la fatiga real que presentara el material, con la siguiente formula:

$$S_n^* = S_n (C_m)(C_{st})(C_R)(C_s)$$

Donde,

$S_n$  = Resistencia a la fatiga

$C_m$  = Material manufacturado

$C_{st}$  = Factor de riesgo

$C_R$  = Confiabilidad

$C_s$  = Tamaño

Para el diseño de este pasador se establecen otros valores que se deben tener en cuenta para calcular la resistencia a la fatiga real, como:

$C_m = 1$  para acero forjado

$C_{st} = 1$  para un material sometido a flexión

$C_s = 1$

Y un factor de confiabilidad de  $C_R = 1$

Se reemplazan los datos establecidos en la ecuación que anteriormente se planteó para obtener la resistencia a la fatiga real.

$$S_n^* = (132 \text{ Mpa}) (1)(1)(1)(1)$$

$$S_n^* = 132 \text{ Mpa}$$

Con el valor de la resistencia a la fatiga real definido, se procede a realizar el cálculo para definir el diámetro mínimo necesario que conformara el pasador de la viga, esto se hará teniendo en cuenta datos de cálculos realizados anteriormente y la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{2.94(K_t)(V) \left( \frac{N}{S_n^*} \right)}$$

Donde,

$K_t$  = Concentrador de esfuerzos

$V$  = Fuerza cortante

$N$  = Factor de diseño

$S_n^*$  = Resistencia a la fatiga real

Para esta ecuación se tomará un valor de factor de diseño de:  $N = 2,5$ .

Se selecciona este valor ya que aplica para “diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente” (Mott, 2006, p.185).

La fuerza cortante que se asignará será de 107,4191 N ubicada en el punto B del eje ya que esta es la única fuerza cortante vertical importante que se encuentra presente:

$$V=107,4191 \text{ N}$$

Se desarrolla la ecuación que se presentó anteriormente y se procede a reemplazar los valores en ella, con los valores obtenidos en los cálculos. Pero agregando un valor para  $K_t= 2.5$ .

$$D = \sqrt{2.94(2.5)(107,4191) \left( \frac{2.5}{132 \times 10^6} \right)}$$

$$D = 0,003866 \text{ m}$$

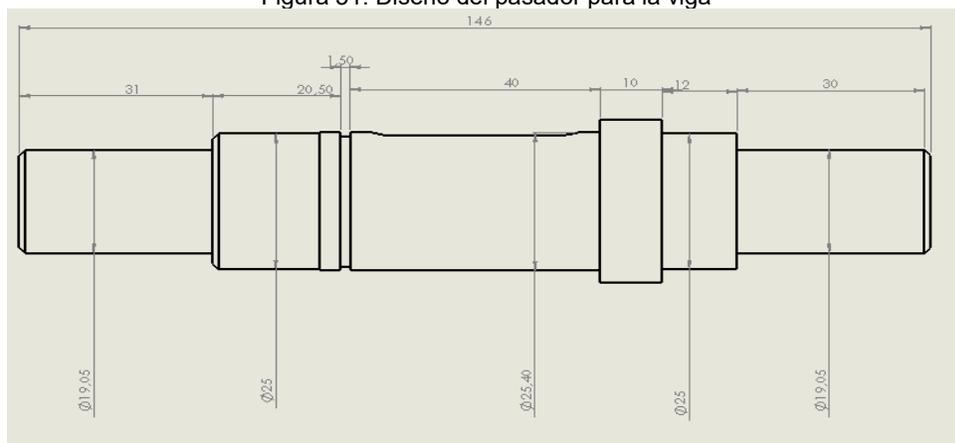
$$D = 3,866 \text{ mm}$$

El resultado del diámetro obtenido será el valor mínimo que presentara el eje para su construcción, a medida que se desarrolle este elemento y si presenta modificaciones se realizaran teniendo presente este valor.

#### 4.2.3. Diámetros para el pasador de la viga

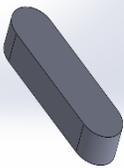
Con un diámetro mínimo calculado para el pasador de la viga, se procede a determinar los diámetros correspondientes que conformaran a este elemento, esto para realizar el ensamble correspondiente a la viga y a los rodamientos que complementaran todo el montaje. Además, se establece que este pasador tendrá un cuñero que servirá para sujetarse a la viga oscilante y transmitir un par torsional, este cuñero será Pratt Whitney de forma rectangular con bordes redondeados con un factor de 2.5 para soportar los esfuerzos que se presenten, a continuación, se presentan los diámetros para el pasador:

Figura 51. Diseño del pasador para la viga



Se presenta la carta tecnológica de fabricación donde se describe el proceso de construcción para este elemento.

Tabla 8. Carta tecnológica de fabricación para el pasador de la viga oscilante

PIEZA	DIBUJO DE LA PIEZA	OPERACIÓN	MATERIAL	CNT	EQUIPO	RESULTADO DEL PROCESO	TIEMPO (m)	NUMERO DEL PLANO
PASADOR DE LA VIGA OSCILANTE		Corte del material	Acero AISI 1020 laminado en caliente	200 mm	Sierra eléctrica	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	15	
		Proceso de maquinado			Torno		60	
CUÑERO PARA EL PASADOR		Corte del material	Acero AISI 1020 laminado en caliente	10 mm	Sierra eléctrica	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	20	4
		Proceso de maquinado			Torno			
						TIEMPO TOTAL DE LOS PROCESOS	95	

### 4.3. DISEÑO DEL PÉNDULO DE MASA VARIABLE

Se verifica el video de presentación del mecanismo original del autor y se hace un sondeo para definir el diseño que debe tener el péndulo para nuestro mecanismo y se determinan algunos aspectos para tener en cuenta en su construcción:

- Para los cálculos a realizar se define que este péndulo se analizará como un péndulo físico, ya que este está compuesto por una masa suspendida en un punto cero, el cual pivota mediante un elemento rígido conector que en este caso será una varilla, al trabajarlo como un elemento sólido, la masa inercial está compuesta por la sumatoria de cada una de las masas de estos componentes y habrá que calcular la ubicación de su centro de masa, debido a que se desplaza sobre la vertical y ya no será el centro del disco como lo sería de tratarse como un péndulo simple.
- Debe ser de altura variable, ya que nos permitirá modificar su altura y verificar en que posición el péndulo oscila con más frecuencia y periodo brindando a la viga un movimiento continuo y con más fuerza al momento de impacto con una superficie.
- Su masa también será una variable para tener en cuenta para su funcionamiento y mayor aprovechamiento que genere la interacción entre péndulo, viga oscilante y contrapesos.
- Su masa será compuesta por 10 discos que conformaran un peso total de 12,4 kg, esto nos permitirá variar y realizar pruebas para verificar la eficiencia del mecanismo.
- La posición del péndulo será horizontal y no vertical como el que se presenta originalmente, esto permitirá que el accionamiento del péndulo sea fácil y que además permita realizar una futura adaptación de algún dispositivo de accionamiento eléctrico o neumático para futuras pruebas.
- El punto de sujeción del péndulo hacia la viga debe permitir modificar la distancia con respecto al punto pivote principal, además de que la fricción que va a presentar la oscilación del péndulo debe ser mínima, esto para que el péndulo pueda suministrar la mayor energía hacia la viga oscilante.

#### 4.3.1. Cálculos del péndulo

Para los cálculos que se van a realizar para el péndulo se definen las siguientes características de construcción las cuales fueron obtenidas mediante una modelación que se realizó en el software CAD SolidWorks.

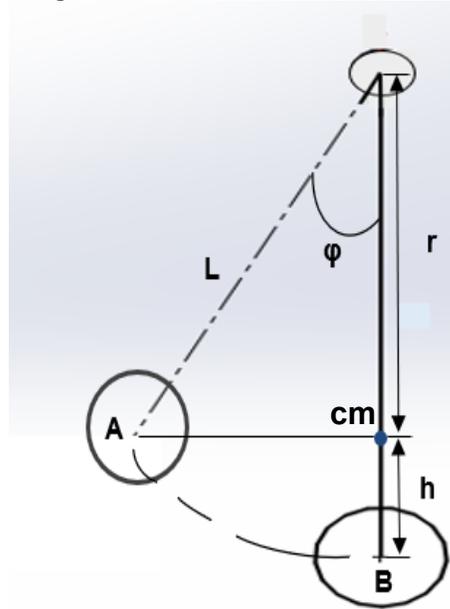
Tabla 9. Componentes para el péndulo

COMPONENTES PARA EL PÉNDULO			
DISCOS DEL PÉNDULO			
Propiedades	Símbolo	Valor	Unidades
Densidad	$\rho$	7,87	$\text{g/cm}^3$
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,0762	m
Espesor disco	$e_d$	2,54	cm
VARILLA PARA EL PÉNDULO			
Propiedades	Símbolo	Valor	Unidades
Diámetro del brazo	$D_b$	0,013	m
Longitud Brazo	$l_z$	0,250	m
Masa	$m$	0,046	kg
Angulo inicial del péndulo con respecto a la vertical	$\varphi$	60	°

Para el desarrollo de los cálculos se estableció que se realizaran teniendo en cuenta algunos parámetros de las configuraciones a las que sometería el péndulo. Se realiza con un peso total de 12,4 kg que es el peso máximo que se determinó para la funcionalidad del péndulo y una longitud de 248,1 mm. En la sección de anexos se podrá observar tablas en las que se desarrollan cálculos para el péndulo según su configuración las cuales son más específicas.

Se logra apreciar que se define un ángulo inicial para el péndulo de 60° con respecto a la vertical ya que a esa posición se llevara el péndulo para iniciar con su excitación constante y que inicie a accionar la viga oscilante. A medida que el péndulo oscile su ángulo puede aumentar, pero esto está sujeto a la fuerza de excitación que le suministre el operador.

Figura 52. Péndulo en funcionamiento



Se establece estos parámetros iniciales para realizar los cálculos de la energía mecánica que presentara el péndulo físico en esta condición, como se mencionó anteriormente en la parte de anexos se podrá verificar los demás datos calculados según la configuración que se desee para el mecanismo.

Se procede a desarrollar todo el procedimiento para determinar la energía mecánica con un ángulo inicial de excitación para el péndulo de  $60^\circ$

Datos:

$$L=248,1 \text{ mm}$$

$$\varphi= 60^\circ$$

$$m=12,4 \text{ kg}$$

Se procede a calcular la altura del punto A con respecto al punto B, aplicando la ecuación correspondiente a péndulo físico.

$$h = r_{cm} - r_{cm} \cos \varphi$$

$$h = 0,248 \text{ m} - 0,248 \text{ m} \cos (60)$$

$$\mathbf{h = 0,124 \text{ m}}$$

Se procede a calcular el momento de inercia del sistema general que conforma la barra y el disco del péndulo.

- Momento de inercia de los discos

$$I_{\text{discos}} = \frac{1}{2} m_{\text{discos}} \varnothing_{\text{discos}}^2$$

$$I_{\text{discos}} = \frac{1}{2} (12,4 \text{ kg})(0,0762 \text{ m})^2$$

$$I_{\text{discos}} = \mathbf{0,036 \text{ kg m}^2}$$

- Momento de inercia de la varilla.

$$I_{\text{varilla}} = \frac{1}{3} m_{\text{varilla}} L_{\text{varilla}}^2$$

$$I_{\text{varilla}} = \frac{1}{3} (0,046 \text{ kg})(0,250 \text{ m})^2$$

$$I_{\text{varilla}} = \mathbf{0,001 \text{ kg m}^2}$$

- Momento de inercia total del péndulo físico

$$I_{\text{total}} = I_{\text{discos}} + I_{\text{varilla}} + (m_{\text{discos}} \cdot cm_{\text{discos}}^2)$$

$$I_{\text{total}} = 0,036 \text{ kg m}^2 + 0,001 \text{ kg m}^2 + 0,76 \text{ kg m}^2$$

$$I_{\text{total}} = \mathbf{0,8 \text{ kg m}^2}$$

Ahora se procede a realizar el análisis correspondiente a la energía total que genera el péndulo físico, se debe tener en cuenta que la energía potencial de centro de masa c.m disminuye y aumenta la energía cinética de rotación.

$E_{PA}$  = Energía del péndulo en la posición inicial A con  $V_A = 0$

$E_{PA}$ :  $E_{\text{pot}}$ :  $mgh$

$E_{PB}$  = Energía del péndulo en la posición B con velocidad tangencial máxima  $V_B$

$$E_{PB} = E_{\text{cinetica}} = \frac{1}{2} I W_B^2$$

$E_{PA} = E_{PB} = E_P$

$$mgh = \frac{1}{2} I W_B^2$$

despejando  $W_B$

$$W_B = \left( \frac{2mgh}{I_{\text{total}}} \right)^{0.5}$$

Se halla el valor  $W_B$

$$W_B = \left[ \frac{2(12,4 \text{ kg}) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (0,124 \text{ m})}{0,8 \text{ kg m}^2} \right]^{0,5}$$

$$W_B = 6,141, \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$W_B^2 = 37,71 \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2}$$

#### 4.3.1.1. Cálculo de energía cinética generada en el punto **B**

$$E_P = E_{PB} = \frac{1}{2} I W_B^2 = \left[ \frac{1}{2} (0,8 \text{ kg m}^2) \left( 37,71 \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} \right) \right]$$

$$E_{PB} = 15,08 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \mathbf{15,08 \text{ J}}$$

Como se puede observar se calculó la energía cinética generada por el mecanismo con la masa máxima a la que se puede someter y con una longitud de 248,1 mm en el punto **B**.

Eficiencia del mecanismo.

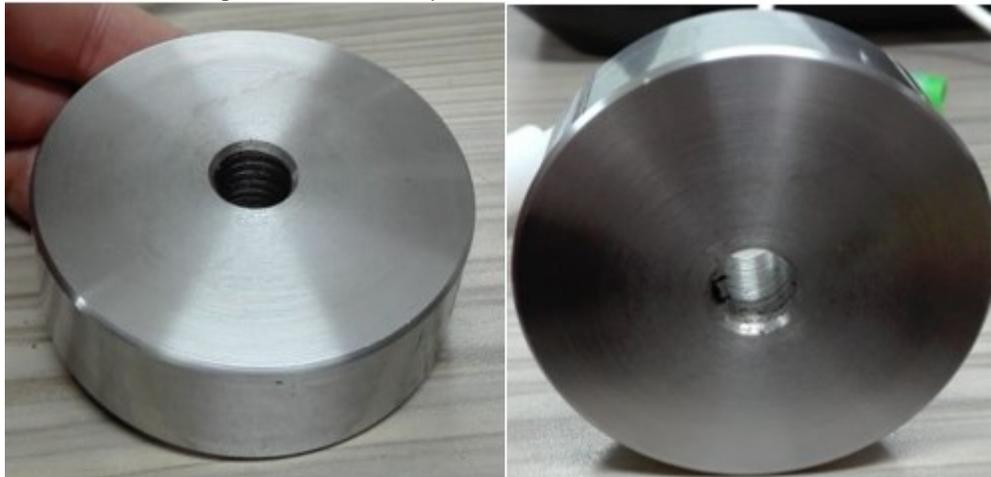
$$\eta_{\text{mecanismo}} = \frac{E_{\text{bomba}}}{E_{\text{péndulo}}} = \frac{12,08 \text{ J}}{15,07 \text{ J}} = 0,801 = \mathbf{\eta = 80,1\%}$$

### 4.3.2. Construcción del péndulo

#### 4.3.2.1. Discos del péndulo

Se establece realizar el corte de 13 discos de lámina de acero 1020 HR, para conformar el peso que tendrá el péndulo, se escoge este material ya que nos permite obtener un peso considerable y no infiere en altos costos monetarios. Además de que la masa del péndulo no estará sujeta a esfuerzos mecánicos.

Figura 53. Discos del péndulo de masa variable



Como se observa en la figura 53, se obtienen discos con diámetros exteriores de 76,2 mm, anchura de 25,4 mm y un diámetro interno de 13 mm, en aquel diámetro interno pasara una varilla de 13 mm que será la base donde estos discos se apoyaran para conformar la masa del péndulo. La cantidad de discos permitirá que se puedan variar para realizar pruebas y determinar así la eficiencia del mecanismo.

#### 4.3.2.2. Varilla roscada para el péndulo

La varilla roscada que se seleccionó para conformar la base del péndulo y de los discos, fue una varilla cincada con diámetro de 13 mm y longitud de 500 mm, se seleccionó este material ya que no es complejo para su adquisición netamente comercial y permite una fácil manipulación para modificaciones con respecto al tema de la construcción del péndulo. Esta varilla estará sujeta a modificaciones como la que se desarrollará para sujetar completamente el péndulo a unas chumaceras de pedestal por medio de un pequeño pasador.

Figura 54. Varilla roscada para el péndulo



#### 4.3.2.3. Base para el péndulo

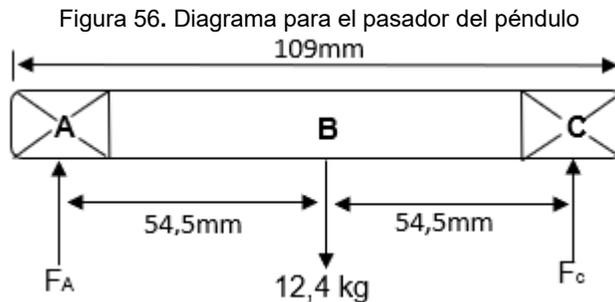
Para este elemento se seleccionó un tubo cincado de 13 mm que se adapta muy bien para la construcción de la base del péndulo, esta permitirá una sencilla maniobrabilidad para sujetar los discos y modificar la altura del péndulo.

Figura 55. Base de altura variable del péndulo



#### 4.3.2.4. Cálculo para el Pasador que sujetara al péndulo

Este elemento es el encargado de sujetar la masa total del péndulo y además será el punto de oscilación de este. Se tendrá en cuenta que es un pasador simétrico, ya que tendrá dos apoyos en sus extremos y la masa que va a sujetar es de 12.4 kgf que ira sujeta en la mitad, lo que significa que los puntos de apoyo van a soportar cada uno la mitad del peso total que se menciona anteriormente. Eso se demuestra con los siguientes cálculos que se presentan.



Para el cálculo de este pasador se establece una distancia para el proceso de diseño. Se asigna una distancia aproximada de 109 mm, que sería la suma de la cara frontal de la viga y el espesor de los rodamientos a implementar.

Conversión del peso del péndulo a la fuerza que se someterá el punto B del eje.

$$F_B = (12,4 \text{ kgf}) \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kgf}} \right)$$

$$F_B = 121.644 \text{ N}$$

Cálculo de las reacciones RA y RC en los puntos de apoyo.

Como se mencionaba anteriormente, como tenemos un pasador simétrico las fuerzas a las que estarán sometidos los apoyos serán la mitad de la fuerza total que se ejerce en el punto B.

$$R_A = \frac{121.644 \text{ N}}{2}$$

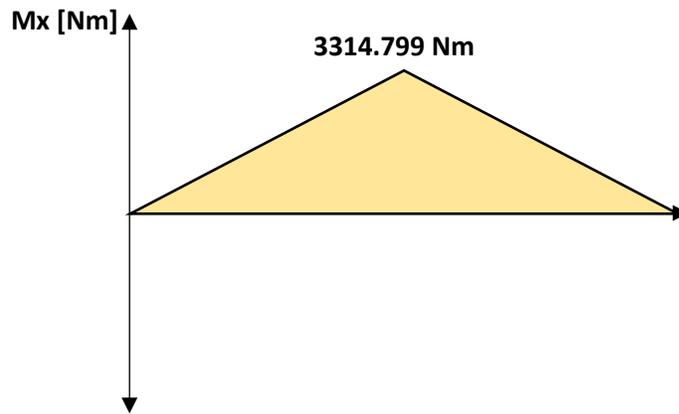
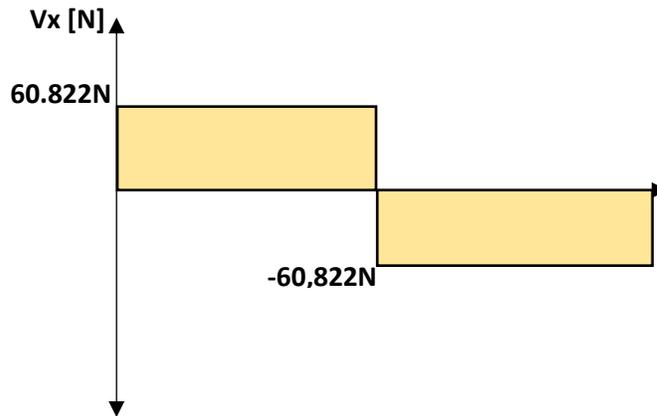
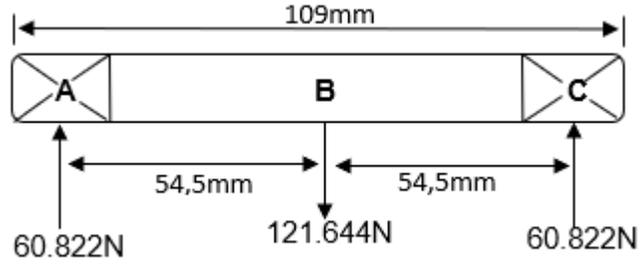
$$R_A = 60.822 \text{ N}$$

$$R_C = \frac{121.644 \text{ N}}{2}$$

$$R_C = 60.822 \text{ N}$$

Diagramas de cuerpo libre, momento flector y fuerza cortante.

Figura 57. Diagrama de cuerpo libre



Para el diseño y construcción de este pasador, se decide que sea de material SAE 1020 laminado en caliente. Ya que es un material donde sus características mecánicas se adaptan a las cargas a las que va a estar sometido el pasador, sus características son:

Figura 58. Apéndice 3 Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados de Robert L. Mott 4. Edición P. A6 (2006)

**APÉNDICE 3 PROPIEDADES DE DISEÑO PARA LOS ACEROS AL CARBÓN Y ALEADOS**

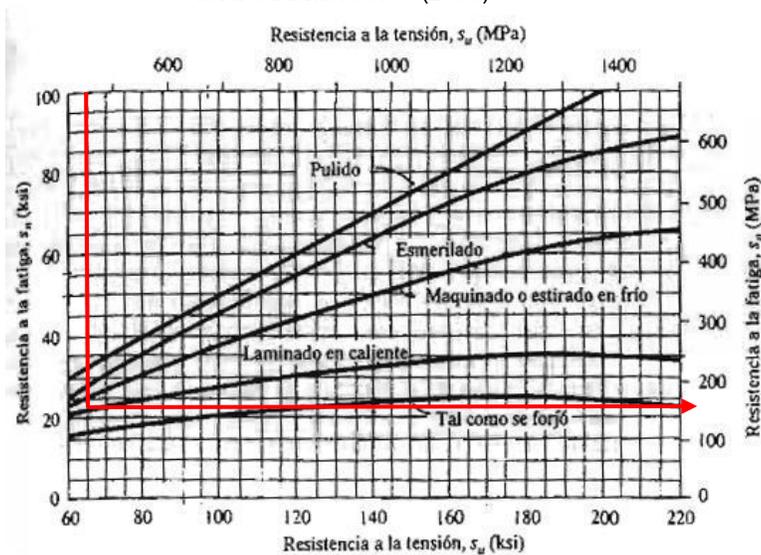
Designación del material (Número AISI)	Condición	$S_u$ Resistencia a la tensión		$S_y$ Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121

$$S_y = 207 \text{ Mpa}$$

$$S_u = 379 \text{ Mpa}$$

Para seleccionar el valor correspondiente para la resistencia a la fatiga, se realiza con respecto a la siguiente tabla que presenta el libro de Diseño de máquinas de Robert L. Mott 4 edición en su capítulo 5.

Figura 59. Resistencia a la fatiga  $S_n$  en función de la resistencia a la tensión Diseño de máquina. Robert L. Mott 4 edición P.175 (2006)



En la figura 59, se observa dos líneas rojas que se intersecan entre sí, que indican el valor correspondiente que se le asignara a la resistencia a la fatiga con respecto a un material laminado en caliente como lo es el acero SAE 1020 seleccionado, el valor aproximado resultante es:

$$S_n = 132 \text{ Mpa}$$

Con los valores anteriores definidos se procede a calcular la resistencia a la fatiga real que presentara el material, con la siguiente formula:

$$S_n^* = S_n (C_m)(C_{st})(C_R)(C_s)$$

Donde,

$S_n$ = Resistencia a la fatiga

$C_m$ = Material manufacturado

$C_{st}$ = Factor de riesgo

$C_R$ = Confiabilidad

$C_s$ = Tamaño

Para el diseño se seleccionará otros valores que se deben tener en cuenta para calcular la resistencia a la fatiga real, como:

$C_m$ = 1 para acero forjado

$C_{st}$ = 1 para un material sometido a flexión

$C_s$ = 1

Y un factor de confiabilidad de  $C_R$ = 1

Se reemplazan todos los datos obtenidos en la ecuación anteriormente planteada para obtener la resistencia a la fatiga real.

$$S_n^* = (132 \text{ Mpa})(1)(1)(1)(1)$$

$$S_n^* = 132 \text{ Mpa}$$

A continuación, se procede a realiza el cálculo para definir el diámetro necesario que conformara al pasador del péndulo, esto se hará teniendo en cuenta datos de cálculos realizados anteriormente y la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{2.94(K_t)(V) \left( \frac{N}{S_n^*} \right)}$$

Donde,

$K_t$ = Concentrador de esfuerzos

$V$ = Fuerza cortante

N= Factor de diseño

$S_n^*$ = Resistencia a la fatiga real

En esta ocasión se decide tomar un valor de factor de diseño de:  $N= 2.5$

Se selecciona este valor ya que aplica para “diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente” (Mott, 2006, p.185).

La fuerza cortante que se asignará será de 60,822 N ubicada en el punto B del eje ya que esta es la única fuerza cortante vertical importante que se encuentra presente:

$$V= 60,822 \text{ N}$$

El concentrador de esfuerzos que se tomara es de  $K_t= 2.5$ . Ya con estos valores definidos el cálculo del diámetro necesario será:

$$D = \sqrt{2.94(2.5)(60,822 \text{ N}) \left( \frac{2.5}{132 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)}$$

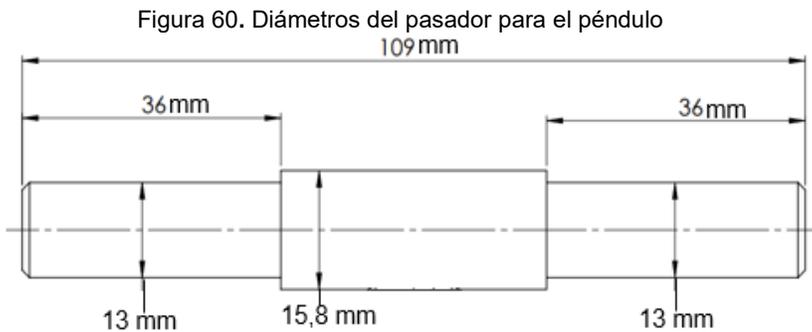
$$D = 0.001840 \text{ m}$$

$$D = 1,84 \text{ mm}$$

Partiendo de este diámetro calculado se construirá y se ajustará el diseño que requiera este elemento.

#### 4.3.2.4. Diámetros del pasador para el péndulo

Partiendo del diámetro calculado anteriormente se procede a establecer unos diámetros que conformaran el pasador del péndulo y conforme se definen estos diámetros se determinan los rodamientos probables que se van a utilizar para la construcción.



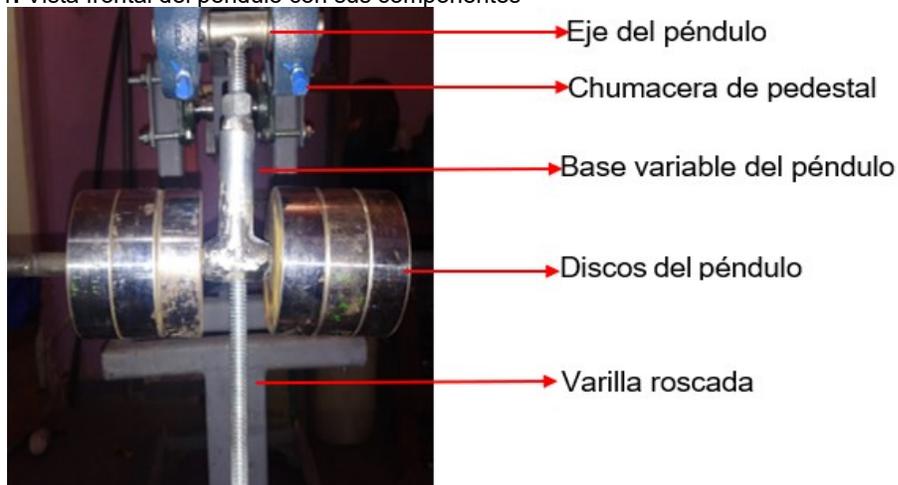
Ya con el tamaño del pasador definido se procede a realizar la unión con la varilla roscada para formar el soporte principal que servirá para variar la altura del péndulo. Lo especificado se podrá ver en el siguiente numeral donde se presenta los resultados de fabricación para el péndulo.

#### 4.3.2.5. Resultado de la fabricación de péndulo de masa variable

Para la construcción del péndulo, se utiliza una varilla de 13 mm de diámetro con una longitud de 249 mm y se sujeta por medio de un pequeño pasador que a su vez ira sujeto a la viga oscilante por medio de unas chumaceras de pedestal que serán las encargadas de permitir que el péndulo realice una oscilación libre con una mínima fricción.

Además, esta varilla roscada tendrá sujeta la base del péndulo permitiendo así que se pueda variar la altura de la masa.

Figura 61. Vista frontal del péndulo con sus componentes



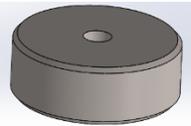
En la figura 61, se observa el montaje general del péndulo de masa variable con algunos de sus discos y se presenta por medio de cartas tecnológicas de fabricación

las especificaciones técnicas que se tuvieron en cuenta a la hora de elaborar todos los componentes de ese elemento que conforma el mecanismo oscilante de dos etapas.

En la tabla 10. Se presenta el proceso y descripción en la consecución de las piezas y se resaltan los siguientes ítems.

- Nombre de la pieza
- Dibujo de la pieza
- Operación realizada sobre el elemento
- Equipo utilizado en la ejecución del proceso
- Descripción del proceso
- Tiempo utilizado
- Plano

Tabla 10. Carta tecnológica de fabricación para el péndulo

PIEZA	DIBUJO DE LA PIEZA	OPERACIÓN	MATERIAL	CNT	EQUIPO	RESULTADO DEL PROCESO	TIEMPO (m)	NUMERO DEL PLANO
DISCOS		Corte de barra	Acero SAE 1020	10	Sierra sin fin	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	30	8
		Mecanizado del material			Torno paralelo		120	
		Perforación para varilla de 13mm			Torno paralelo		30	
PASADOR DEL PENDULO Y VARILLA ROSCADA		Corte del material	Acero SAE 1020	1	Sierra sin fin	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	20	6
		Mecanizado del eje según plano			Torno			
		Soldadura del eje con varilla roscada	Material Cincado	1				
		Corte tubo						
SOPORTE PARA DISCOS		Corte de varilla	Material cincado	1	Sierra sin fin	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	10	7
					Taladro magnético		10	
		Soldadura			Equipo de soldadura		20	
TOTAL, DEL TIEMPO DE PROCESOS							240	

#### 4.4. DISEÑO DE LOS CONTRAPESOS PARA LA VIGA OSCILANTE

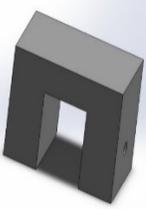
Para la construcción de este elemento se verifico en varias oportunidades el video de presentación de Veljko Milkovic como se mencionó anteriormente y se procede a diseñar un contrapeso similar al que él presenta, pero con la diferencia que el nuestro tendrá un tornillo de sujeción hacia la viga oscilante, esto para evitar que el contrapeso pierda estabilidad y afecte el funcionamiento del mecanismo, como se observa en la figura.

Figura 62. Contrapeso en U para la viga oscilante



A continuación, se presenta la carta tecnológica para este elemento, donde se describe el proceso de construcción que se realizó.

Tabla 11. Carta tecnológica de fabricación para el contrapeso

PIEZA	DIBUJO DEL PROCESO	OPERACIÓN	MATERIAL	CANT.	EQUIPO	RESULTADO DEL PROCESO	TIEMPO (m)	NUMERO DEL PLANO
CONTRAPESO		Corte de la lamina	Acero SAE 1020	12	oxicorte	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	10	10
		unión de secciones que conforman al contrapeso			Equipo de soldadura		60	
		Perforación para tornillo de sujeción de 13mm			Taladro de árbol		10	
		Aplicación de anticorrosivo			Espátula plástica		20	
		Aplicación de pintura			Pistola para pintar		20	
		TOTAL, DEL TIEMPO DE PROCESOS					120	

#### 4.5. DISEÑO DE LA BASE PARA LA VIGA

Para la construcción de esta base se tienen en cuenta algunos parámetros que son importantes para su desarrollo, estos son:

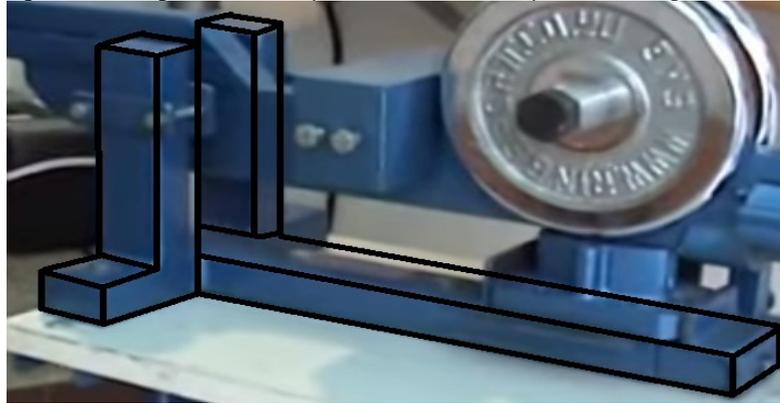
- Debe dar estabilidad a la viga oscilante durante su funcionamiento. Será la encargada de sujetar el pivote principal para la viga oscilante.
- El tamaño tendrá relación con la viga oscilante ya que no se quiere que haya un sobredimensionamiento.

En un proceso anterior de este libro se presentó algunos parámetros que se tuvieron en cuenta para lograr determinar el tamaño correspondiente que tendría el soporte de la viga oscilante, este proceso se desarrolló por medio de capturas de video y relacionamiento de las partes del cuerpo del autor para definir una medida aproximada.

Se tuvo en cuenta que se iba a respetar el diseño original de este soporte, donde se puede observar dos peldaños verticales, que serán los encargados de soportar

el punto pivote de la viga oscilante por medio de chumaceras de brida para cuatro tornillos, también tendrá una barra horizontal que servirá como punto de amortiguación para el golpe de choque que producirá la viga.

Figura 63. Imagen de silueta para el diseño del soporte de la viga oscilante



En la figura 63, se presenta una captura que se realizó al video de Veljko Milkovic donde se logra registrar una imagen esquemática de la base original que presenta el mecanismo oscilante de dos etapas.

#### 4.5.1. Proceso de dimensionamiento para la base de la viga oscilante

Como se mencionaba anteriormente se define el tamaño de la base de la viga por medio de capturas y aproximaciones con partes del cuerpo del autor, para este Caso se relacionó una parte del miembro superior derecho para definir la altura que tendrían los soportes verticales de la estructura.

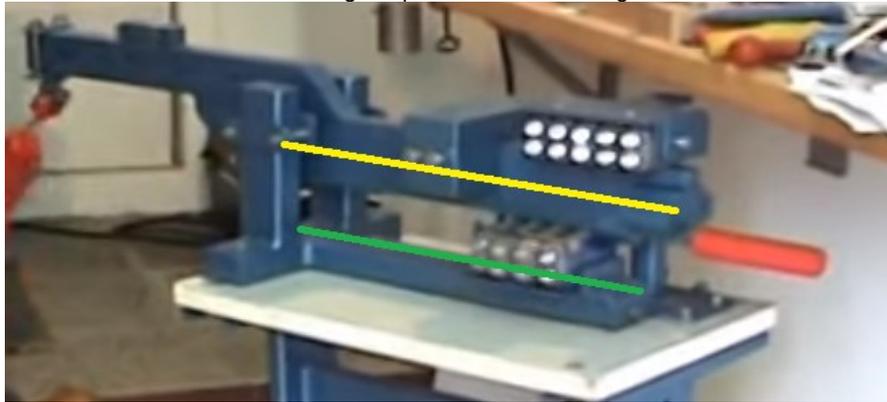
Figura 64. Dimensionamiento de la altura para el soporte de la viga oscilante tomada de YouTube



Como se observa en la figura anterior se marca la altura de uno de los soportes verticales de color amarillo y se procura relacionar con parte del antebrazo del autor y determinar una medida aproximada y adecuada para esa sección, además que esta nos va a permitir variar la altura de la viga para realizar futuras pruebas o ajustes que requiera la viga oscilante para un buen funcionamiento.

Las medidas que se definieron para esa sección se presentan en uno de los planos de diseño y se justifica con las medidas que presenta las extremidades de unos de los autores del proyecto. A su vez se presenta cual fue el parámetro que se utilizó para asignar una medida aproximada a la sección horizontal de la base, este parámetro fue, tener en cuenta la longitud que iba a tener el lado derecho de la viga oscilante, ya que esta sección es la que va a amortiguar al estar la viga con un movimiento alternativo vertical y tendrá una similitud en cuanto longitudes.

Figura 65. Dimensionamiento de la longitud para la base de la viga oscilante tomada de YouTube



Como se observa se trazan 2 líneas paralelas donde se pretende establecer la medida aproximada que presentara la sección horizontal del soporte de la viga, se visualiza que tendrán una similitud y se puede observar que la viga tendrá esta base para amortiguar los golpes de impulso que generará. Se presentará con más detalle estas medidas en el plano de presentación de este elemento.

#### 4.5.2. Construcción de la base para la viga oscilante

Para el proceso de construcción de este elemento se decide seleccionar un perfil de tubo cuadrado de acero A36 con las siguientes medidas 40x40x3mm. Los cortes con sus respectivas longitudes se establecerán en los planos del anexo 2 que se van a definir para este elemento.

Se procede a realizar el corte de perfil cuadrado con pulidora de corte para cada una de las secciones que harán parte del soporte de la viga oscilante.

Figura 66. Corte de tubo estructural cuadrado



El proceso que continua después del corte de cada uno de los elementos que conformaran el soporte de viga, es realizar un pre – armado y apuntalado de cada uno de los tramos que conformaran esta base.

Figura 67. Primera fase de armado de la base para la viga oscilante



En la figura anterior se observa la fase resultante del soporte construido, donde se observa ya un elemento prácticamente armado solo faltando unos ángulos de inclinación que servirán para sujetar la base a la mesa principal de apoyo del mecanismo oscilante.

En la siguiente figura se presenta la base construida completamente, lista para finalizar con detalles de pintura y orificios para sujetar a la mesa principal.

Figura 68. Fase final de construcción para el soporte



#### 4.5.2.1 Análisis de resistencia de la estructura de soporte de la viga oscilante.

El elemento ABC de la estructura de soporte de la viga oscilante soporta carga transversal aplicada en B como resultado de la carga centrífuga generada por la rotación del péndulo con pivote en el extremo izquierdo de la viga oscilante.

Se calcula la fuerza centrífuga  $F_c$  y se construye el diagrama de cuerpo libre DCL N°2 de la viga oscilante. El pivote de la viga oscilante es sostenido por el elemento ABC, lo cual genera flexión en este elemento.

$$F_c = mw^2r$$

$F_c$ : Fuerza centrífuga.

$$m = 12,4 \text{ kg}$$

$$w = 8,89 \text{ rad/s}$$

$$r = 0,120 \text{ m}$$

$$F_c = 12,4 \text{ kg} \times 8,89^2 \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} \times 0,120 \text{ m}$$

$$F_c = 117,6 \text{ N}$$

$$F_{cx} = 117,6 \sin 13^\circ$$

$$F_{cx} = 26,45 \text{ N}$$

Figura 69. DCL N°1

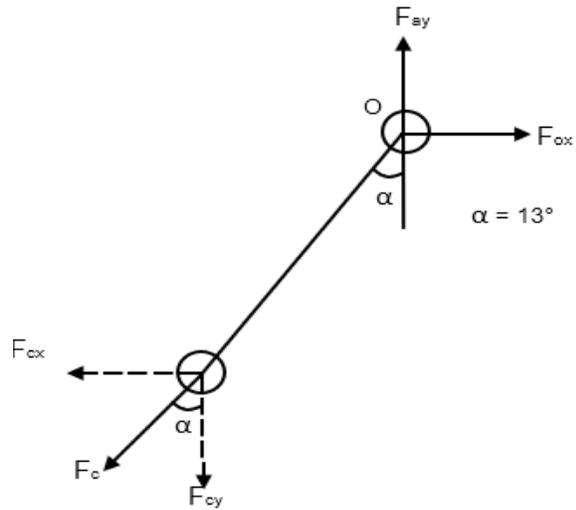


Figura 70. DCL N°2

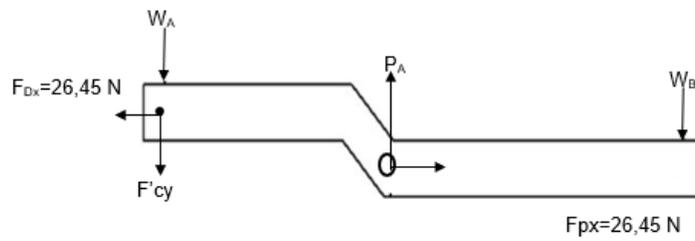
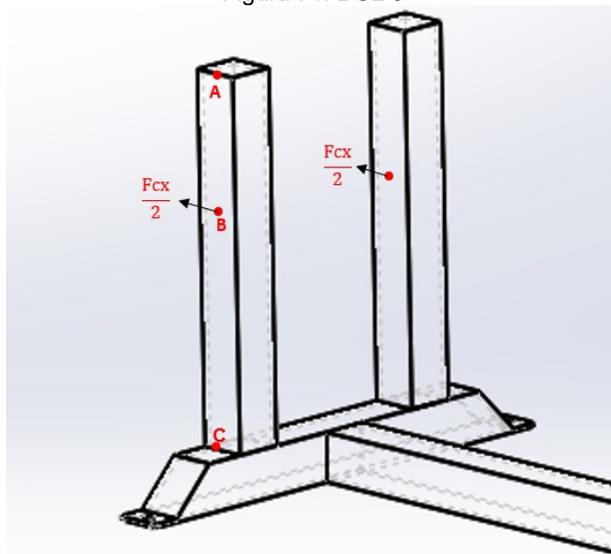
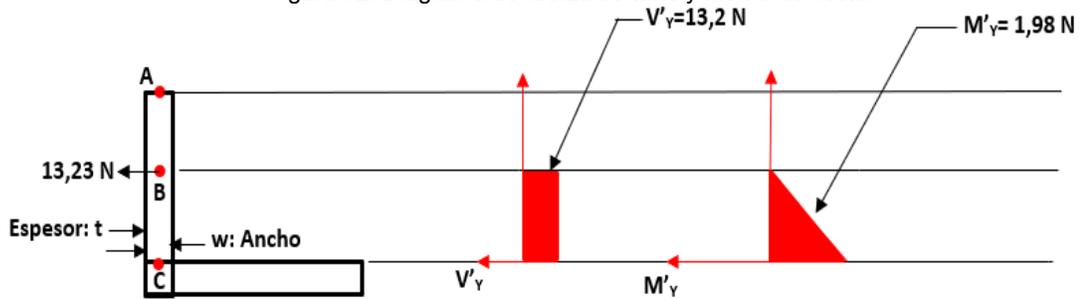


Figura 71. DCL 3



$$0,5F_{px} = (0,5)(26,45N) = 13,23 N$$

Figura 72. Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Se fabrica el elemento ABC en perfil tubular de acero 1020 CR de sección 40 mm X 40 mm X 3 mm debido a la disponibilidad de este material.

El elemento ABC es una viga vertical en cantiléver empotrada en C y se sometió a una fuerza de 13,23 N en B, como reacción a la componente horizontal de la fuerza centrífuga  $F_c = 26,45$  N en el péndulo durante su movimiento de rotación con pivote en el extremo izquierdo de la viga oscilante  $S_y = 297$  MPa.

$$I = \frac{1}{12}(0,04)(0,04)^3 - \frac{1}{12}(0,034)(0,034)^3$$

$$I = 2,13 \times 10^{-7} \text{ m}^4 - 1,11 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I = 1,016 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Debido a la carga aplicada a el elemento ABC se encuentra en flexión y la sección crítica donde se realiza el análisis de resistencia se encuentra un infinitesimal arriba de C, donde el  $M_g' = 1,98$  Nm.

El esfuerzo nominal de flexión máximo será

$$\gamma_{f-\max} = \frac{M_g'}{I} = \frac{1,98 \text{ Nm} * 0,20 \text{ m}}{1,016 \times 10^{-7} \text{ m}^4} = 389763,7 \text{ Pa}$$

$$\gamma_{f-\max} \cong 0,39 \text{ MPa}$$

El factor de diseño resultante es

$$N = \frac{S_y}{\gamma_{f-\max}} = \frac{297 \text{ MPa}}{0,39 \text{ MPa}} = 761,5$$

Un factor de diseño de valor alto, que confirma la seguridad de este elemento.

#### 4.5.3. Modelamiento computacional de la base para la viga oscilante por medio de SolidWorks

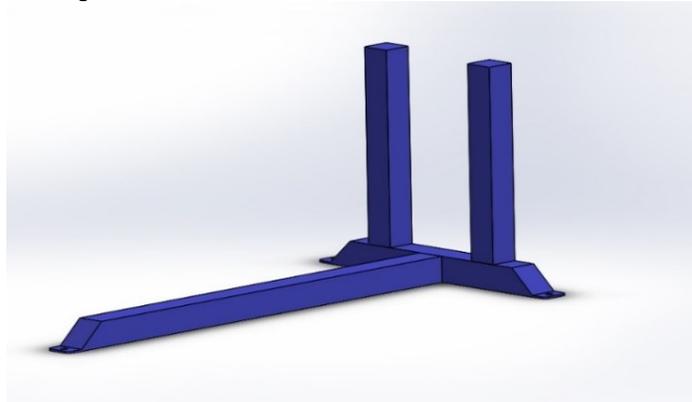
Se realiza el diseño computacional de la base para la viga oscilante por medio del software de diseño CAD SolidWorks, donde se selecciona el material que lo conformara y se definen sus longitudes de diseño final.

Para la construcción de este elemento se determinó aplicar un tubo estructural cuadrado de material ASTM A36 el cual presenta las siguientes propiedades mecánicas.

- Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 Mpa (36300 PSI)
- Esfuerzo a la tensión: 400 – 500 Mpa (58000 – 79800 PSI)
- Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%
- Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

A continuación, se puede observar en la siguiente imagen el modelamiento del elemento en estudio en el software de SolidWorks.

Figura 73. Modelamiento de la estructura en SolidWorks



A su vez se presenta las especificaciones de construcción para la base de la viga oscilante por medio de la siguiente carta tecnológica que se anexa a continuación.

Tabla 12. Carta tecnológica de fabricación para la base de la viga oscilante

PIEZA	DIBUJO DE LA PIEZA	OPERACIÓN	MATERIAL	CNT	EQUIPO	RESULTADO DEL PROCESO	TIEMPO (m)	NUMERO DEL PLANO
		Corte del tubo cuadrado	Perfil de tubo cuadrado	2 metros	Pulidora	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	20	5
		Pre armado y apuntalado de las secciones del soporte			Equipo de soldadura		20	
		Aplicación de los cordones de soldadura para cada sección de la base	6013 (4.8mm)3/16	5 kg	Equipo de soldadura		60	
		Retiro de la escoria generada por el cordón de soldadura aplicada y repaso de soldadura, si aplica.			Piqueta para soldadura		15	
		Aplicación de una base anticorrosiva	Masilla de poliéster	1 lata	Espátula plástica		120	
		Aplicación de pintura	Pintura de aceite	1 lata	Pistola para pintar		60	
TIEMPO TOTAL DE LOS PROCESOS							295	



#### 4.6. DISEÑO DE LA MESA DE SOPORTE PARA EL MECANISMO

Para el proceso de construcción de este elemento se verifico en varias oportunidades el video de presentación que realizo el autor para lograr determinar las medidas aproximadas que conformaría la mesa de soporte para el mecanismo. finalizado este proceso se procede a seleccionar el material indicado que podrá conformar la estructura. El material que se selecciona es un perfil estructural cuadrado de acero A36 ya que por sus propiedades mecánicas es el indicado para soportar los esfuerzos que produzca durante su operabilidad el mecanismo oscilante.

#### 4.6.1. Criterio para el dimensionamiento para la mesa de soporte del mecanismo oscilante.

Como se mencionó anteriormente el dimensionamiento de este elemento requirió de la verificación del video en varias oportunidades ya que esto facilitó determinar las medidas aproximadas que se utilizarían para la construcción. Al realizar esa verificación se logró establecer que se podría relacionar algunas extremidades del cuerpo del autor para establecer unas medidas aproximadas que podrían tenerse en cuenta para la construcción.

Esta relación que se formula se procura fundamentar con las medidas que presenta el cuerpo de uno de los autores que realizan este proyecto, ya que se establece que las medidas antropométricas que presentan son similares a las del autor, cabe aclarar que durante el desarrollo para establecer el dimensionamiento del mecanismo pueden surgir incongruencias al definir las medidas ya que se valida información inexacta por medio de un registro videográfico.

#### 4.6.2. Proceso de construcción para la mesa de soporte del mecanismo oscilante

Se inicia con el corte de las secciones que conformarán la mesa de soporte, estas secciones tendrán unas medidas ya establecidas que se presentarán en los planos que se puede verificar en el anexo 2.

Figura 74. Corte del tubo para la mesa de soporte del mecanismo



Ya con los cortes de las secciones realizados se procede a realizar un pre armado y apuntalado de la base de la mesa para definir perpendicularidad entre las secciones generadas para finalmente aplicar los cordones de soldadura correspondientes.

Figura 75. Fase de soldadura para la estructura



Se repite el mismo proceso para continuar con la construcción total de mesa, pero se utiliza una sección de tubo rectangular que será ubicado en los extremos de la estructura y que soportaran la parte superior de la mesa ya que estos servirán como refuerzos para tolerar la energía mecánica que genere la oscilación del péndulo y la viga oscilante.

Figura 76. Mesa de soporte para el mecanismo

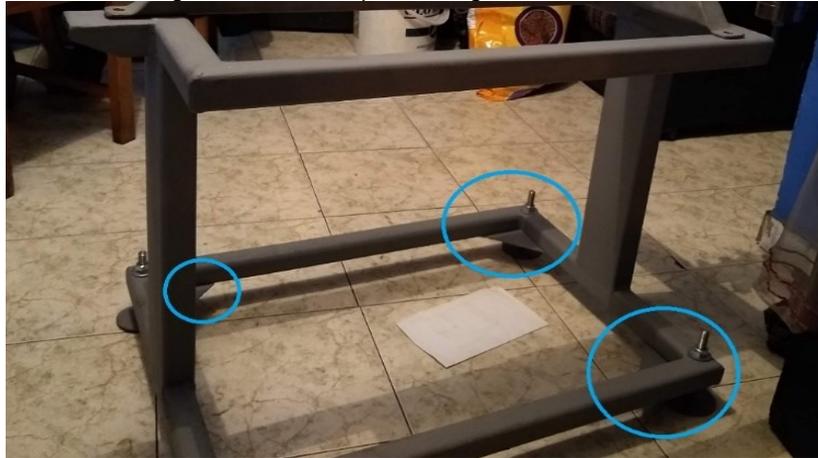


Como se puede observar en la figura anterior, se presenta la mesa de soporte completamente fabricada, donde se detallan los elementos estructurales que se mencionaban anteriormente, además se puede observar que se presenta ya con una base anticorrosiva aplicada esto para evitar principios de oxidación y proceder a sus detalles de pintura para finalizar el proceso de construcción.

Es importante resaltar que para esta estructura fue necesario diseñar elementos que ofrecieran resistencia a esfuerzos que presentaría durante la operabilidad del mecanismo oscilante. Los elementos que se diseñaron y se aplicaron fueron cartelas ubicadas en partes donde se puede ejercer resistencia estructural. Como

se puede observar en la siguiente figura se detalla las cartelas que fueron ubicadas en la parte inferior y superior de la mesa.

Figura 77. Cartelas para dar rigidez a la estructura



Para ajustar esta estructura a la aplicación que se verá sujeta, fue necesario instalar un tubo vertical en uno de los extremos de la mesa para sujetar las bombas de diafragma que serán instaladas. Esto se puede observar en la siguiente figura donde se realizó el ajuste necesario con los elementos metálicos que se requirieron para la construcción.

Figura 78. Instalación de la lámina y tubo para las bombas de diafragma



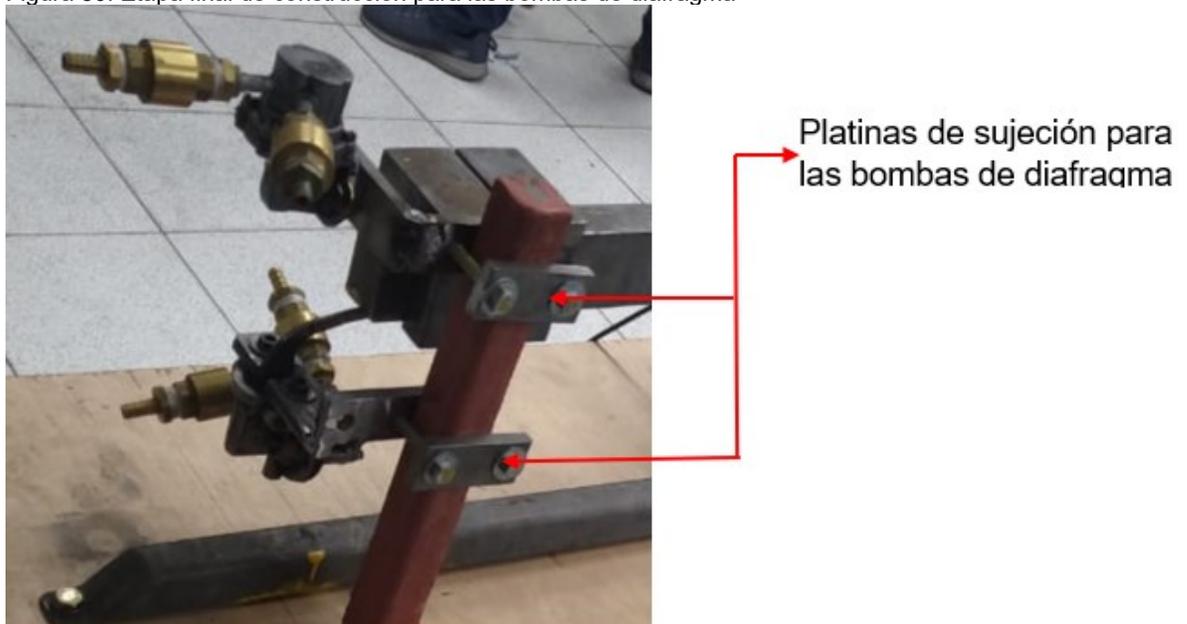
En la figura anterior se observar la sujeción de una platina que fue necesario instalar para sujetar el tubo que soportaran las bombas de diafragma, a continuación, se observa su terminación en la estructura.

Figura 79. Adaptación para las bombas de diafragma instalado a la estructura



Para dar refuerzo a esta adaptación fue necesario ubicar en su parte inferior cartelas que irán soldadas a la platina instalada y a la estructura. para finalizar el proceso de sujetar las bombas de diafragma se utilizarán platinas de sujeción atornilladas al tubo instalado.

Figura 80. Etapa final de construcción para las bombas de diafragma



Para finalizar el proceso de construcción de la mesa de soporte para el mecanismo oscilante de dos etapas, se procede a revisar ortogonalidad entre los elementos soldados para continuar con la base anticorrosiva y aplicar su pintura.

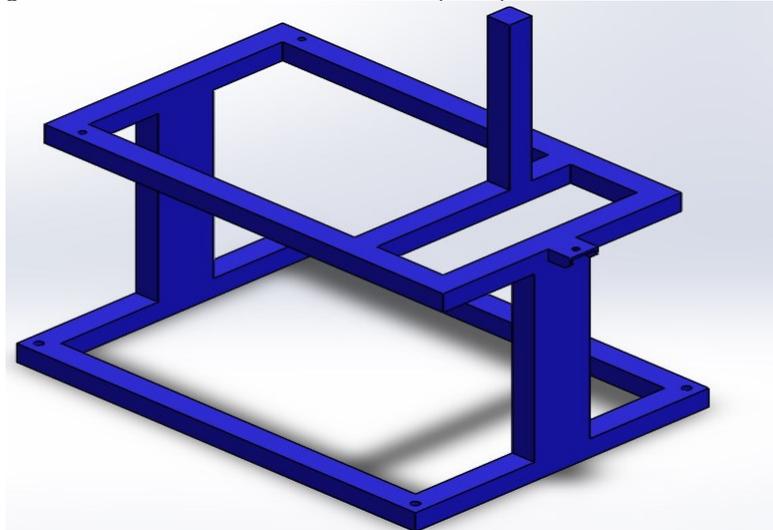
#### 4.6.3. Modelamiento de la mesa de soporte para el mecanismo oscilante por medio de SolidWorks

En este modelamiento por medio del software de SolidWorks se puede observar la estructura completamente diseñada con sus acabados de pintura, cabe recordar que para este elemento se utilizó tubo estructural cuadrado de acero A36 el cual presenta las siguientes propiedades mecánicas.

- Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 Mpa (36300 PSI)
- Esfuerzo a la tensión: 400 – 500 Mpa (58000 – 79800 PSI)
- Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%
- Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

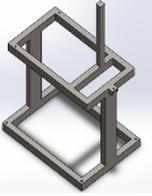
A continuación, se puede observar en la imagen el modelamiento realizado en el programa CAD anteriormente mencionado.

Figura 81. Modelamiento de la mesa de soporte para el mecanismo oscilante



A su vez se presenta las especificaciones de construcción para la mesa de soporte para el mecanismo oscilante de dos etapas por medio de la siguiente carta tecnológica que se anexa a continuación.

Tabla 13. Carta tecnológica de fabricación para la mesa de soporte

PIEZA	DIBUJO DE LA PIEZA	OPERACIÓN	MATERIAL	CNT	EQUIPO	RESULTADO DEL PROCESO	TIEMPO (m)	NUMERO DEL PLANO
<p>MESA DE SOPORTE PARA EL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS</p> 		Corte del tubo cuadrado	Perfil de tubo cuadrado A36	2 m	Pulidora	Las medidas de los cortes y las perforaciones son según los planos (Ver anexo 2)	20	11
		Pre armado y apuntalado de las secciones del soporte			Equipo de soldadura		20	
		Aplicación de los cordones de soldadura para cada sección de la base	6013 (4.8mm)3/16	15 kg	Equipo de soldadura y Piqueta para soldadura		60	
		Retiro de la escoria generada por el cordón de soldadura aplicada y repaso de soldadura, si aplica.						
		Instalación de la platina y tubo que soportara las bombas de diafragma	6013 (4.8mm)3/16		Equipo de soldadura y Piqueta para soldadura		60	
		Aplicación de cordones soldadura y retiro de escoria para detalles finales de construcción.						
		Aplicación de una base anticorrosiva	Masilla de poliéster	1 lata	Espátula plástica		120	
		Aplicación de pintura	Pintura de aceite	1 lata	Pistola para pintar		60	
TIEMPO TOTAL DE LOS PROCESOS							340	

## CAPITULO 5

### SELECCIÓN DE ELEMENTOS NORMALIZADOS QUE CONFORMARAN AL MECANISMO

Para la selección de los pernos y rodamientos que conformaran al mecanismo, se procedió a analizar cada una de las partes en las que están presentes y en las que estarán sujetas a algún tipo de esfuerzo mecánico ejercido por el funcionamiento del mecanismo.

#### 5.1. CÁLCULOS DE LOS PERNOS PARA EL PÉNDULO

Los pernos que se utilizan para para la sujeción del péndulo serán cuatro, los cuales estarán ligados al extremo izquierdo de la viga oscilante junto al péndulo por medio de unas platinas que se adaptaron para complementar el montaje.

Se selecciona cuatro pernos de grado 5.8, los cuales presentan las siguientes características.

Resistencia a la tensión: 520 Mpa

Resistencia a la fluencia: 415 Mpa

Resistencia de prueba: 380 Mpa

Teniendo en cuenta esto valores se procede a realizar el cálculo para seleccionar los pernos indicados para la sujeción del péndulo.

Estos pernos soportaran la fuerza que está ejerciendo el péndulo con su masa total que es de:

$$m_{\text{PÉNDULO}}: 12,4 \text{ kg}_f$$
$$F_p: (12,4 \text{ Kg}_f) \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}_f} \right)$$

$$F_p: 121,644 \text{ N}$$

Esta carga que se presenta será compartida por los cuatro pernos que se utilizaran, cada perno soportara

$$F_{p1} = 30,411 \text{ N}$$

Teniendo en cuenta estos valores calculados, se referencia que la carga máxima de sujeción será el 0,75 por la carga de prueba y se procede a calcular el esfuerzo admisible que tendrán los pernos.

$$\sigma_a: (0,75)(380 \times 10^6 \text{ Pa})$$

$$\sigma_a = 285 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Con este valor definido se procede a calcular el área necesaria al esfuerzo de tensión para el perno, la cual es

$$A_T: \frac{\text{Carga}}{\sigma_a}$$

$$A_T: \frac{30,411 \text{ N}}{285 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$A_T = 1,06705 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$A_T = 0,106705 \text{ mm}^2$$

#### 5.1.1. Selección de pernos según tabla de rosca métricas

Se procede a revisar la tabla que se encuentra en el libro de diseño de máquinas de Robert L. Mott cuarta edición para comparar los valores que esta presenta con respecto al área obtenida anteriormente.

Tabla 14. tabla de dimensiones de roscas métricas Diseño de máquina. Robert L. Mott 4 edición P.718 (2006)

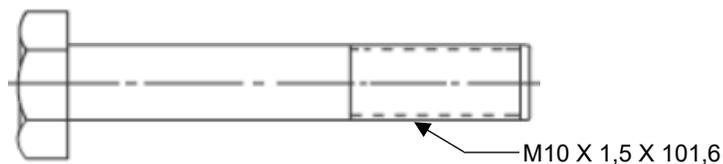
Diámetro mayor básico (mm)	Roscas gruesas		Roscas finas	
	Paso (mm)	Área de esfuerzo de tensión (mm <sup>2</sup> )	Paso (mm)	Área de esfuerzo de tensión (mm <sup>2</sup> )
1	0.25	0.460		
1.6	0.35	1.27	0.20	1.57
2	0.4	2.07	0.25	2.45
2.5	0.45	3.39	0.35	3.70
3	0.5	5.03	0.35	5.61
4	0.7	8.78	0.5	9.79
5	0.8	14.2	0.5	16.1
6	1	20.1	0.75	22.0
8	1.25	36.6	1	39.2
10	1.5	58.0	1.25	61.2
12	1.75	84.3	1.25	92.1
16	2	157	1.5	167
20	2.5	245	1.5	272
24	3	353	2	384
30	3.5	561	2	621
36	4	817	3	865
42	4.5	1121		
48	5	1473		

Se observa que el valor del área necesaria al esfuerzo que se calculó anteriormente es inferior a los valores que presenta la tabla 14, en sus columnas tres y cinco, lo cual nos permite concluir que cualquier perno que se seleccione de esta tabla podrá soportar la fuerza que ejerce el péndulo.

Teniendo en cuenta lo que se mencionó, se procede a seleccionar los pernos que sujetaran al péndulo, estos son:

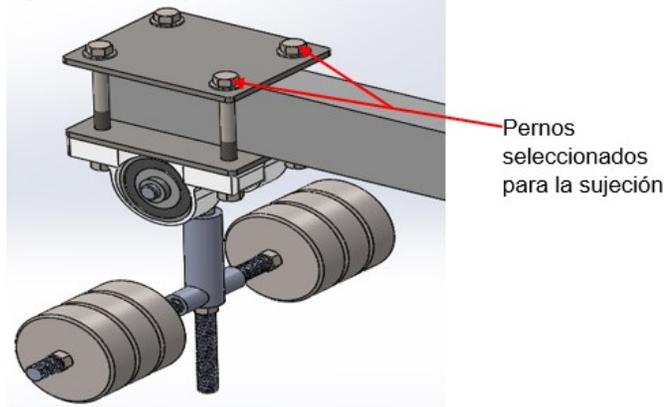
Pernos de M10 X 1,5 para rosca gruesa y cabeza hexagonal para apriete con llave de boca o copa fija, se selecciona de rosca gruesa ya que estos podrán soportar el esfuerzo de tensión que presentara el montaje del péndulo. A continuación, se presenta su representación pictórica.

Figura 82. Representación pictórica de los pernos seleccionados para la sujeción del péndulo



A continuación, se presenta por medio del software CAD SolidWorks el montaje del péndulo junto con la sujeción de los pernos seleccionados.

Figura 83. Montaje del péndulo junto con pernos seleccionados



## 5.2. CÁLCULOS DE LOS PERNOS PARA LA VIGA OSCILANTE

Los pernos que se utilizan para para la sujeción de la viga serán ocho en total, los cuales estarán ligados a chumaceras de pedestal que estarán sujetas a dos barras verticales que hacen parte del soporte metálico de la viga.

Para este montaje se seleccionan los ocho pernos de grado 5.8, los cuales presentan las siguientes características.

Resistencia a la tensión:  $520 M_{pa}$

Resistencia a la fluencia:  $415 M_{pa}$

Resistencia de prueba:  $380 M_{pa}$

Teniendo en cuenta esto valores se procede a realizar el cálculo para seleccionar los pernos indicados para la sujeción de la viga.

Estos pernos soportaran la fuerza que está ejerciendo la viga en ese punto medio, que es de.

$$F_V = 214,839 \text{ N}$$

Esta fuerza total que presenta la viga será compartida por los ocho pernos que se utilizaran, cada perno soportara

$$F_{V1} = 26,8548 \text{ N}$$

Teniendo en cuenta este valor determinado, y como se mencionó anteriormente se referencia que la carga máxima de sujeción será el 0,75 por la carga de prueba y se obtiene el mismo esfuerzo admisible que tendrá cada perno.

$$\sigma_a = (0,75)(380 \times 10^6 \text{ Pa})$$

$$\sigma_a = 285 \times 10^6 \text{ Pa}$$

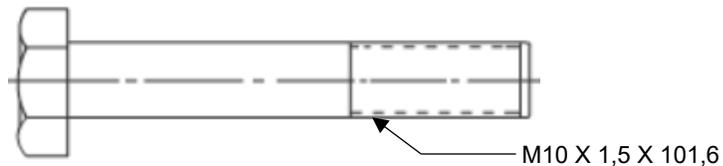
Con este valor definido se procede a calcular el área necesaria al esfuerzo de tensión para uno de los pernos, lo cual es

$$A_T = \frac{\text{Carga}}{\sigma_a}$$
$$A_T = \frac{26,8548 \text{ N}}{285 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$
$$A_T = 9,42273 \times 10^{-8} \text{ m}^2$$
$$A_T = 0,0942273 \text{ mm}^2$$

Obteniendo el valor del área necesaria para el esfuerzo de tensión se compara este valor con los presentados en la tabla 14, para seleccionar el adecuado, pero se concluye que el valor del área que tenemos es inferior al que presenta la tabla, lo que permite concluir que todos los pernos que se presentan ahí aplican para la sujeción de la viga que se va a realizar.

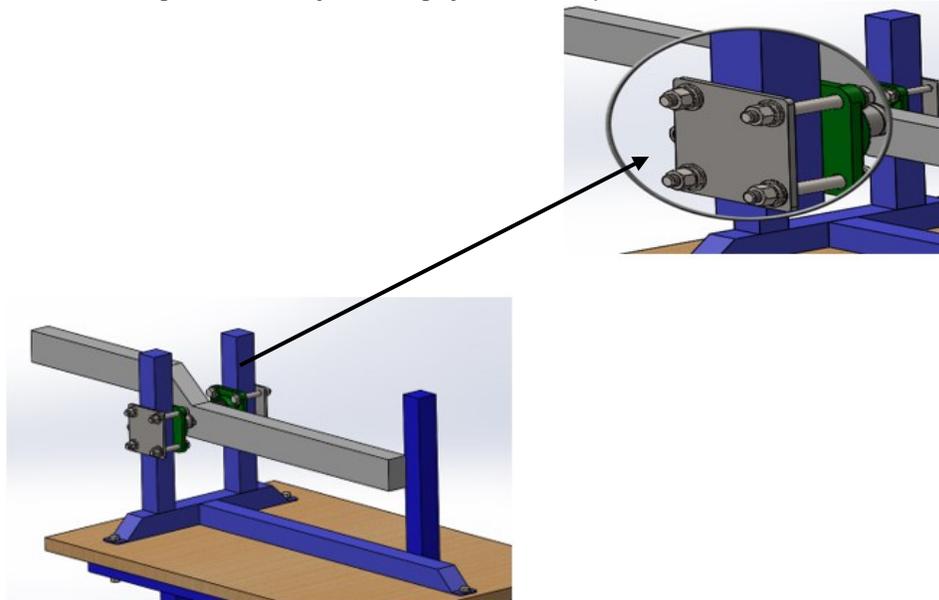
Siendo así, se procede a seleccionar la misma referencia de perno que se seleccionaron para el péndulo. Será un perno del sistema métrico el cual se presenta a continuación junto con el montaje que se realizó para la viga oscilante por medio del software de SolidWorks.

Figura 84. Representación pictórica de los pernos seleccionados para la sujeción de la viga



Montaje en SolidWorks

Figura 85. Montaje de la viga junto con los pernos seleccionado



### 5.3. CÁLCULOS DE LOS PERNOS PARA LA BASE DE LA VIGA OSCILANTE

Para el cálculo y selección de estos pernos se procede a realizar el mismo procedimiento que se planteó anteriormente, teniendo en cuenta la misma referencia en cuanto al grado, para el perno seleccionado.

Para esta selección se tienen en cuenta tres fuerzas que se presentarán en la estructura las cuales serán la fuerza que ejerce el péndulo, la viga y las bombas que serán instaladas a la estructura, estos valores son de:

$$F_{\text{péndulo}} = 121,644 \text{ N}$$

$$F_{\text{viga}} = 214,839 \text{ N}$$

$$F_{\text{bombas}} = 561,132 \text{ N}$$

$$F_{\text{total de la base viga}} = (121,644 + 214,839 + 562,132) \text{ N}$$

$$F_{\text{total de la base viga}} = 898,615 \text{ N}$$

Esta fuerza total será compartida por los tres pernos que soportaran la base de la viga oscilante, cada perno soportara una fuerza de:

$$F_{\text{para cada perno}} = 299,54 \text{ N}$$

El esfuerzo admisible que tendrán los pernos es de:

$$\sigma_a = (0,75)(380 \times 10^6 \text{ Pa})$$

$$\sigma_a = 285 \times 10^6 \text{ Pa}$$

A continuación, se procede a calcular el área de esfuerzos para los pernos, para proceder a comparar el valor que se va a obtener con respecto a los valores que presenta la tabla 14, que es una tabla de dimensiones métricas.

$$A_T: \frac{\text{Carga}}{\sigma_a}$$

$$A_T = \frac{299,54 \text{ N}}{285 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

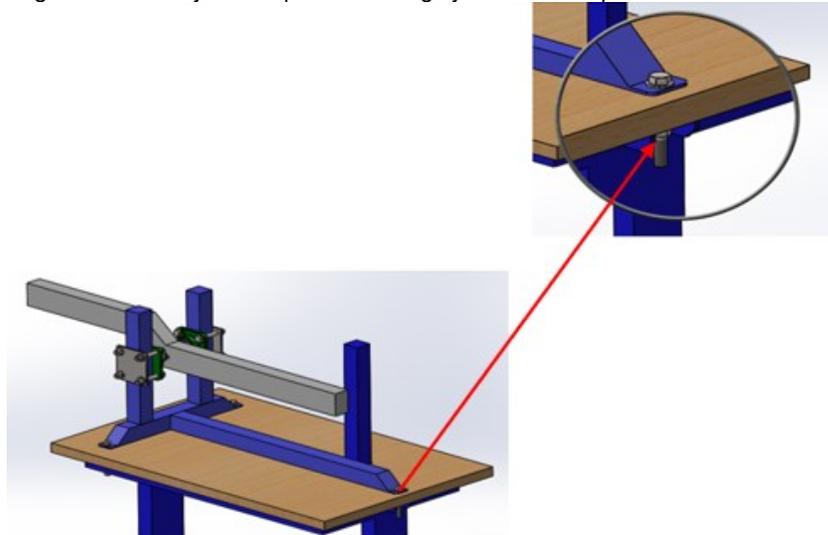
$$A_T = 1,051 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_T = 1,051 \text{ mm}^2$$

Comparando este valor obtenido con la tabla 14, se observa que el valor del área de esfuerzo es mínimo con respecto a los que se presentan, lo que permite concluir que cualquier perno de esa lista está capacitado para soportar los esfuerzos que presenten el funcionamiento del mecanismo. Verificado los valores obtenidos se procede a seleccionar los pernos que irán instalados para la base de la viga y se presenta el montaje por medio de SolidWorks.

La referencia del perno es de M10 X 1,5 X 101,6 que es el que se presenta en la figura 84.

Figura 86. Montaje del soporte de la viga junto con sus pernos seleccionados

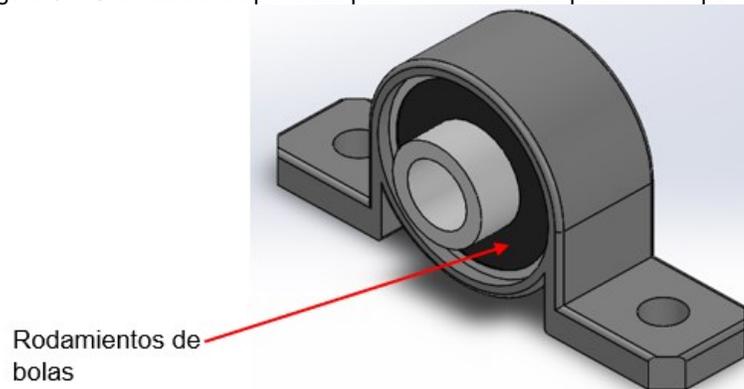


A continuación, se procede a seleccionar los rodamientos que serán necesarios para generar las oscilaciones del péndulo y de la viga, los cuales ejercerá el movimiento de vaivén del péndulo y la fuerza de excitación que se le suministre.

#### 5.4. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA EL PÉNDULO

Para complementar la construcción del péndulo, se optó por seleccionar un rodamiento el cual ira instalado en una chumacera de pedestal. Puesto que este tipo de chumaceras nos permite realizar una sujeción por medios de tornillos a platinas que irán sujetas al lado izquierdo de la viga oscilante, facilitando la variación de la longitud con respecto al punto de pivote principal para realizar pruebas de desempeño del mecanismo. Además, porque este rodamiento permite soportar las cargas perpendiculares a las que estará sometido el pasador.

Figura 87. Chumacera de pedestal para rodamiento del pasador del péndulo



Se procede a realizar los cálculos adecuados para determinar la referencia específica del rodamiento que se utilizara para este montaje.

Se define que esta máquina estará sometida a una duración de diseño de  $L_{10}=30000h$  y tendrá una potencia de 60 RPM, esto calculado por una frecuencia de 1 Hz que presenta el péndulo con sus oscilaciones el cual está sujeto el pasador que ira dentro de los rodamientos.

Anteriormente se definió los diámetros que tendría el pasador del péndulo en la figura 57 y se parte de ese diseño de para seleccionar los rodamientos adecuados, ese diseño presenta los siguientes datos.

Tabla 15. Datos del pasador del péndulo

SECCIÓN	DIAMETROS (mm)	LONGITUD (mm)
A	13	36
B	15,8	37
C	13	36

Los rodamientos que se aplicaron fueron de una hilera de bolas con ranura profunda, sus cálculos son los siguientes.

Cálculo de la carga dinámica básica C, se procede a calcular la duración de diseño  $L_d$ . Los resultados son:

$$L_d = (h)(\text{RPM}) \left(60 \frac{\text{min}}{\text{h}}\right)$$

$$L_d = (30000 \text{ h})(60 \text{ RPM}) \left(60 \frac{\text{min}}{\text{h}}\right)$$

$$L_d = \mathbf{108 \times 10^3 \text{ rev}}$$

Y se procede a calcular la carga dinámica básica C.

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}}$$

Donde,

$P_d$  = Carga radial.

$L_d$  = Duración de diseño.

K = Constante según tipo de rodamiento a utilizar.

K = 3.00 para rodamientos de bolas

K = 3.33 para rodamiento de rodillos

Para el cálculo de C, se define la carga radial que presenta el pasador la cual será de 121,644 N

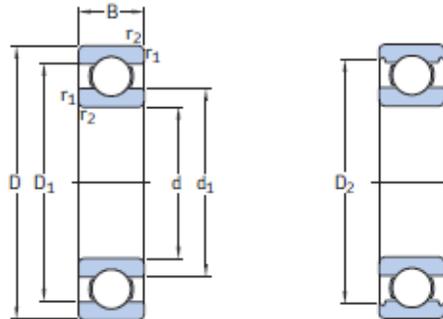
$$C = (121.644 \text{ N}) \left(\frac{108 \times 10^3 \text{ rev}}{10^6}\right)^{\frac{1}{3.00}}$$

$$C = \mathbf{57,9293 \text{ N}}$$

Con el resultado de la carga dinámica básica calculado, se procede a identificar por catálogos de fabricantes un conjunto de rodamientos probables que tenga la capacidad de carga dinámica básica requerida.

Tabla 16. Catálogo de selección para los rodamientos de pedestal<sup>12</sup>

**1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas**  
d 12–22 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
<b>12</b>	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40 000	0,011	61901
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	* 6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* 6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	* 6301
<b>15</b>	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	38 000	0,0065	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	* 6202
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	* 6302
<b>17</b>	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 6003

Como se observa en la tabla 16 las cargas dinámicas que presenta el catálogo referenciado son superiores a la que se obtuvo por medio de los cálculos, lo que permite concluir que cualquier rodamiento que se seleccione estará capacitado para soportar los esfuerzos a los que se someta el mecanismo. Esto se ira ajustando durante el proceso de construcción del mecanismo.

Por ahora se precede a seleccionar los rodamientos para las secciones A y C los cuales serán de referencia 61801 que presenta parámetros que se pueden ajustar al pasador del péndulo.

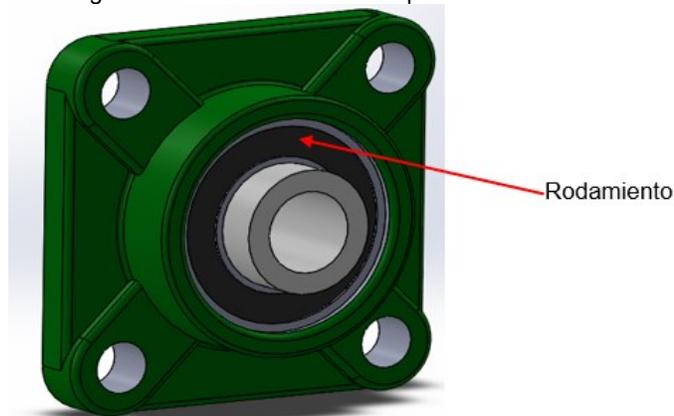
<sup>12</sup> SKF (2020). Rodamientos P.326, recuperado [https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000\\_2-ES---Rolling-bearings.pdf](https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf)

A continuación, se realiza el mismo proceso para seleccionar los rodamientos que sujetaran el pasador de la viga oscilante.

## 5.5. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS PARA LA VIGA OSCILANTE

Los rodamientos que se seleccionaran irán instalados en chumaceras de brida, ya que esto nos permite sujetar la viga oscilante por sujeción de tornillos a una platina permitiéndonos variar la altura de la viga en dado caso que se requiera y además de realizar un fácil mantenimiento en ese punto, en la siguiente figura se enseña el tipo de chumacera con el rodamiento instalado en la parte inferior.

Figura 88. Chumacera de brida para cuatro tornillos



Para la selección de este elemento se tendrán en cuenta parámetros planteados anteriormente en la selección de los rodamientos para el péndulo, donde se definía que el mecanismo iba a tener una duración de diseño de 30.000 h y se definía una potencia de  $60 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$ , esta potencia se asigna gracias a la frecuencia que presenta las oscilaciones del péndulo que es de 1 Hz, a su vez se presentan los datos sobre los diámetros que tendrá el pasador de la viga oscilante.

Tabla 17. Datos del pasador de la viga

SECCIÓN	DIAMETROS (mm)	LONGITUD (mm)
A <sub>1</sub>	19,09	31
B <sub>2</sub>	25	17
C <sub>3</sub>	25,40	34
D <sub>4</sub>	30	10
E <sub>5</sub>	25	12
F <sub>6</sub>	19,05	31

A continuación, se procede a calcular la duración de diseño.

$$L_{dp} = (30000 \text{ h}) \left(60 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right) \left(60 \frac{\text{min}}{\text{h}}\right) = 108 \times 10^6 \text{ revoluciones}$$

Ahora se procede a calcular la carga dinámica básica que presentara cada rodamiento de bolas que se seleccionara, con una constante de  $K=3.00$  que corresponde para rodamientos de bolas.

En la sección del cálculo para el diseño del pasador que se realizó anteriormente se logró establecer las cargas radiales para cada uno de los rodamientos, esas cargas fueron de 107,4199 N. Fue un valor similar para ambos rodamientos ya que tendremos un pasador simétrico que divide la carga total que se le aplicara para cada punto de apoyo. Teniendo eso en cuenta se procede a calcular la carga dinámica para los rodamientos con la siguiente ecuación.

$$C = P_d \left(\frac{L_d}{10^6}\right)^{\frac{1}{K}}$$

Donde,

$P_d$  = Carga radial.

$L_d$  = Duración de diseño.

$K$  = Constante según tipo de rodamiento a utilizar.

$$K = 3.00 \text{ para rodamientos de bolas}$$

Con el reemplazo de valores en la ecuación planteada se obtiene que:

$$C = (107,4199 \text{ N}) \left(\frac{108 \times 10^6}{10^6}\right)^{\frac{1}{3.00}}$$

$$C = 237,4429 \text{ N}$$

Con el valor de la carga dinámica definido, se procede a verificar por catálogos de fabricantes, el rodamiento adecuado que debe ir en los puntos de apoyo  $A_1$  y  $F_6$  del pasador.

Tabla 18. Catalogo NKS para los rodamientos que irán dentro de la brida<sup>13</sup>

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
17	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 6003
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	* 6203
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	6203 ETN9
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,11	* 6303
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	6403
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	61904
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	* 16004
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	* 6004
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* 6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* 6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9
72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	6404	

Como se puede observar el valor de la carga dinámica para los rodamientos que presenta este catálogo está muy por encima del valor obtenido en los cálculos anteriores lo que quiere decir que el rodamiento más pequeño garantiza que podrá soportar las cargas estimadas para el pasador.

Lo que nos permite seleccionar rodamientos para las secciones A<sub>1</sub> y F<sub>6</sub> del pasador para la viga oscilante de referencia 61804.

<sup>13</sup> SKF (2020). Rodamientos P. 326

[https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000\\_2-ES---Rolling-bearings.pdf](https://www.skf.com/binary/76-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf)

## CAPITULO 6.

### BOMBA DE DIAFRAGMA PARA EL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS

Para la aplicación a la que estará sometido el mecanismo oscilante de suministrar  $20 \frac{L}{h}$  de agua a una altura de 1m, será necesario determinar el dispositivo que podrá generar dicho caudal, para eso se recurre a la selección de bombas de diafragma utilizadas en los vehículos automotores para el bombeo de gasolina. Se determina seleccionar estas bombas ya que son las indicadas para que logren interactuar directamente con el mecanismo y permiten agregar modificaciones necesarias para la aplicación.

#### 6.1. Principio de funcionamiento de la bomba de diafragma

Para la aplicación a la que se someterá el mecanismo se recurrirá a seleccionar un par de bombas de diafragma específicamente bombas de combustible que se utilizan para suministrar combustible al carburador de un vehículo automotor.

Estas bombas de combustible que se utilizan son de accionamiento mecánico, las cuales son accionadas por parte de un eje de levas que transmite una potencia generada a una palanca de accionamiento, esta se encarga de mover un embolo que tiene sujeto en su parte extrema superior una membrana que es la encargada de succionar e impulsar el combustible por medio de unas pequeñas válvulas hacia el carburador del vehículo quien es quien realiza la mezcla gasolina aire para el motor, a continuación se presenta una figura ilustrativa donde se explica en detalle sus partes y como opera una con otra.

Figura 89. Vista se sección de una bomba de combustible<sup>14</sup>

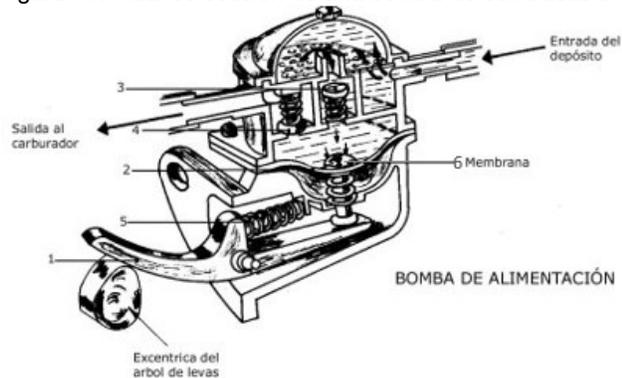


Tabla 19. Partes de la bomba de combustible

Ítem	Parte
1	Excéntrica del árbol de levas
2	Membrana
3	Válvula de ingreso
4	Válvula de salida
5	Resorte de retorno
6	Embolo

Como se puede observar en la figura 89, se enseña una vista sección de la bomba de combustible donde se enseñan sus partes y hace entender la explicación de su funcionamiento. Cabe mencionar en cuanto al mecanismo que las bombas que se seleccionaron fueron de un vehículo Renault 9, las cuales se sometieron a modificaciones con el fin de adaptarlas al mecanismo y que trabaje en conjunto con la viga oscilante.

## 6.2. ADAPTACIÓN DE LAS BOMBAS DE COMBUSTIBLE AL MECANISMO PENDULAR

Para realizar la instalación de las bombas de combustible fue necesario realizar en la estructura principal la adaptación de un tubo cuadrado ubicado en un extremo de la mesa de forma vertical y el cual fue descrito en la construcción de ese elemento, en este tubo se sujetan las bombas de diafragma por medio de platinas que se realizaron. A continuación, se enseña en la siguiente figura como se sujetaron las bombas de combustible al mecanismo.

<sup>14</sup> MECANICA DEL AUTOMOVIL – BOMBA DE ALIMENTACIÓN FIG 1.  
<http://www.almuro.net/sitios/Mecanica/carburacion.asp?sw05=1>

Figura 90. Instalación de las bombas de diafragma el mecanismo



Como se puede observar en la figura 90, se detalla a simple vista la adaptación o instalación de las bombas de diafragma, estas se van a accionar por medio del movimiento que va a presentar la viga gracias a la oscilación que hará en el extremo izquierdo el péndulo, al presentar la viga un movimiento lineal en la posición vertical, esta hará que los émbolos de las bombas se accionen por la fuerza que va a ejercer la viga, al presentarse esta operación para la bombas estas iniciaran a succionar y a descargar los caudales generados en los tanque de depósito.

Es importante resaltar que para estas bombas fue necesario instalar válvulas antirretornos en sus entradas, ya que se manifestaba un efecto de sifón. Donde las bombas al iniciar a generar un caudal debido a la operabilidad del péndulo y la viga presentaban succión generando vacío, venciendo la presión atmosférica que presenta el depósito y generando que el caudal continuará circulando sin ninguna restricción.

Figura 91. Válvula antirretorno de 13mm junto con su racor para adaptación a manguera



En la siguiente figura se presenta al mecanismo completamente terminado con las bombas y válvulas instaladas.

Figura 92. Mecanismo con zoom en la instalación de bombas y válvulas



### 6.3. JUSTIFICACIÓN PARA LAS BOMBAS DE DIAFRAGMA

#### 6.3.1. Esquemas hidráulicos

A continuación, se presenta esquemas donde se presentan componentes, líneas de succión y descargas junto con sus cotas que servirán para los cálculos que hay que realizar.

Figura 93. Esquema de tanques de suministro (1) y descarga (2)

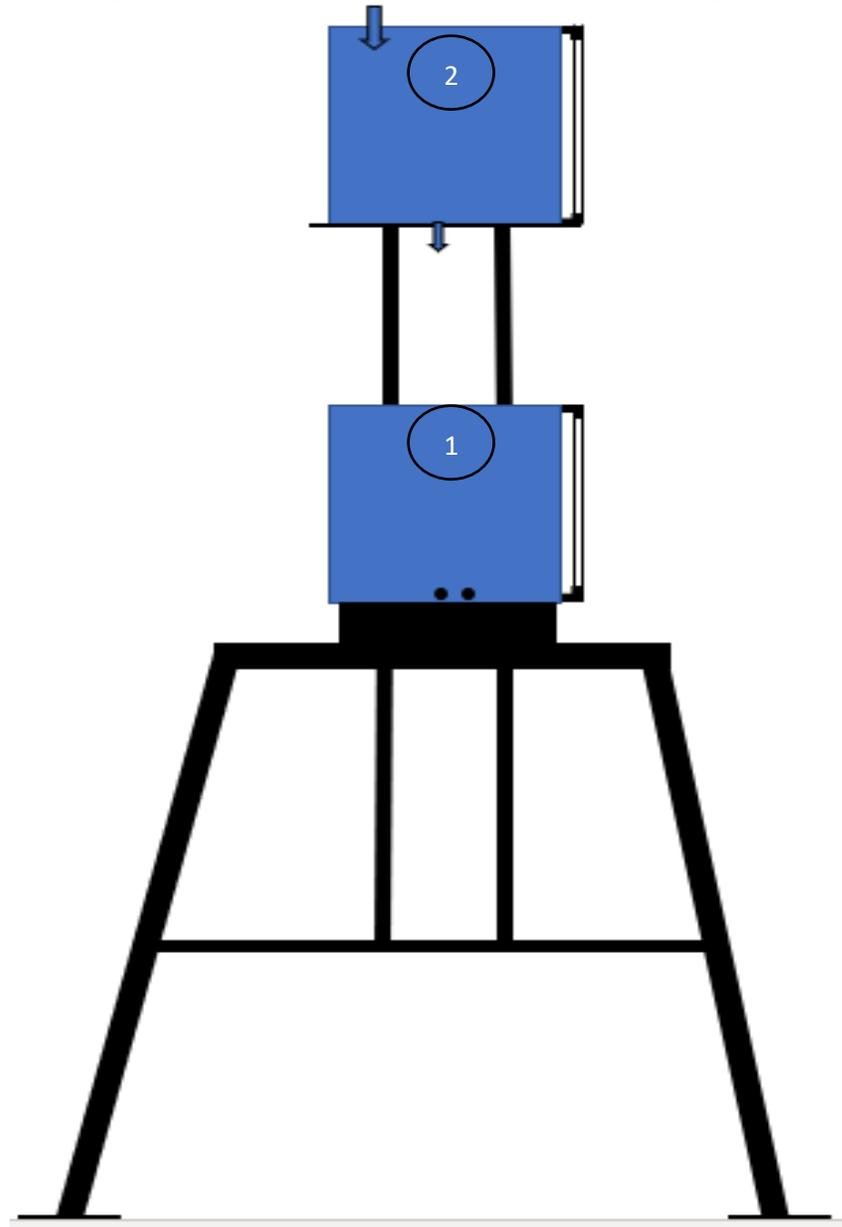


Figura 94. Vista de perfil de los tanques

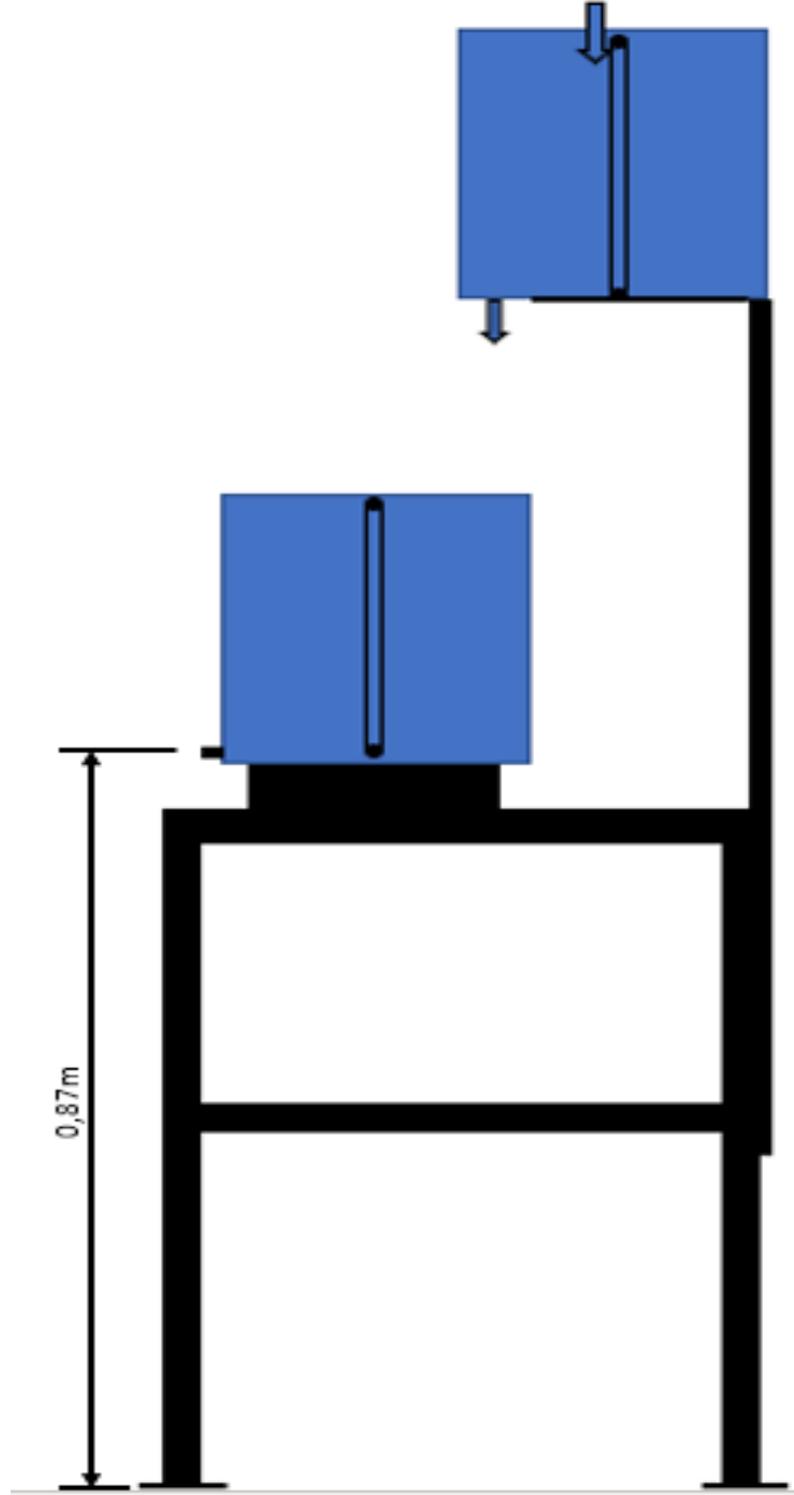


Figura 95. Esquema hidráulico línea de succión

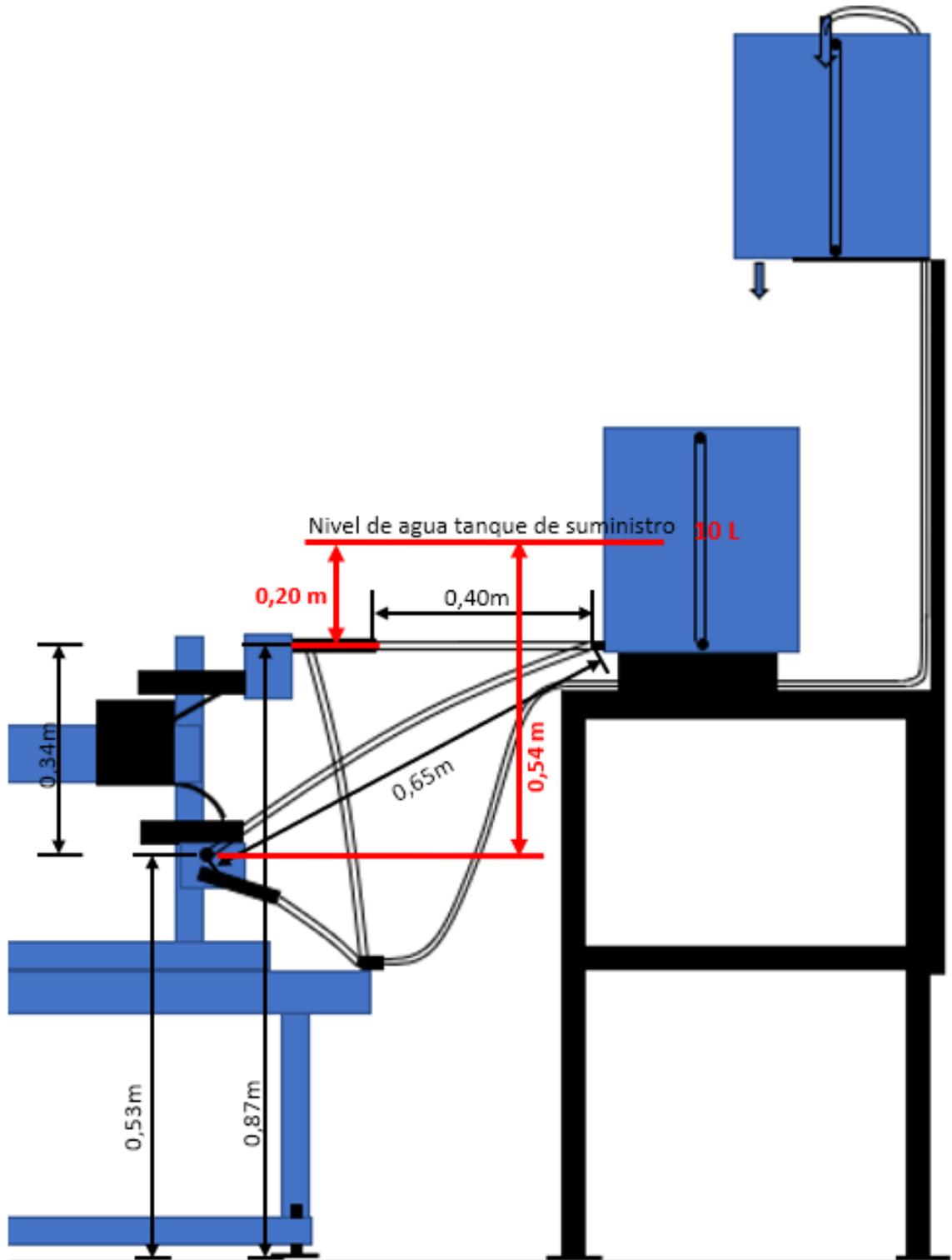
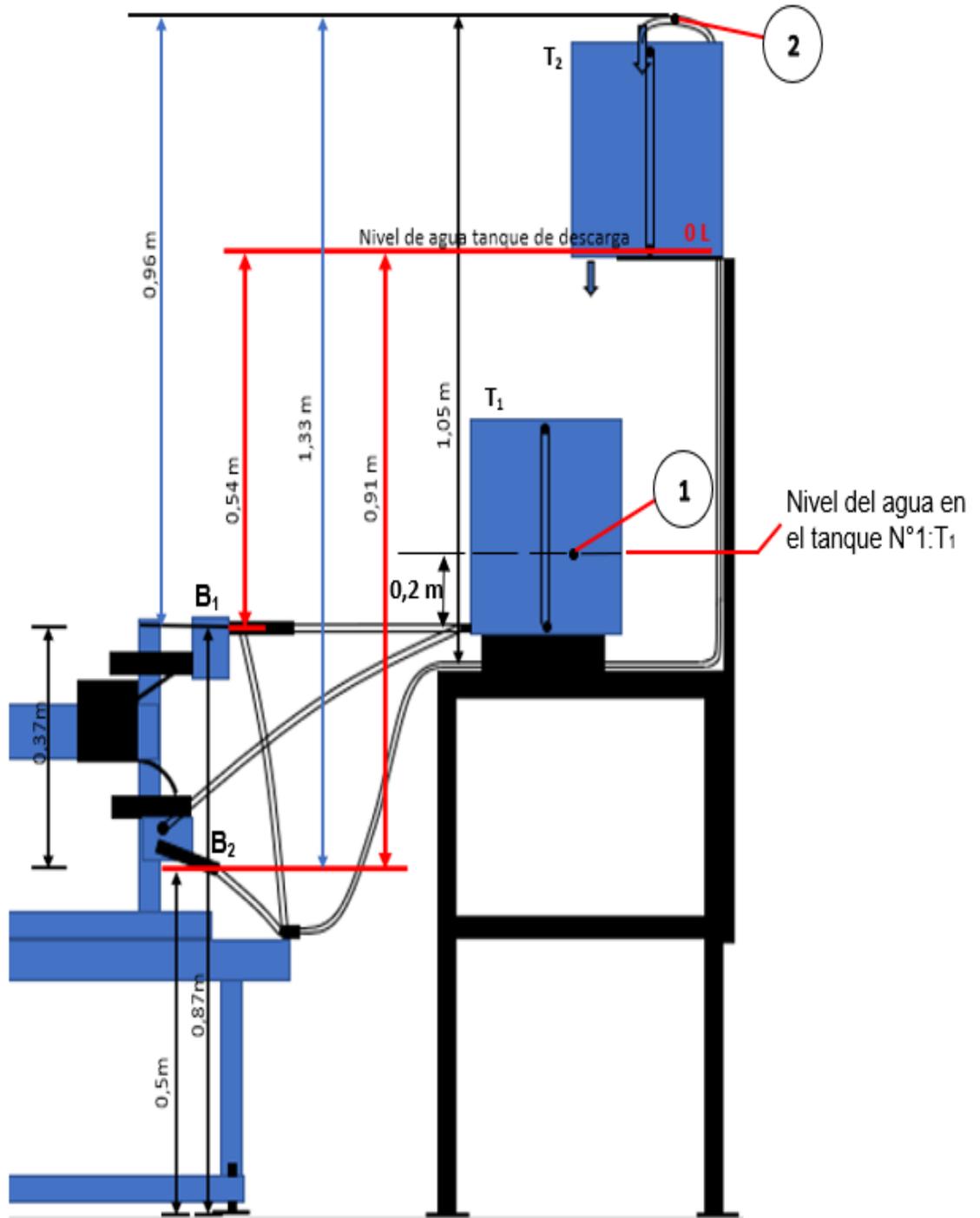


Figura 96. Esquema hidráulico de la línea de descarga



### 6.3.2. cálculos para las bombas hidráulicas B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>.

Las bombas hidráulicas de tipo diafragma se indican y presentan el montaje del sistema hidráulico que presenta la figura 96. Las dos bombas realizan el mismo trabajo que consiste en llevar el fluido (agua) del nivel libre del fluido del líquido (agua) en el tanque 1 T<sub>1</sub> hasta una altura de 76 cm arriba del nivel de referencia. Por tanto, aunque las bombas tienen diferente ubicación en el mecanismo TSO ambas realizan el mismo trabajo considerando que ambas trabajan con el mismo nivel de referencia (Z<sub>1</sub> = 0) en el tanque T<sub>1</sub> de alimentación (tanque inferior) y las dos bombas llevan el fluido hasta un punto 2 ubicado a 76 cm arriba. Los ductos y/o mangueras utilizados son del mismo tipo para ambas bombas.

Como en los cálculos que se realizan a continuación se hace uso del caudal suministrado por las dos bombas durante el funcionamiento del mecanismo, los valores obtenidos corresponden al valor total de energía y de potencia hidráulica del sistema

$$E_1 + h_{A12} - \cancel{h_{R12}} - \cancel{h_{L12}} = E_2$$

E<sub>2</sub>: Energía total del fluido en el punto 2.

E<sub>1</sub>: Energía total del fluido en el punto 1.

h<sub>A12</sub>: Energía adicional por las bombas B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> entre el punto 1 y el punto 2 en la figura 89.

h<sub>R12</sub>: Energía retirada entre 1 y 2. El valor es cero porque no hay ningún dispositivo que retire energía.

h<sub>L12</sub>: Energía perdidas de energía entre 1 y 2. Como la distancia es corta las perdidas por fricción en los ductos es parcialmente cero.

$$E_1 = \cancel{Z_1} + \frac{\cancel{P_1}}{\cancel{\gamma_w}} + \frac{\cancel{V_1^2}}{\cancel{2g_2}} = 0$$

$$E_2 = Z_2 + \frac{\cancel{P_2}}{\cancel{\gamma_w}} + \frac{V_2^2}{2g} = 0$$

$Z_1 = 0$ : Nivel de referencia.

$Z_2 = 0,76$  m

$\frac{P_1}{\gamma_w} = 0$ : Cabeza de presión manométrica o relativa en 1.

$\frac{V_1^2}{2g_2} \cong 0$ : Cabeza de velocidad en 1.

$\frac{P_2}{\gamma_w} = 0$ : cabeza de presión en 2.

$$Q = AV$$

$$V_2 = \frac{Q}{A}$$

$$Q = Q_{\max} = 1617 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \times \frac{(1 \text{ m})^3}{(1000 \text{ cm})^3} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$Q = 2,69 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi(0,0102 \text{ m})^2}{4} = 8,17 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$V^2 = \frac{2,695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{8,17 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$V^2 = 0,33 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \frac{V_2^2}{2g} = \frac{0,33^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5,55 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Energía adicionada por las bombas al fluido

$$E_1 + h_{A12} = E_2$$

$$0 + h_{A12} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \rightarrow h_{A12} = 0,765 \text{ m} + 5,55 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,7655 \text{ m}$$

$$h_{A12} = 0,765 \frac{\text{Nm}}{\text{N}} = 0,765 \frac{\text{J}}{\text{N}}$$

P = Potencia de la bomba hidráulica B<sub>1</sub>

$$P = \gamma Q h_{A12}$$

$$P = 9,81 \frac{kN}{m^3} \times 2,695 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} \times 0,7655 m$$

$$P = 2,02 \times 10^{-4} \frac{kJ}{s} = 2,02 \times 10^{-4} kW = 0,202 W$$

W = Peso del fluido movilizado en 1 min

V: Volumen del fluido movilizado en 1 min: 1617 cm<sup>3</sup>

$\rho$ : peso específico del agua  $\rho = 9,81 \frac{kN}{m^3}$

$$W = V \cdot \rho = 1617 \frac{cm^3}{m^3} \times \frac{(1 \text{ min})^3}{(1000 \text{ cm})^3} = 0,0158 kN = 15,8 N$$

$$E_{\text{bomba}} = h_{A12} \cdot W = 0,765 \frac{J}{N} \times 15,8 N = 12,8 J$$

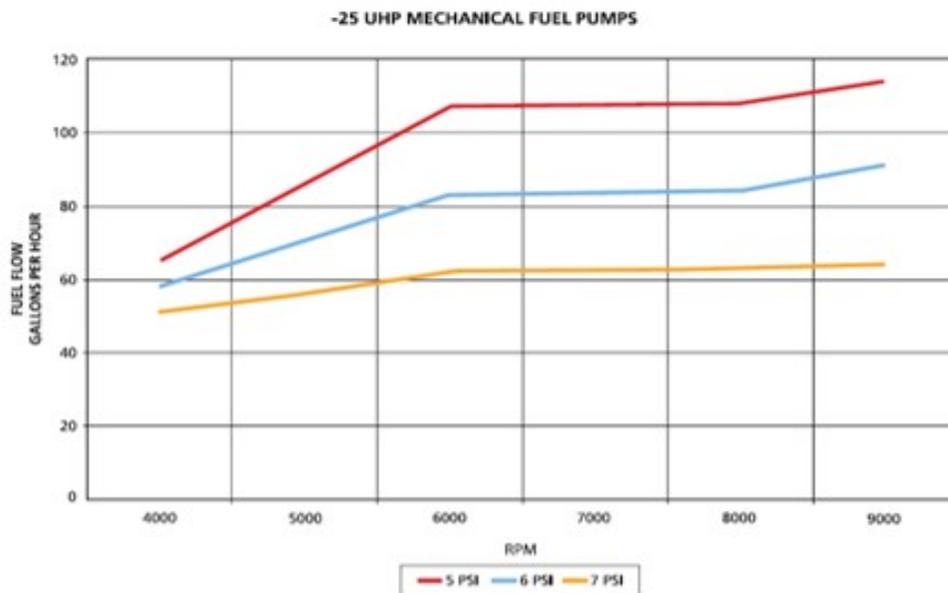
Ilustración 1. Curva de comportamiento de bomba Seleccionada, se aclara que es similitud<sup>15</sup>

## 170 GPH HP Series 3 Valve Fuel Pump

**Holley**  
**HP**  
SERIES

### Features

- HP Series flow 170 GPH free flow
- Made from 6061-T6 billet aluminum for durability & good looks
- CNC billet finish for good looks
- -8 inlet & outlets (non-changeable)
- Pre-set idle fuel pressure of 7.5 PSI
- No fuel pressure regulator required
- Comes standard with -8 AN inlet & outlet fittings already installed
- Bases are independently rotatable from the top for ease of installation
- Inlet & outlet tapped for 5/8-18 straight
- Fittings can not be removed



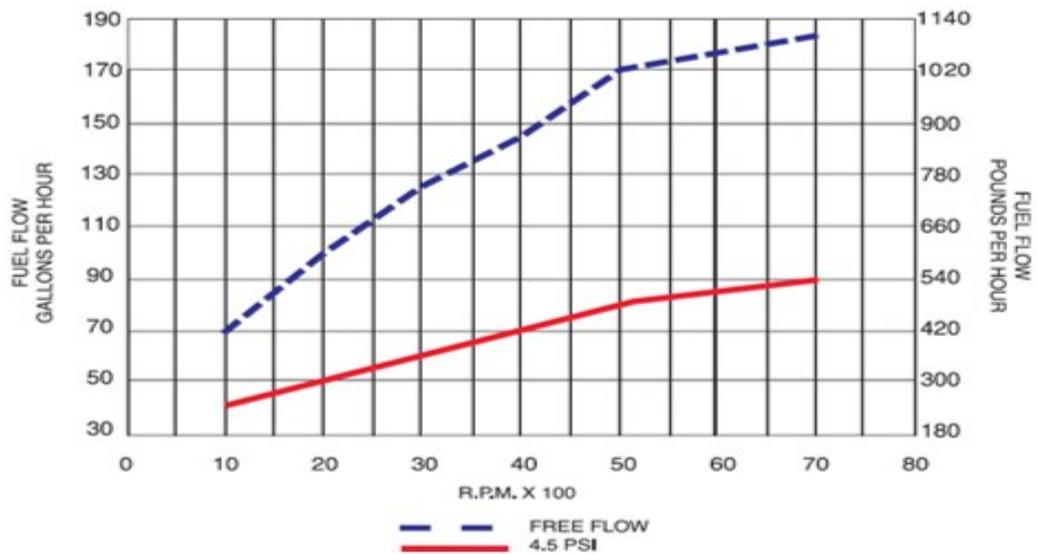
<sup>15</sup> FUEL PUMPS, recuperado de: [http://gatorperformance.com/catalog\\_lookup/holley/Fuel%20Pumps.pdf](http://gatorperformance.com/catalog_lookup/holley/Fuel%20Pumps.pdf)

Ilustración 2. Curva de comportamiento de bomba Seleccionada, se aclara que es similitud<sup>16</sup>

## 170+ GPH Fuel Pump

### Features

- High output fuel flow
- Flows 170+ GPH (free flow)
- Shutoff pressure pre-set at 8 PSI
- Heavy duty construction for continuous high RPM operation
- Redesigned high flow valves always ensure adequate fuel delivery
- AN -10 inlet and -8 outlet ports
- Fuel body casting can be rotated to accommodate various plumbing situations
- Fuel pressure regulator is required.  
Recommend Holley P/N 12-704



<sup>16</sup> FUEL PUMPS, Recuperado de: [http://gatorperformance.com/catalog\\_lookup/holley/Fuel%20Pumps.pdf](http://gatorperformance.com/catalog_lookup/holley/Fuel%20Pumps.pdf)

## CAPITULO 7

### ANALISIS Y RESULTADOS DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS

A continuación, se describen las pruebas según la configuración a la cual se sometía el mecanismo y se presentan algunos resultados obtenidos con el mecanismo oscilante, en aquellos resultados se verifica los mejores caudales que se lograron suministrar según la configuración.

Para las pruebas que se realizaron se determinaron cuatro variables para su estudio, estas son: masa de los contrapesos, masa del péndulo, distancia entre pivotes y longitud del péndulo que serán denotadas así respectivamente  $M_1$ ,  $m_1$ ,  $L_1$  y  $I_1$ .

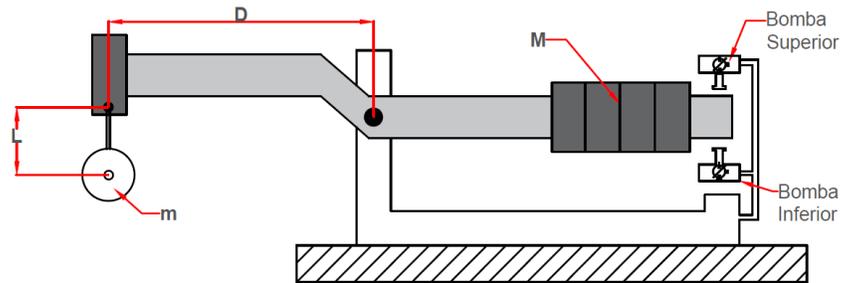
En la tabla 20. Se establece para cada una de las variables sus masas correspondientes. Esto para realizar distintas configuraciones entre variables y registrar la toma de datos sobre los caudales generados.

Tabla 20. Descripción de las variables

Masa de los Contrapesos	
$M_1$	2.3 kg
$M_2$	4.6 kg
$M_3$	7 kg
$M_4$	9,5 kg
Masa del Péndulo	
$m_1$	1,8 kg
$m_2$	3.6 kg
$m_3$	5.4 kg
$m_4$	8.9 kg
$m_5$	12.4 kg
Distancia entre pivotes	
$D_1$	397 mm
$D_2$	354.3 mm
$D_3$	311.6 mm
$D_4$	268.9 mm
Longitud del péndulo	
$L_1$	120 mm
$L_2$	162.7 mm
$L_3$	205.4 mm
$L_4$	248.1 mm

En la tabla anterior se observó cada uno de los valores que tendrá cada una de las variables a configurar, además se observa en la figura 97, la denotación que se le asignó a cada uno de los elementos que componen al mecanismo y que se configuraron para cada prueba.

Figura 97. Identificación de variables



Las configuraciones que se realizarán se basan en combinar varias variables de estudio y registrar los caudales generados a causa de esto. Los resultados que se obtienen por medio de estas configuraciones serán una serie de tablas y graficas que describirán el comportamiento que presenta el mecanismo con respecto a caudales generados.

En total se registraron 1600 pruebas para determinar la cantidad de caudal que puede entregar el mecanismo dependiendo de la configuración de variables. A continuación, se realiza una descripción de cada una de las pruebas realizadas donde se obtuvieron los caudales más altos y algunos comportamientos que se presentaron durante su funcionalidad.

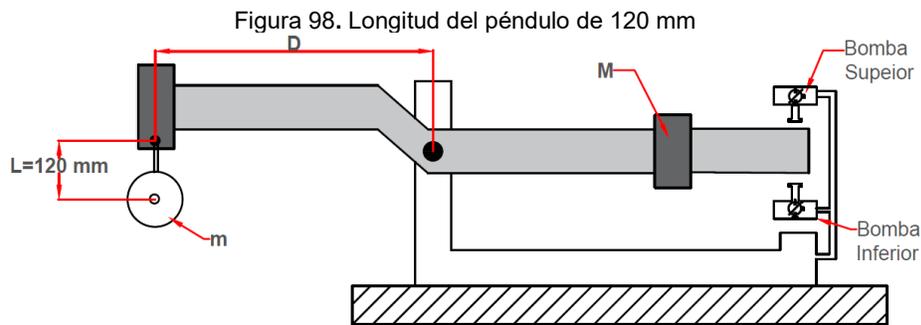
Cabe aclarar que como la cantidad de datos es tan extensa se decide filtrar por los mejores resultados y presentar el resto de las pruebas en la sección de anexos.

## 7.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON EL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS

### 7.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRIMER ETAPA DE PRUEBAS PARA $M=2,3$ kg

Para esta primera etapa de pruebas se realizaron varias configuraciones en el mecanismo, en las que se modificaba la masa del péndulo, la longitud del péndulo y la distancia entre pivotes. Se procede a dejar fijo el valor que ira sobre la viga oscilante que es de 2,3 kg y realizar las pruebas correspondientes.

A continuación, se enseña en la figura 98 una de las configuraciones a las cuales estuvo sometido mecanismo.



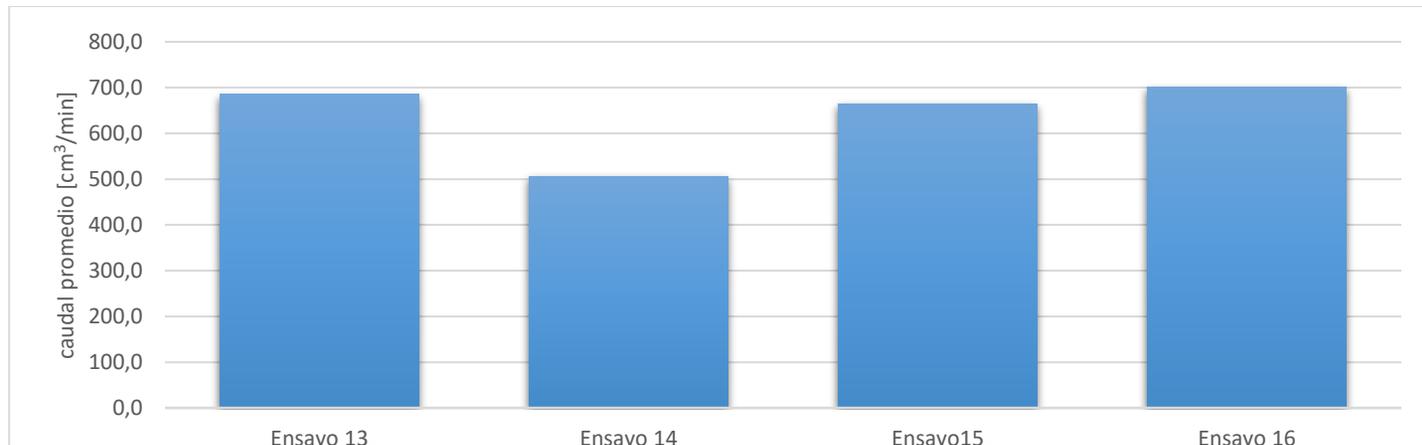
En esta etapa se realizaron ochenta mediciones de los cuales se obtuvieron caudales proporcionales a las configuraciones a las que se sometió el mecanismo, se logró observar que los caudales que se generaron fueron bajos ya que la masa que se instaló en el péndulo y la viga no fue suficiente para obtener una oscilación completa de la viga y accionar las bombas de diafragma completamente.

Se puede resaltar que en esta primera etapa de pruebas realizadas se notó un comportamiento en donde la masa del péndulo superaba al de la viga; y hacía que esta se suspendiera sobre la bomba de diafragma superior generando caudales solo con esa bomba, esto se resalta en una de las tablas que se anexa a continuación y se subraya de color rojo indicando este comportamiento.

Este comportamiento se puede notar en las tablas 21 y 22 donde se resalta los caudales promedios generados de color rojo, notificando el comportamiento antes mencionado.

Tabla 21. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

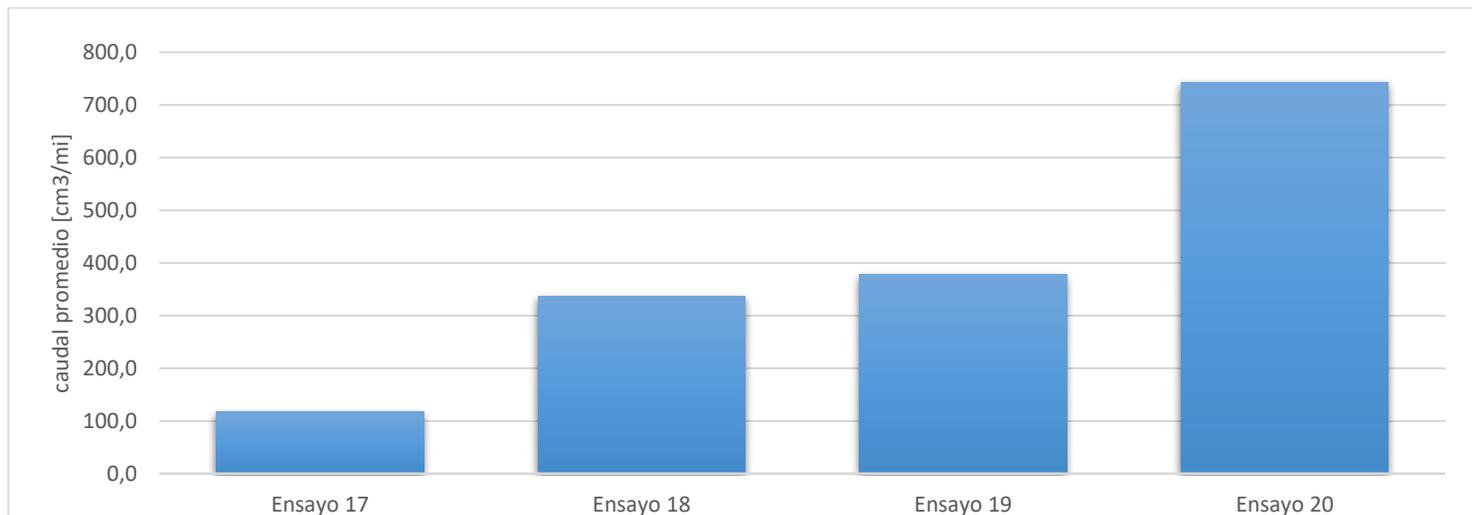
Ensayo 13		Ensayo 14		Ensayo 15		Ensayo 16	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
D [mm]	390	D [mm]	347,3	D [mm]	304,6	D [mm]	261,9
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
679,0		518,0		671,0		690,0	
700,0		502,0		670,0		698,0	
688,0		500,0		650,0		700,0	
694,0		500,0		680,0		705,0	
667,0		510,0		650,0		710,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>685,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>506,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /mi]	<b>664,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	700,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,0</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>7,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,5



Grafica 2. Caudal promedio generado para la tabla 21

Tabla 22. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

Ensayo 17		Ensayo 18		Ensayo 19		Ensayo 20	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	120						
m [kg]	12,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
127,0		337,0		368,0		745,0	
125,0		350,0		375,0		743,0	
111,0		341,0		386,0		740,0	
116,0		322,0		378,0		738,0	
109,0		333,0		380,0		750,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>117,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>336,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>377,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>743,2</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,1</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>10,3</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>6,6</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>4,7</b>

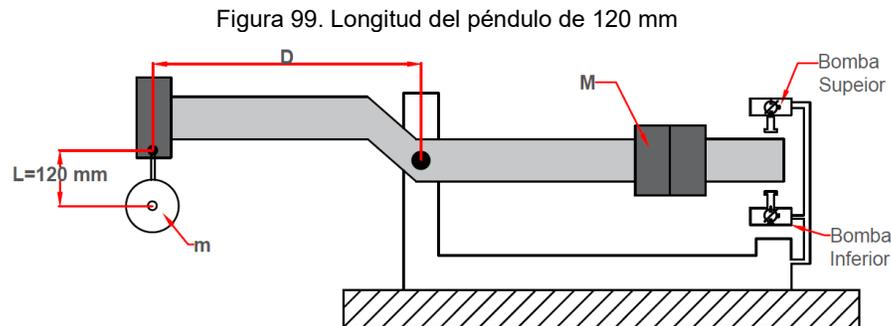


Grafica 3. caudal promedio generado para la tabla 22

### 7.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA SEGUNDA ETAPA DE PRUEBAS PARA $M=4,6$ kg

Para esta segunda etapa de pruebas se realizaron distintas configuraciones sobre el mecanismo, en las que se modificaba la masa y longitud del péndulo y la distancia entre pivotes. Para esta etapa de pruebas se procede a dejar fijo el valor que ira sobre la viga oscilante que en esta ocasión será de 4,6 kg y se procede a realizar las pruebas correspondientes.

A continuación, se enseña en la figura 99 una de las configuraciones a las cuales estuvo sometido mecanismo.



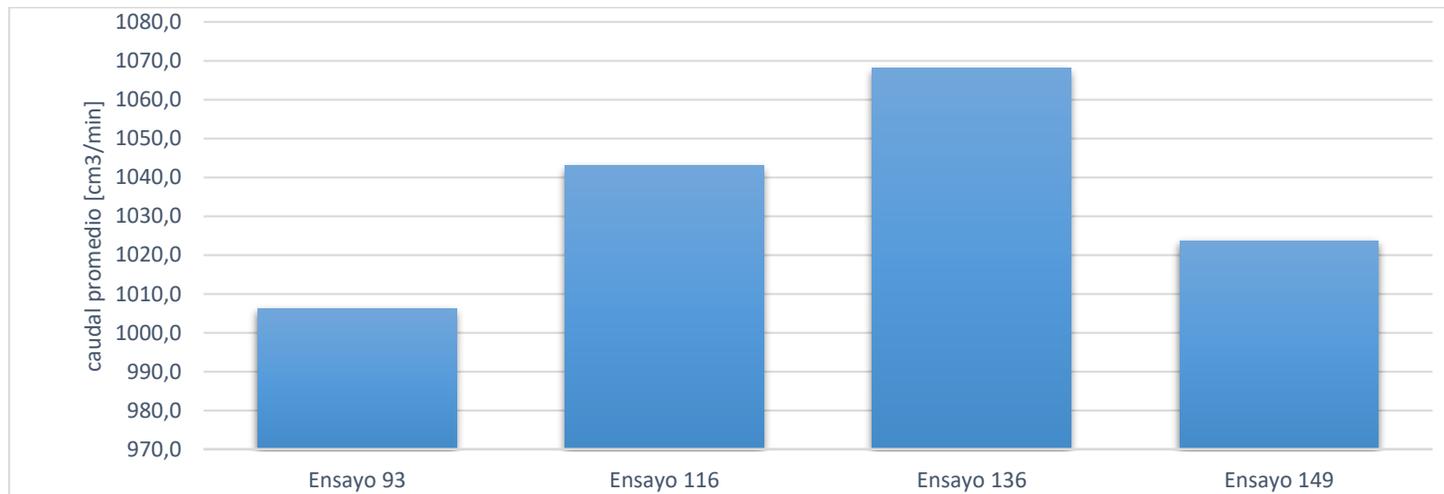
En esta etapa se realizaron ochenta mediciones de los cuales se obtuvieron caudales proporcionales a las configuraciones a las que se sometió el mecanismo.

Se logra observar que para esta etapa de pruebas se generan caudales de  $1000$   $\text{cm}^3/\text{min}$ , esto indica que las configuraciones a las que se sometió el mecanismo fueron adecuadas, aunque cabe destacar que uno de los caudales generados se generó con la viga suspendida sobre la bomba de diafragma superior, este caudal se resalta de color rojo y se presenta en la tabla 23 para el ensayo N°93.

A su vez se resalta un valor de la tabla 24 que se subraya de color azul, esto indica que la viga solo ejerció trabajo sobre la bomba de diafragma inferior, esto se presentó por que la masa que se instaló en el péndulo no fue la suficiente para vencer la resistencia que presentó la viga con los contrapesos instalados sobre ella y este es un nuevo comportamiento que presentó la viga oscilante.

Tabla 23. Caudal promedio con D y m variable

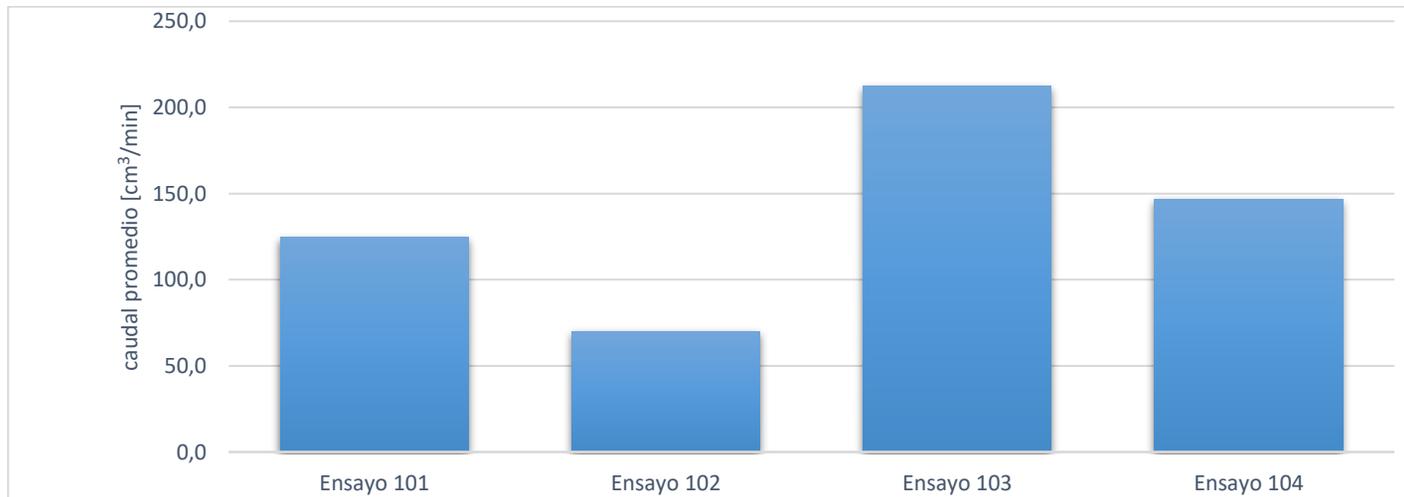
Ensayo 93		Ensayo 116		Ensayo 136		Ensayo 149	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	120	L [mm]	162,7	L [mm]	205,4	L [mm]	248,1
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>	<b>D [mm]</b>	<b>390</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1012,0		1020,0		1044,0		1024,0	
1002,0		1047,0		1070,0		1019,0	
1020,0		1060,0		1094,0		1038,0	
1000,0		1033,0		1073,0		1026,0	
997,0		1055,0		1059,0		1011,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>1006,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1043,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1068,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1023,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>9,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	18,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,9



Grafica 4. Caudal promedio generado para la tabla 23

Tabla 24. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

Ensayo 101		Ensayo 102		Ensayo 103		Ensayo 104	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
129,0		71,0		218,0		142,0	
115,0		71,0		212,0		158,0	
121,0		63,0		209,0		137,0	
127,0		75,0		215,0		146,0	
130,0		70,0		207,0		151,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	124,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	70,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	212,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>146,8</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,1</b>

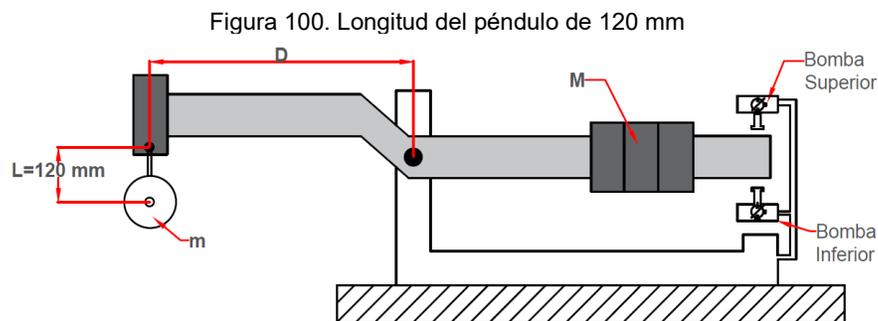


Grafica 5. Caudal promedio generado para la tabla 24

### 7.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA TERCERA ETAPA DE PRUEBAS PARA M=7 KG

Para esta tercera etapa de pruebas se realizaron distintas configuraciones sobre el mecanismo, en las que se modificaba la masa y longitud del péndulo y la distancia entre pivotes. Para esta etapa de pruebas se procede a aumentar y fijar el valor que ira sobre la viga oscilante que en esta ocasión será de 7 kg y se procede a realizar las pruebas correspondientes.

A continuación, se enseña en la figura 100 una de las configuraciones a las cuales estuvo sometido mecanismo.



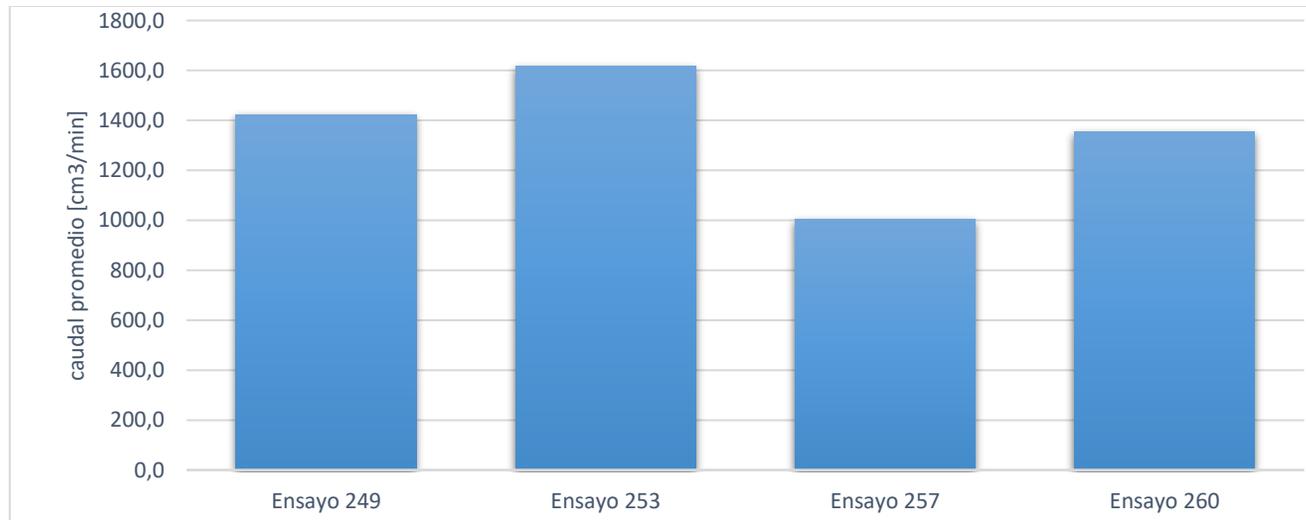
En esta etapa se realizaron ochenta mediciones de los cuales se obtuvieron caudales proporcionales a las configuraciones a las que se sometió el mecanismo.

Se procede a realizar un filtro de las pruebas realizadas en las que se enseña los ensayos que presentaron un caudal a partir de  $1000\text{ cm}^3/\text{min}$ , en este filtro se logra observar que se presenta uno de los comportamientos anteriormente mencionados y que se resalta de color rojo, esto indica que la masa que se instaló en el péndulo fue superior a la masa que presentó la viga, causando que esta solo ejerciera trabajo sobre la bomba de diafragma superior.

También cabe resaltar que en general para esta etapa un gran porcentaje de las pruebas realizadas presentó el comportamiento opuesto al descrito anteriormente, y es donde la masa que se instala sobre la viga supera la masa del péndulo, causando así que las oscilaciones del péndulo no logren que la viga ejerza un trabajo adecuado sobre las dos bombas, sino solamente sobre la bomba de diafragma inferior, estos valores que se presentan subrayados de color azul los pondrán notar en las tablas que se presentan en la sección de anexos y esto permite concluir que aquellas condiciones que presentan las tablas no son las adecuadas para que el mecanismo trabaje correctamente.

Tabla 25. Caudal promedio con D y m variable

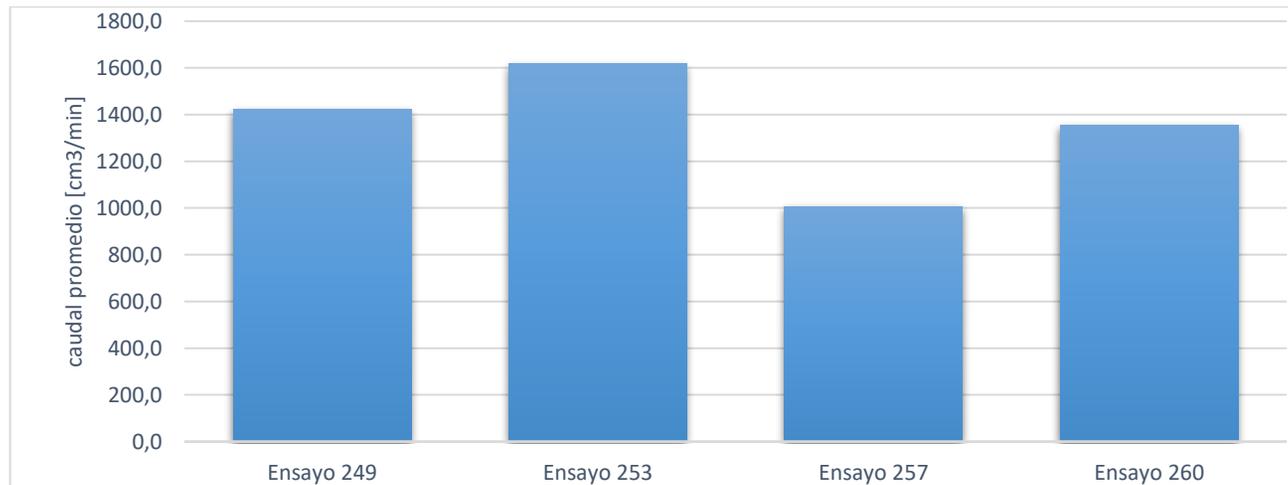
Ensayo 169		Ensayo 173		Ensayo 175		Ensayo 180	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	7						
L [mm]	120						
m [kg]	5,4	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	12,4
D [mm]	390	D [mm]	390	D [mm]	304,6	D [mm]	261,9
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1400,0		1174,0		1030,0		1160,0	
1400,0		1171,0		1020,0		1140,0	
1434,0		1198,0		1060,0		1170,0	
1432,0		1186,0		1050,0		1180,0	
1425,0		1171,0		1045,0		1150,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1418,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1180,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1041,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1160,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,8



Grafica 6. Caudal promedio generado para la tabla 25

Tabla 26. Caudal promedio con D y m variable

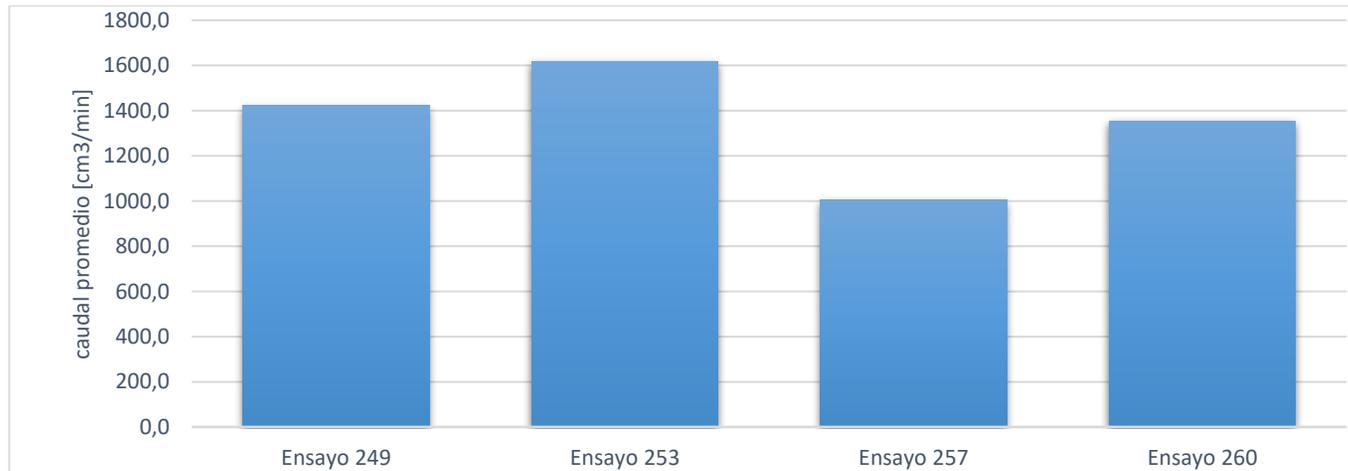
Ensayo 189		Ensayo 193		Ensayo 194		Ensayo 196	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	5,4	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1038,0		1050,0		1015,0		1285,0	
1078,0		1072,0		1020,0		1268,0	
1082,0		1084,0		1000,0		1250,0	
1044,0		1067,0		1010,0		1245,0	
1057,0		1053,0		1005,0		1258,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1059,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1065,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1010,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1261,2
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	19,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,9



Grafica 7. Caudal promedio generado para la tabla 26

Tabla 27. Caudal promedio con D y m variable

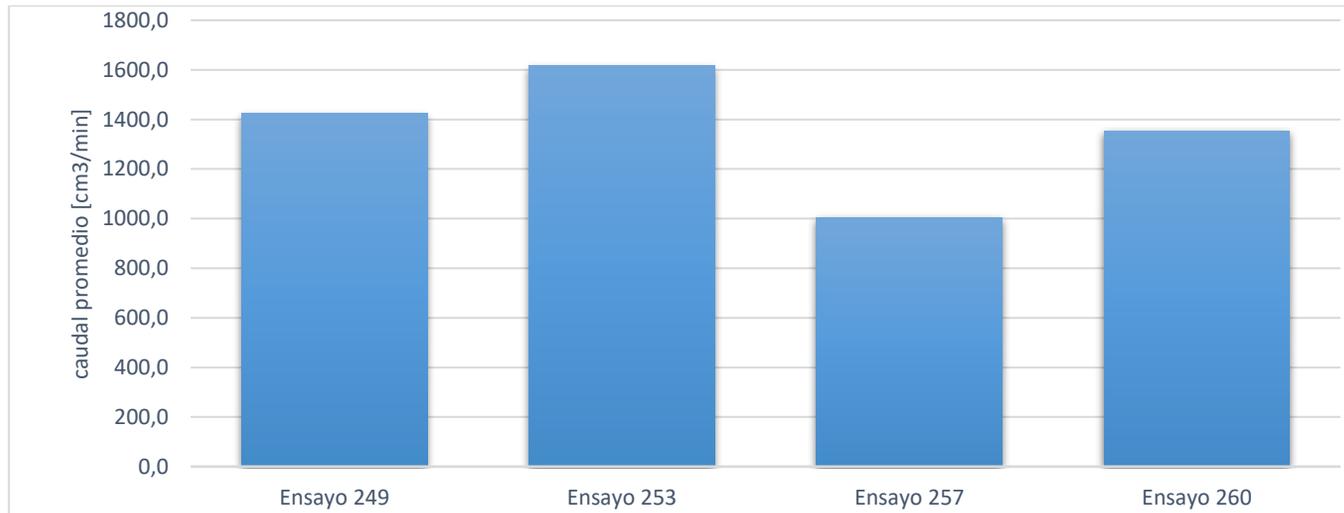
Ensayo 197		Ensayo 199		Ensayo 200		Ensayo 209	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	205,4
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>	<b>D [mm]</b>	<b>390</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1090,0		1091,0		1151,0		1050,0	
1066,0		1080,0		1160,0		1051,0	
1098,0		1096,0		1190,0		1063,0	
1074,0		1089,0		1171,0		1046,0	
1083,0		1100,0		1181,0		1025,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>1082,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1091,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1170,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1047,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>12,7</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,8



Grafica 8. Caudal promedio generado para la tabla 27

Tabla 28. Caudal promedio con D y m variable

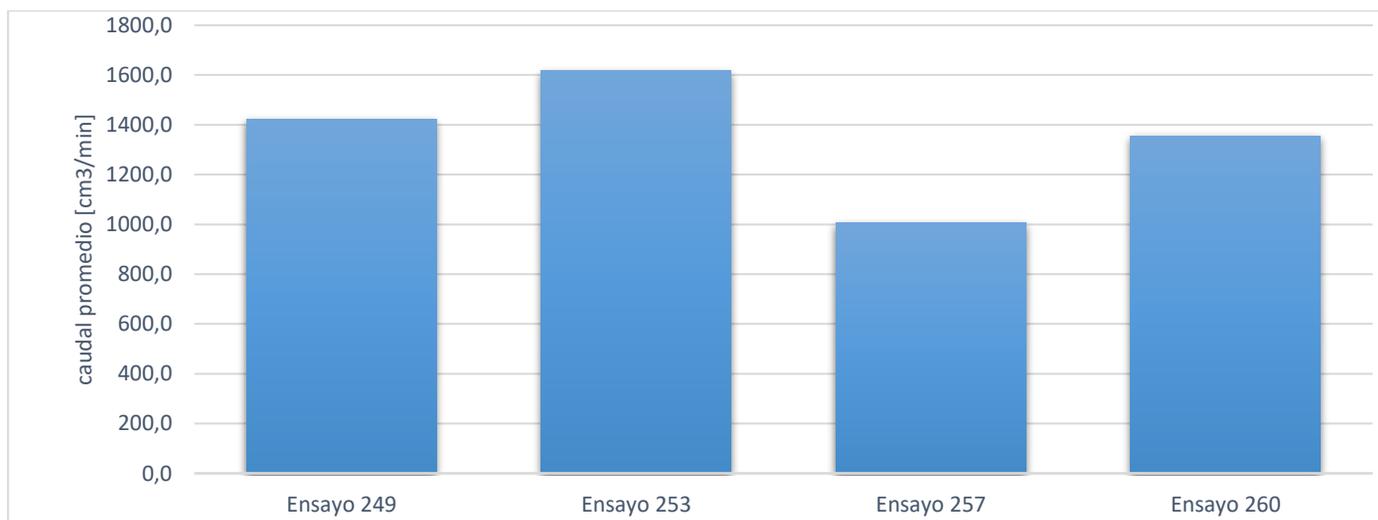
Ensayo 213		Ensayo 215		Ensayo 217		Ensayo 220	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1048,0		1232,0		1028,0		1136,0	
1036,0		1204,0		1060,0		1100,0	
1078,0		1212,0		1065,0		1110,0	
1053,0		1227,0		1073,0		1127,0	
1067,0		1239,0		1070,0		1114,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1056,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1222,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1059,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1117,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	18,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,2



Grafica 9. Caudal promedio generado para la tabla 28

Tabla 29. Caudal promedio con D y m variable

Ensayo 229		Ensayo 230		Ensayo 234		Ensayo 240	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	8,9	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1028,0		1030,0		1080,0		996,0	
1006,0		1028,0		1106,0		1010,0	
1037,0		1021,0		1095,0		1018,0	
1011,0		1036,0		1088,0		1013,0	
1015,0		1032,0		1102,0		1000,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1019,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1029,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1094,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1007,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	5,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,2

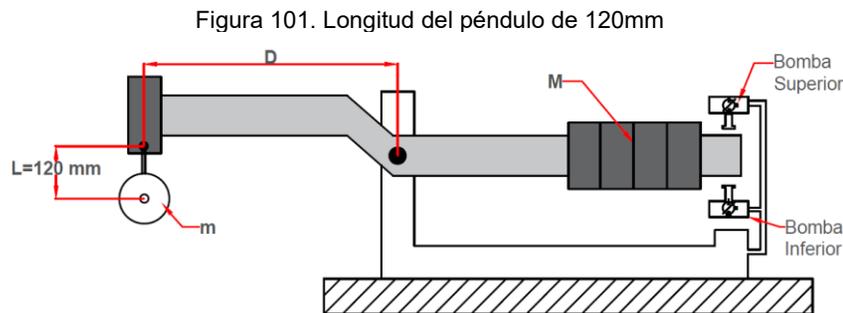


Grafica 10. Caudal promedio generado para la tabla 29

#### 7.1.4. DESCRIPCIÓN DE LA CUARTA ETAPA DE PRUEBAS PARA $M=9,5$ kg

Para esta cuarta etapa de pruebas se realizaron distintas configuraciones sobre el mecanismo, en las que se modificaba la masa y longitud del péndulo y la distancia entre pivotes. Para esta etapa de pruebas se procede a aumentar y fijar el valor que ira sobre la viga oscilante que en esta ocasión será de 9,5 kg y se procede a realizar las pruebas correspondientes.

A continuación, se enseña en la figura 101 una de las configuraciones a las cuales estuvo sometido mecanismo.



Las gráficas 65 y 66, indican que los caudales generados fueron suministrados por ambas bombas de diafragma y permite observar que tan pronto se varía su longitud entre pivotes y se aumenta la masa del péndulo, los caudales inician a disminuir hacia el tanque de descarga. Estas dos gráficas permiten resaltar los parámetros establecidos para estas pruebas ya que son ideales para un óptimo rendimiento de las bombas de diafragma. En esta etapa se realizaron ochenta mediciones de los cuales se obtuvieron caudales proporcionales a las configuraciones a las que se sometió el mecanismo.

Se procede a filtrar las pruebas realizadas en las que se puede observar los ensayos que presentaron un caudal de  $1000 \text{ cm}^3/\text{min}$ , en este filtro se logra observar que se presenta uno de los comportamientos anteriormente mencionados y que se resalta de color rojo, esto indica que la masa que se instaló en el péndulo fue superior a la masa que presentó la viga, causando que esta solo ejerciera trabajo sobre la bomba de diafragma superior.

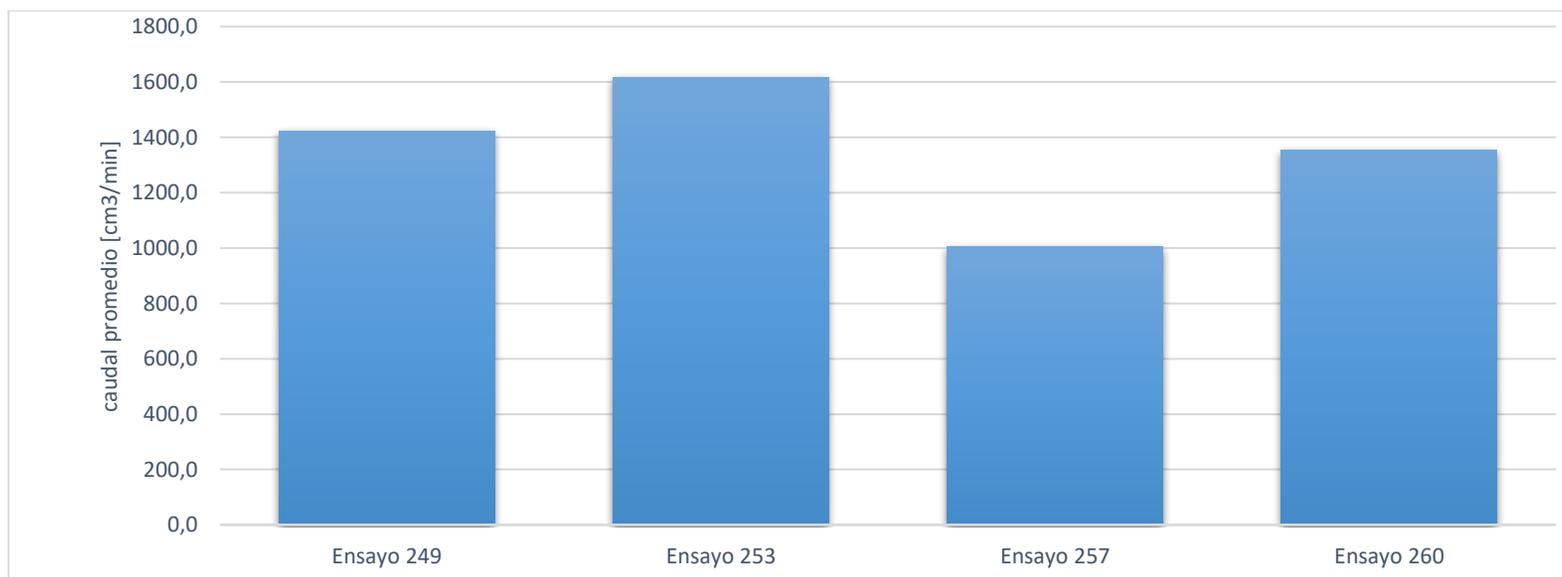
También cabe resaltar que en general para esta etapa un gran porcentaje de las pruebas realizadas presentaron un comportamiento opuesto al descrito anteriormente y lo cual se subraya de color azul, donde se nota que la viga oscilante supera en peso al péndulo, causando que solo se pueda generar caudal con la bomba inferior esto permite concluir que las condiciones a las cuales se somete el mecanismo para estas pruebas no son las adecuadas para obtener caudales favorables generados por ambas bombas de diafragma.

Cabe mencionar un aspecto importante con respecto a los comportamientos que presenta el mecanismo durante las configuraciones a las cuales se somete y es que

cuando se presenta que la viga solo trabaja con la bomba inferior los caudales son muy bajos a diferencia de los que se generan con la bomba superior, ya que estos logran en algunos casos llegar a los 1000 cm<sup>3</sup>/min.

Tabla 30. Caudal promedio con D y m variable

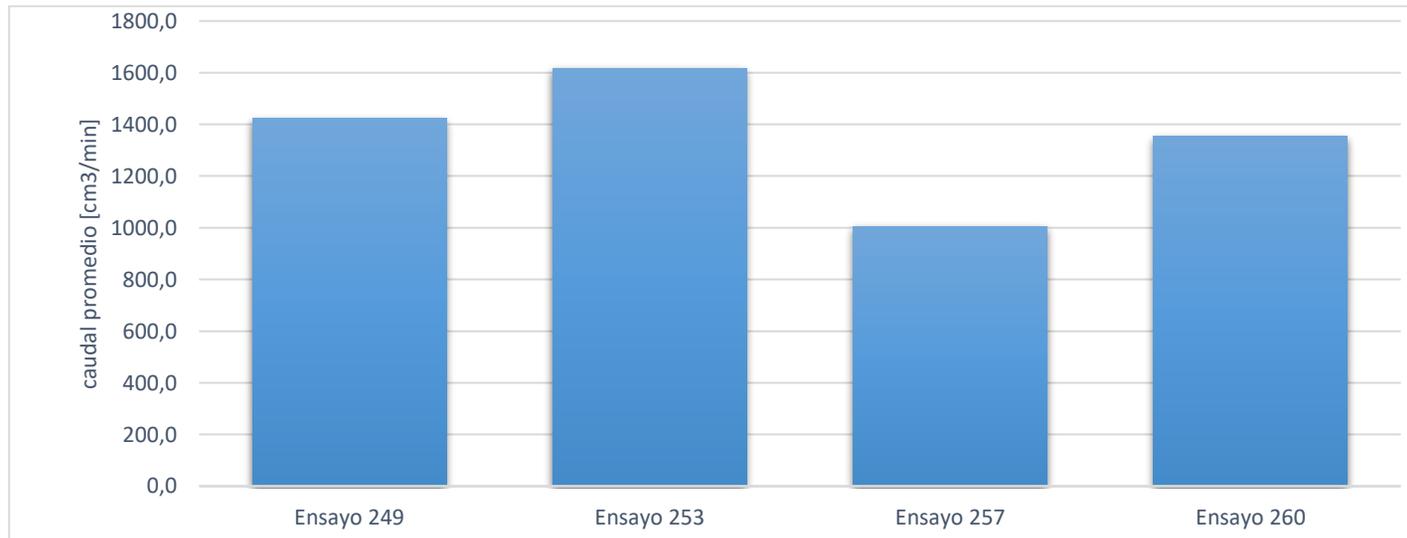
Ensayo 249		Ensayo 253		Ensayo 257		Ensayo 260	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	9,5						
L [mm]	120						
m [kg]	5,4	m [kg]	8,9	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
D [mm]	390	D [mm]	390	D [mm]	390	D [mm]	261,9
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1424,0		1614,0		1008,0		1356,0	
1425,0		1600,0		1000,0		1372,0	
1422,0		1638,0		1000,0		1367,0	
1421,0		1609,0		998,0		1345,0	
1423,0		1624,0		1021,0		1332,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1423,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1617,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1005,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1354,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	1,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,3



Grafica 11. Caudal promedio generado para la tabla 30

Tabla 31. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

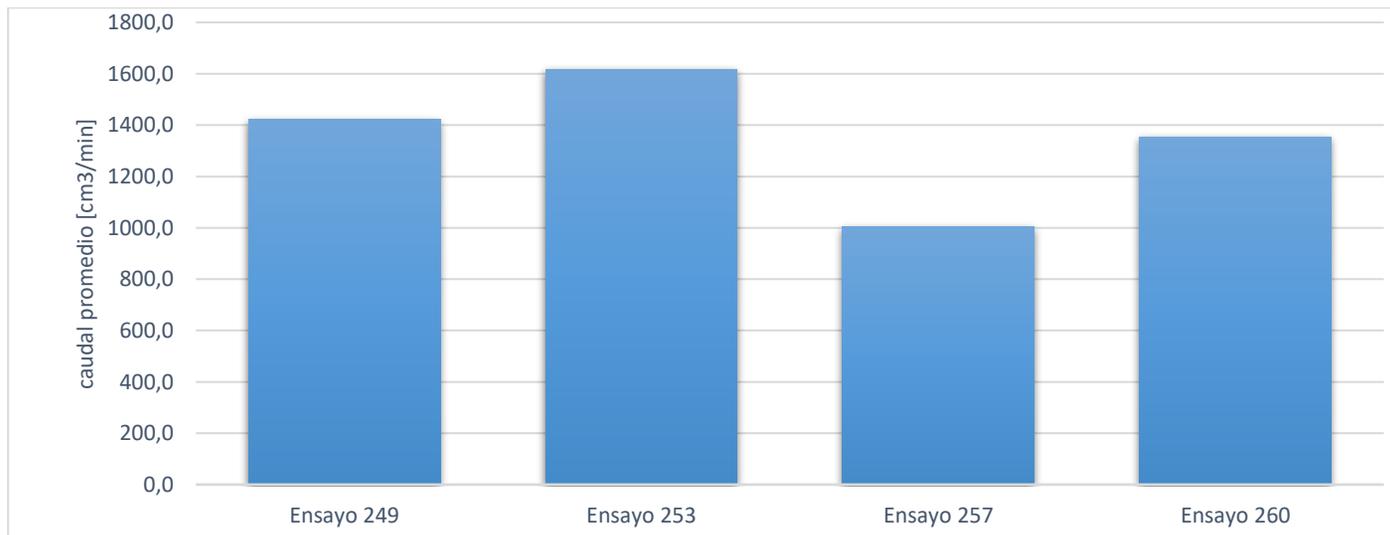
Ensayo 273		Ensayo 274		Ensayo 275		Ensayo 276	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	9,5						
L [mm]	162.7						
m [kg]	8,9						
D [mm]	390	D [mm]	347,3	D [mm]	304,6	D [mm]	261,9
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1372,0		988,0		1062,0		1360,0	
1344,0		1000,0		1112,0		1344,0	
1368,0		1015,0		1093,0		1370,0	
1355,0		1004,0		1084,0		1350,0	
1337,0		1020,0		1077,0		1355,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1355,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1005,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1085,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1355,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	18,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,9



Grafica 12.Caudal promedio generado para la tabla 31

Tabla 32. Caudal promedio con D y m variable

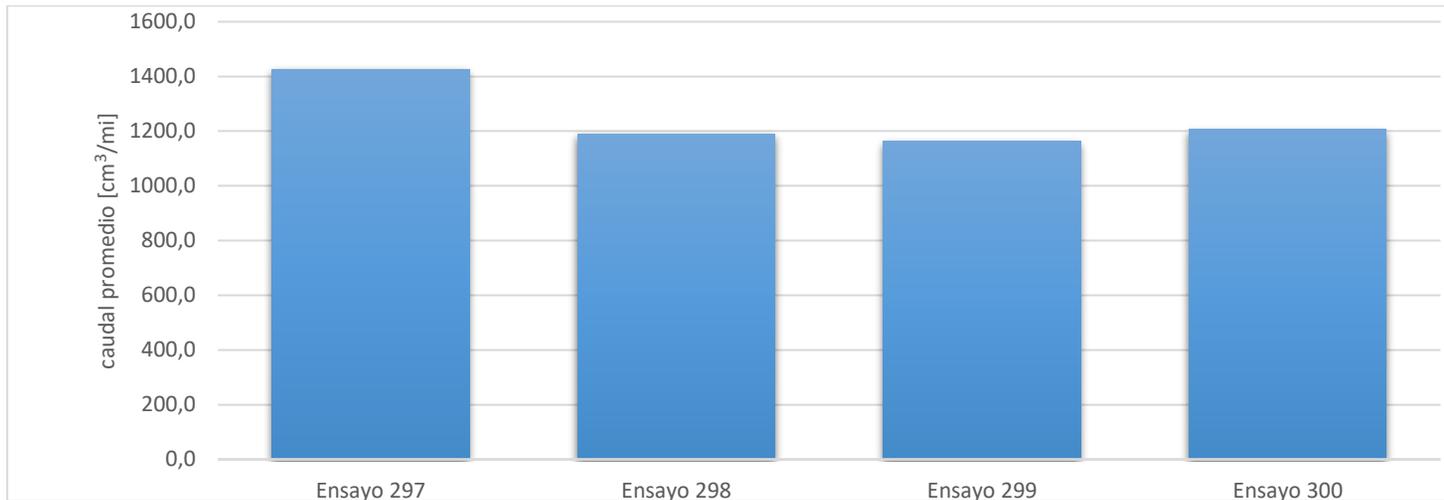
Ensayo 277		Ensayo 279		Ensayo 280		Ensayo 289	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	162.7	L [mm]	162.7	L [mm]	162.7	L [mm]	205.4
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>	<b>D [mm]</b>	<b>390</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1338,0		1183,0		1604,0		1217,0	
1340,0		1200,0		1592,0		1233,0	
1328,0		1190,0		1618,0		1227,0	
1325,0		1220,0		1610,0		1238,0	
1335,0		1197,0		1600,0		1244,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1333,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1198,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1604,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1231,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,4



Grafica 13. Caudal promedio generado para la tabla 32

Tabla 33. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

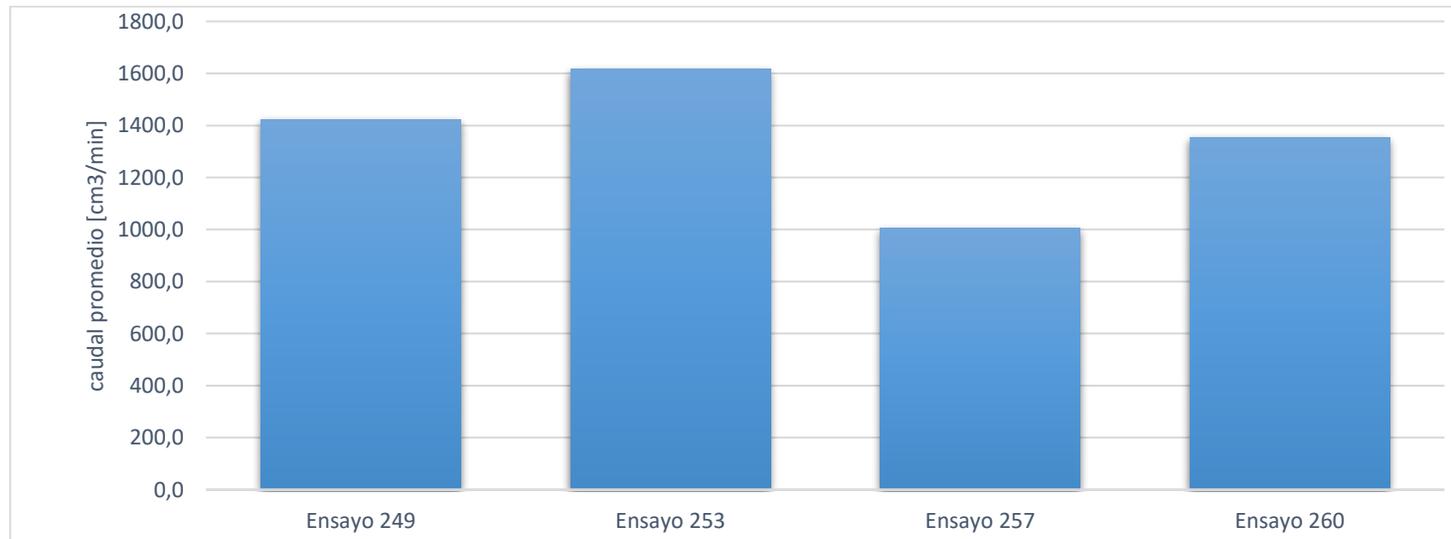
Ensayo 297		Ensayo 298		Ensayo 299		Ensayo 300	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1444,0		1180,0		1152,0		1190,0	
1400,0		1200,0		1160,0		1204,0	
1420,0		1190,0		1190,0		1220,0	
1434,0		1185,0		1165,0		1200,0	
1429,0		1197,0		1143,0		1214,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1425,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1190,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1162,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>1205,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>11,8</b>



Grafica 14. Caudal promedio generado para la tabla 33

Tabla 34. Caudal promedio con D y m variable

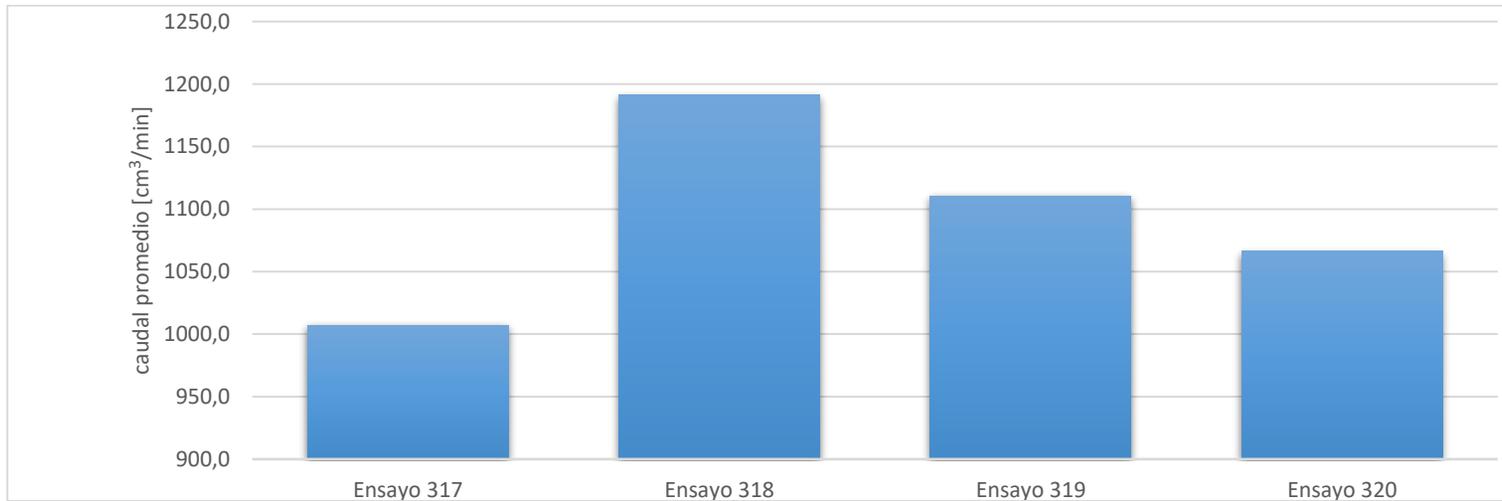
Ensayo 310		Ensayo 313		Ensayo 314		Ensayo 315	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	5,4	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1104,0		1084,0		1104,0		1060,0	
1107,0		1080,0		1095,0		1094,0	
1102,0		1069,0		1102,0		1083,0	
1100,0		1090,0		1095,0		1071,0	
1096,0		1075,0		1097,0		1063,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1101,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1079,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1098,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1074,2
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,2



Grafica 15. Caudal promedio generado para la tabla 34

Tabla 35. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

Ensayo 317		Ensayo 318		Ensayo 319		Ensayo 320	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1010,0		1182,0		1104,0		1046,0	
1019,0		1200,0		1116,0		1086,0	
1000,0		1197,0		1123,0		1077,0	
994,0		1191,0		1100,0		1053,0	
1013,0		1186,0		1110,0		1070,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1007,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1191,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1110,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1066,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,6



Grafica 16. Caudal promedio generado para la tabla 35

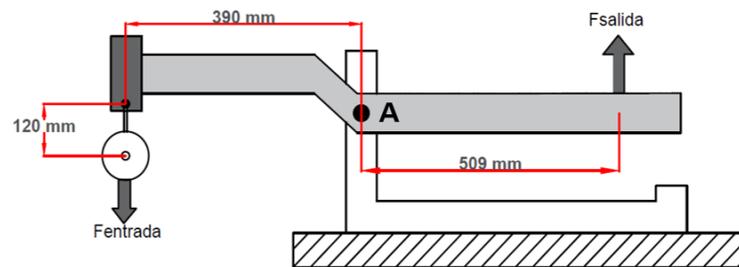
## 7.2. VENTAJA MECÁNICA EVALUADO SEGÚN PRUEBAS

Para el cálculo de la ventaja mecánica que entregara el mecanismo se debe tener en cuenta que las fuerzas que presenta el péndulo y la distancia entre pivotes varían según su configuración. Es por eso por lo que se procede a evaluar la ventaja mecánica en los ensayos que generaron mayor caudal, estos ensayos son los N°253 y 280 en los que los caudales sobrepasaron los  $1600 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$  con respecto a los demás.

Se tiene presente que la ventaja que se evaluara será para una palanca de primer grado, que en específico se refiere a que la fuerza se ejerce en un extremo, el punto de apoyo en el medio y la resistencia que presentara la viga en el otro extremo de ella.

Se procede a evaluar la ventaja mecánica con los datos que presentan las configuraciones de los ensayos mencionados.

### 7.2.1. Ventaja mecánica para el ensayo N°253



DATOS	UNIDADES
Masa del péndulo	8,9 kg
Masa de los contrapesos	9,5 kg

Se procede a desarrollar los cálculos pertinentes para hallar la ventaja mecánica para esta configuración a la cual se sometió el mecanismo.

$$F_{ent} = (8,9 \text{ kg}_f) \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}_f} \right) = F_{ent} = 87,390 \text{ N}$$

A continuación, se halla la fuerza de salida por sumatoria de momentos en el punto **A**.

$$F_{sal} = (9,5 \text{ kg}_f) \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}_f} \right) = F_{sal} = 93,195 \text{ N}$$

$$V_m = \frac{93,195 \text{ N}}{87,390 \text{ N}}$$

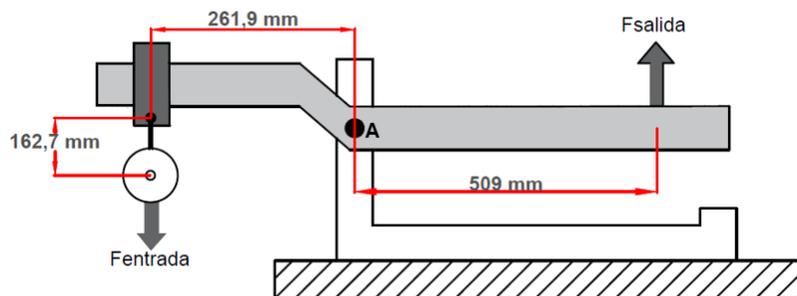
Hallando la ventaja mecánica según la fuerza de entrada y salida del mecanismo.

$$V_m = 1,06$$

$$V_m = \frac{F_{sal}}{F_{ent}}$$

El resultado que nos arroja el cálculo de la ventaja mecánica corresponde al porcentaje de fuerza o resistencia que debe ejercer la viga para accionar las bombas de diafragma.

### 7.2.2. Ventaja mecánica para el ensayo N°280



DATOS	UNIDADES
Masa del péndulo	12,4 kg
Masa de los contrapesos	9,5 kg

Se procede a desarrollar los cálculos pertinentes para hallar la fuerza de entrada.

$$F_{ent} = (12,4 \text{ kg}_f) \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}_f} \right)$$

$$F_{ent} = 121,644 \text{ N}$$

A continuación, se halla la fuerza de salida en la parte derecha de la viga oscilante.

$$F_{sal} = (9,5 \text{ kg}_f) \left( 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}_f} \right)$$

$$F_{sal} = 93,195 \text{ N}$$

Se procede a hallar la ventaja mecánica según la fuerza de entrada y salida del mecanismo.

$$V_m = \frac{F_{sal}}{F_{ent}}$$

Remplazando valores.

$$V_m = \frac{93,195 \text{ N}}{121,644 \text{ N}}$$

$$V_m = 0,76$$

El resultado que nos arroja el cálculo de la ventaja mecánica corresponde al porcentaje de fuerza o resistencia que debe ejercer la viga para accionar las bombas de diafragma.

Los resultados que se pueden observar nos permiten concluir que las mejores condiciones para que el mecanismo genere un gran caudal son las que se presentan en el ensayo N°280, ya que por la ventaja mecánica que se calculó para este ensayo permite determinar que el esfuerzo que debe realizar la viga para accionar las bombas de diafragma es mínimo con respecto al ensayo N°253.

### 7.3. ENERGIA MECÁNICA GENERADA POR EL MECANISMO EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE LA VIGA OSCILANTE.

Para la evaluación de la energía mecánica generada por el mecanismo en función de la longitud de la viga oscilante, se procede a calcular con el caudal máximo obtenido que es de  $1617 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$  la distancia entre pivotes que presenta el mecanismo para la obtención de este caudal fue de 390 mm.

Energía adicionada ( $h_{A12}$ ) por las bombas de fluido.

$$E_1 + h_{A12} = E_2$$

$$0 + h_{A12} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad h_{A12} = 0,765 \text{ m} + 5,55 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,7655 \text{ m}$$

$$h_{A12} = 0,765 \frac{\text{Nm}}{\text{N}} = 0,765 \frac{\text{J}}{\text{N}}$$

W: Peso del fluido movilizado en un minuto

V: Volumen del fluido movilizado en un minuto:  $1673 \text{ cm}^3$ .

$\rho$ : Peso específico del agua  $9,81 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$ .

$$W = V * \rho$$

$$W = \left( 1617 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} \right) \left( \frac{1000 \text{ m}}{1000 \text{ cm}} \right)^3$$

$$W = 0,0158 \text{ KN} = 15,8 \text{ N}$$

Energía de la bomba generada por medio de la interacción con la viga oscilante.

$$E_{\text{bomba}} = h_{A12} * W$$

$$E_{\text{bomba}} = \left( 0,765 \frac{\text{J}}{\text{N}} \right) (15,8 \text{ N})$$

$$E_{\text{bomba}} = 12,4 \text{ J}$$

$$\mathbf{E_{\text{nergia del mecanismo}} = 12,4 \text{ J}}$$

El resultado obtenido de la energía generada por la bombas de diafragma se asimila a la energía que generará el mecanismo en función de la longitud de la viga, ya que, al evaluar este resultado en uno de los caudales mas altos obtenidos por el mecanismo, se concluye que el porcentaje de energía obtenida no será elevada para realizar un trabajo optimo en el mecanismo en función de la viga oscilante.

## CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del proyecto y pruebas realizadas se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó el concepto de ingeniería inversa donde se construyó el mecanismo para analizar y entender su funcionamiento, además para comprender los parámetros que se deben tener en cuenta para su construcción.

- Se cumple con el objetivo principal del proyecto que fue el de diseñar y construir un mecanismo pendular de accionamiento manual para un sistema de bombeo.
- Se realiza el diseño y dimensionamiento de elementos normalizados y no normalizados a través del software de diseño SolidWorks.
- Para el proceso de construcción fue necesario tener en cuenta que habría que implementar modificaciones a algunos componentes que conforman al mecanismo, esto para lograr la aplicación del suministro de agua potable por medio del accionamiento de dos bombas de diafragma. El diseño y construcción de la viga oscilante es de material macizo con el cual se logra ganar peso, reducir vibraciones y deformaciones que podría presentar un material tubular como el que presenta el mecanismo original. Otro elemento que se vio sujeto a modificaciones fue el péndulo ya que fue necesario cambiar su orientación para mantener un centro de masa constante al variar su masa.
- Para la selección de elementos normalizados que se agregaron al mecanismo fue necesario realizar cálculos de diseño a los elementos a los que serían sujetos y respecto a los valores resultante de aquellos cálculos se procedió a seleccionarlos tal como lo indica el libro guía de diseño de máquinas de Robert L. Mott.
- Fue necesario verificar catálogos de fabricación de cada uno de los elementos normalizados a utilizar para seleccionar los correctos según cálculos realizados.
- Para la selección de las bombas de diafragma que se utilizaron se tuvo en cuenta los siguientes parámetros como: tamaño, funcionalidad, cantidad de caudal generado, fácil mantenimiento, facilidad para la adaptación hacia el mecanismo.
- Aquellas bombas de diafragma que se utilizaron se justificó su selección por medio de catálogos de funcionalidad para determinar su comportamiento y la cantidad de caudal que podrían generar para la aplicación al que estaría sometido el mecanismo.

- Para la utilización de estas bombas se realizaron distintas modificaciones para llegar a determinar la mejor forma de generar altos niveles de caudal y que estas no afectaran la frecuencia natural generada por el mecanismo.
- Durante el desarrollo de las pruebas se puede observar que se obtuvieron varios ensayos en los que el caudal promedio generado presenta niveles eficientes, De estas pruebas realizadas se pueden destacar dos ensayos realizados donde las configuraciones utilizadas fueron las más óptimas y las cuales generaron caudales promedios de  $1617 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$  que equivalen a  $97,02 \frac{\text{L}}{\text{h}}$  y  $1604,8 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$  que equivale  $96,29 \frac{\text{L}}{\text{h}}$ , lo cual nos permite evidenciar que el caudal propuesto inicialmente de  $20 \frac{\text{L}}{\text{h}}$  se puede cumplir a total cabalidad, las configuraciones que permitieron obtener dichos caudales fueron cuando se desarrolló la cuarta etapa de pruebas donde se estableció como parámetro fijos  $M=9,5 \text{ kg}$  a una altura de  $1 \text{ m}$  y se procedió a variar los valores de  $L$ ,  $m$  y  $D$ . Cuando se estableció asignar  $L=120 \text{ mm}$ ,  $m=8,9 \text{ kg}$  y  $D=390 \text{ mm}$  se logró obtener el primer caudal referenciado, las otras condiciones que lograron obtener el siguiente caudal referenciado fueron de  $L=162,7 \text{ mm}$ ,  $m=12,4 \text{ kg}$  y  $D=261,9 \text{ mm}$ .
- También se pueden observar ensayos en los que las configuraciones establecidas no logran generar un caudal promedio debido a que la viga oscilante no ejerce un trabajo sobre las bombas de diafragma dejando como caudal promedio generado en  $0 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$ .

## BIBLIOGRAFIA

CENTRO AUTONOMO DE FORMACIÓN E INNOVACIÓN. Mecanismo de transmisión lineal, {Agosto 2019} disponible en: (<https://www.edu.xunta.gal/centros/cafi/aulavirtual2/mod/page/view.php?id=25198>)

MECANISMOSIRINAVH3B. Mecanismo de transmisión lineal, {Agosto 2019} disponible en: (<https://sites.google.com/site/mecanismosirinvh3b/2-mecanismos-de-transmision-lineal>)

VILLABA TECNOLOGIA, Mecanismos, {Septiembre 2019} disponible en: (<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/mecanismos-transmision.pdf>)

SENA, la palanca, {Septiembre} disponible en: (<http://tecnoelectromecanica.blogspot.com/2011/04/mecanismos-de-transmision-lineal.html>)

L. MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas cuarta edición. México: PEARSON educación, 2006

L. NORTON. Robert. Diseño de maquinaria cuarta edición. México: Mc Graw Hill, 2004

SANCHEZ HERRERA. Antonio. Resonancia en un sistema pendular accionado por el mecanismo biela manivela. España, 2005, proyecto de carrera, universidad de Sevilla, departamento de matemática.

MILKOVIĆ, Veljko. Bomba de mano bomba de agua, disponible en: (<https://www.veljkomilkovic.com/rucnaPumpa.htm>)

MILKOVIĆ, Veljko. The pendulum lever system, disponible en: (<http://www.pendulum-lever.com/theory-maths.html>)

CURSO INTERACTIVO DE FISICA EN INTERNET, oscilaciones, disponible en: (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/index.html>)

## ANEXOS

1. A1 Patente del mecanismo oscilante de dos etapas.
2. A2 Tablas de frecuencias y periodos experimentales con mecanismo en vacío.
3. A3 Tablas de energía mecánica generadas por el mecanismo en función de la masa del péndulo.
4. A4 Catálogos de elementos normalizados.
5. A5 Tablas de pruebas del funcionamiento del mecanismo
6. A6 Valores de fuerzas para las bombas diafragma con carga y en vacío.
7. A7 Tablas de la ventaja mecánica del mecanismo según configuración
8. A8 Planos del mecanismo pendular de accionamiento manual para un sistema de bombeo de 20 l/h de agua.

1. A1 PATENTE DEL MECANISMO OSCILANTE DE DOS ETAPAS.

(19) SRBIJA I CRNA GORA

(12) Patentni spis (11) 49002 B



(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F 04 B 9/14

ZAVOD ZA  
INTELEKTUALNU SVOJINU  
BEOGRAD

(21) Broj prijave: P-577/99  
(22) Datum podnošenja prijave: 10.11.1999.  
(43) Datum objavljivanja prijave: 28.05.2001.  
(45) Datum objavljivanja patenta: 30.04.2003.  
(30) Međunarodno pravo prvenstva:

(73) Nosilac patenta:  
MILKOVIĆ VELJKO,  
Bul. Cara Lazara 56,  
21000 Novi Sad

(72) Pronalazač:  
MILKOVIĆ VELJKO

(61) Dopunski patent uz osnovni  
patent broj:

(62) Izdvojen patent iz prvobitne  
prijave broj:

(74) Zastupnik:

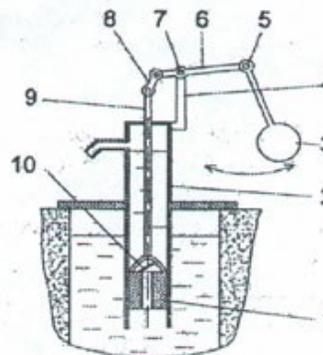
(54) Naziv: RUČNA PUMPA ZA VODU  
SA KLATNOM

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F 04 B 9/14

(57) Apstrakt:

Pronalazak, ručna pumpa za vodu sa klatnom, sastavljen je iz tela pumpe (2) u obliku cilindra u kojem je smešten klip (1), sa klapnom (10) koja je jednosmerno propusna za vodu, tj. voda može da prolazi kroz klip (1) samo prema gore i to kada se on kreće prema dole. Za klip (1) je čvrsto spojena poluga (9) koja je sa gornje strane zglobno spojena sa polugom (8). Poluga (8) je sa druge strane zglobno spojena sa jednim krajem dvokrake poluge (6), koja je okačena na osovinicu (7) koja je učvršćena na nosač (4) koji je učvršćen na telo pumpe (2). Dvokraka poluga (6) može da se zakreće u vertikalnoj ravni. Na suprotnom kraju dvokrake poluge (6) učvršćena je osovinica (5) na koju je okačeno klatno (3) koje može da se njiše u vertikalnoj ravni koja prolazi kroz vertikalnu osu tela pumpe (2). Centrifugalne i gravitacione sile koje se javljaju pri njihanju klatna (3) preko povezanih poluga (6), (8) i (9) uzrokuju osciliranje klipa (1), odnosno isticanje vode. Klatno (3) je potrebno samo povremeno zanjihavati, što znači da su obe ruke slobodne za prihvatanje vode.



YU 49002 B

2. A2 TABLAS DE FRECUENCIAS Y PERIODOS EXPERIMENTALES CON MECANISMO EN VACÍO.

Longitud péndulo	m = 12,4 kg				m = 8,9 kg							
	TIEMPO(s)				TIEMPO(s)							
120mm	1	7,1			1	7,06						
	2	7,07			2	7,21						
	3	7,02			3	7,01						
	4	7,06			4	7,15						
	5	7,08			5	7,06						
	promedio de tiempo	t=	7,07	s	promedio de tiempo	t=	7,10	s				
	periodo	T=	0,71	s	periodo	T=	0,71	s				
	frecuencia	f=	1,42	Hz	frecuencia	f=	1,41	Hz				
	m = 5,4 kg				m = 3,6 kg				m = 1,8 kg			
	TIEMPO(s)				TIEMPO(s)				TIEMPO(s)			
1	7,35			1	7,01			1	7,42			
2	7,36			2	7,6			2	7,71			
3	7,51			3	7,5			3	7,63			
4	7,21			4	7,41			4	7,5			
5	7,2			5	7,38			5	7,75			
promedio de tiempo	t=	7,33	s	promedio de tiempo	t=	7,38	s	promedio de tiempo	t=	7,60	s	
periodo	T=	0,73	s	periodo	T=	0,74	s	periodo	T=	0,76	s	
frecuencia	f=	1,37	Hz	frecuencia	f=	1,36	Hz	frecuencia	f=	1,32	Hz	

Longitud péndulo	m = 12,4 kg				m = 8,9 kg						
	TIEMPO(s)				TIEMPO(s)						
162.7mm	1	8,22			1	8,06					
	2	8,14			2	8,17					
	3	8,15			3	8,05					
	4	8,15			4	8,12					
	5	8,62			5	8,04					
	promedio de tiempo	t=	8,26	s	promedio de tiempo	t=	8,09	s			
	periodo	T=	0,83	s	periodo	T=	0,81	s			
frecuencia	f=	1,21	Hz	frecuencia	f=	1,24	Hz				
m = 5,4 kg				m = 3,6 kg				m = 1,8 kg			
TIEMPO(s)				TIEMPO(s)				TIEMPO(s)			
1	8,88			1	8,26			1	8,25		
2	8,79			2	8,19			2	8,85		
3	8,7			3	8,14			3	8,63		
4	8,45			4	8,53			4	8,38		
5	8,54			5	8,44			5	8,63		
promedio de tiempo	t=	8,67	s	promedio de tiempo	t=	8,31	s	promedio de tiempo	t=	8,55	s
periodo	T=	0,87	s	periodo	T=	0,83	s	periodo	T=	0,85	s
frecuencia	f=	1,15	Hz	frecuencia	f=	1,20	Hz	frecuencia	f=	1,17	Hz

Longitud péndulo	m = 12,4 kg				m = 8,9 kg						
	TIEMPO(s)				TIEMPO(s)						
205.4mm	1	8,88			1	8,99					
	2	8,94			2	9,07					
	3	8,85			3	9,09					
	4	8,95			4	9,03					
	5	9,02			5	9,05					
	promedio de tiempo	t=	8,93	s	promedio de tiempo	t=	9,05	s			
	periodo	T=	0,89	s	periodo	T=	0,90	s			
	frecuencia	f=	1,12	Hz	frecuencia	f=	1,11	Hz			
m = 5,4 kg				m = 3,6 kg				m = 1,8 kg			
TIEMPO(s)				TIEMPO(s)				TIEMPO(s)			
1	9,44			1	9,3			1	9,43		
2	9,42			2	9,26			2	9,85		
3	9,21			3	9,34			3	9,63		
4	9,45			4	9,25			4	9,38		
5	9,35			5	7,44			5	9,63		
promedio de tiempo	t=	9,37	s	promedio de tiempo	t=	8,92	s	promedio de tiempo	t=	9,58	s
periodo	T=	0,94	s	periodo	T=	0,89	s	periodo	T=	0,96	s
frecuencia	f=	1,07	Hz	frecuencia	f=	1,12	Hz	frecuencia	f=	1,04	Hz

Longitud péndulo	m = 12,4 kg				m = 8,9 kg						
	TIEMPO(s)				TIEMPO(s)						
248.1mm	1	9,92			1	10,06					
	2	10,04			2	10,03					
	3	10,05			3	10,09					
	4	10,05			4	10,03					
	5	10,02			5	10,05					
	promedio de tiempo	t=	10,02	s	promedio de tiempo	t=	10,05	s			
	periodo	T=	1,00	s	periodo	T=	1,01	s			
	frecuencia	f=	1,00	Hz	frecuencia	f=	0,99	Hz			
m = 5,4 kg				m = 3,6 kg				m = 1,8 kg			
TIEMPO(s)				TIEMPO(s)				TIEMPO(s)			
1	10,1			1	10,13			1	10,14		
2	10,1			2	10,16			2	10,23		
3	10,11			3	10,14			3	10,13		
4	10,12			4	10,15			4	10,18		
5	10,12			5	10,14			5	10,16		
promedio de tiempo	t=	10,11	s	promedio de tiempo	t=	10,14	s	promedio de tiempo	t=	10,17	s
periodo	T=	1,01	s	periodo	T=	1,01	s	periodo	T=	1,02	s
frecuencia	f=	0,99	Hz	frecuencia	f=	0,99	Hz	frecuencia	f=	0,98	Hz

3. A3 TABLAS DE ENERGÍA MECÁNICA GENERADAS POR EL MECANISMO EN FUNCIÓN DE LA MASA DEL PÉNDULO.

CALCULOS PENDULO PARA $m = 12,4 \text{ kg}$ y $L = 248,1 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	12,4	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	12,446	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,036	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,8	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,248	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,248	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,124	m
Periodo	T	1,022	s
Frecuencia	f	0,978	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,148	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	61,319	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,148	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	37,799	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	15,112	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	15,112	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 8,9 \text{ kg}$ y $L = 248,1 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	8,9	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	8,946	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,026	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,6	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,248	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,247	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,124	m
Periodo	$T$	1,022	s
Frecuencia	$f$	0,979	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,149	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	61,311	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,149	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	37,809	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	10,855	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	10,855	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 5,4 \text{ kg}$ y $L = 248,1 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	5,4	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	5,446	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,016	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,3	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,248	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,247	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,123	m
Periodo	$T$	1,022	s
Frecuencia	$f$	0,979	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,151	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	61,292	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,151	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	37,831	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	6,597	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	6,597	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 3,6 \text{ kg}$ y $L = 248,1 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	3,6	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	3,646	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,010	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,2	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,248	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,246	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,123	m
Periodo	T	1,021	s
Frecuencia	f	0,979	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,153	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	61,269	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,153	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	37,860	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	4,407	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	4,407	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 1,8 \text{ kg}$ y $L = 248,1 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	1,8	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	1,846	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,005	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,1	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,248	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,245	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,122	m
Periodo	$T$	1,020	s
Frecuencia	$f$	0,980	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,160	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	61,199	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,160	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	37,946	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	2,218	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	2,218	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 12,4 \text{ kg}$ y $L = 205,4 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	12,4	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	12,446	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,036	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,6	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,205	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,205	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,102	m
Periodo	T	0,939	s
Frecuencia	f	1,065	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,692	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	56,333	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,692	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	44,786	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	12,497	J
Energía mecánica	$EmT$	12,497	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 8,9 \text{ kg}$ y $L = 205,4 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	8,9	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	8,946	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,026	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,4	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,205	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,205	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,102	m
Periodo	$T$	0,939	s
Frecuencia	$f$	1,065	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,693	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	56,327	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,693	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	44,795	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	8,977	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	8,977	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 5,4 \text{ kg}$ y $L = 205,4 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	5,4	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	5,446	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,016	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,2	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,205	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,204	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,102	m
Periodo	T	0,939	s
Frecuencia	f	1,065	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,695	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	56,313	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,695	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	44,817	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	5,458	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	5,458	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 3,6 \text{ kg}$ y $L = 205,4 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	3,6	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	3,646	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,010	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,2	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,205	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,204	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,102	m
Periodo	T	0,938	s
Frecuencia	f	1,066	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,697	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	56,296	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,697	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	44,844	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	3,648	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	3,648	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 1,8 \text{ kg}$ y $L = 205,4 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	1,8	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	1,846	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,005	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,1	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,205	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,203	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,102	m
Periodo	$T$	0,937	s
Frecuencia	$f$	1,067	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	6,703	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	56,244	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	6,703	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	44,927	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	1,838	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	1,838	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 12,4 \text{ kg}$ y $L = 162,7 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	12,4	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{sis}$	12,446	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,036	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{sis}$	0,4	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,162	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{sis}$	0,162	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,081	m
Periodo	T	0,851	s
Frecuencia	f	1,175	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	7,385	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	51,050	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	7,385	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	54,535	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	9,881	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	9,881	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 8,9 \text{ kg}$ y $L = 162,7 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	8,9	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	8,946	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,026	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,3	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,162	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,162	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,081	m
Periodo	$T$	0,851	s
Frecuencia	$f$	1,175	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	7,385	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	51,047	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	7,385	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	54,540	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	7,100	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	7,100	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 5,4 \text{ kg}$ y $L = 162,7 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	5,4	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	5,446	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,016	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,2	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,162	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,162	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,081	m
Periodo	T	0,851	s
Frecuencia	f	1,175	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	7,386	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	51,043	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	7,386	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	54,550	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	4,319	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	4,319	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 3,6$ kg y $L = 162,7$ mm			
Gravedad	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
ángulo de fase	$\varphi$	60	°
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	3,6	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{sis}$	3,646	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,010	kg.m <sup>2</sup>
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	kg.m <sup>2</sup>
momento de inercia sistema	$I_{sis}$	0,1	kg.m <sup>2</sup>
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,162	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{sis}$	0,162	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,081	m
Periodo	T	0,851	s
Frecuencia	f	1,176	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	7,387	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	51,037	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	7,387	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	54,563	rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Energía cinética en B	$E_{KB}$	2,889	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	2,889	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 1,8 \text{ kg}$ y $L = 162,7 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	1,8	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	1,846	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,005	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,1	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,162	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,161	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,081	m
Periodo	$T$	0,850	s
Frecuencia	$f$	1,176	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	7,389	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	51,019	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	7,389	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	54,602	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	1,459	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	1,459	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 12,4 \text{ kg}$ y $L = 120 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	12,4	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	12,446	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,036	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,2	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,120	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,120	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,060	m
Periodo	T	0,762	s
Frecuencia	f	1,312	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	8,246	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	45,719	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	8,246	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	67,993	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	7,327	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	7,327	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 8,9 \text{ kg}$ y $L = 120 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	8,9	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	8,946	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,026	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,2	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,120	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,120	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,060	m
Periodo	$T$	0,762	s
Frecuencia	$f$	1,312	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	8,245	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	45,725	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	8,245	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	67,977	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	5,267	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	5,267	J

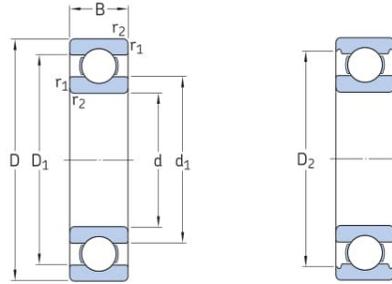
CALCULOS PENDULO PARA $m = 5,4 \text{ kg}$ y $L = 120 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	5,4	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	5,446	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,016	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,1	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,120	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,120	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,060	m
Periodo	T	0,762	s
Frecuencia	f	1,312	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	8,243	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	45,737	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	8,243	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	67,940	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	3,207	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	3,207	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 3,6 \text{ kg}$ y $L = 120 \text{ mm}$			
Gravedad	g	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	L	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	3,6	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	3,646	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,010	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,1	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,120	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,120	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	h	0,060	m
Periodo	T	0,763	s
Frecuencia	f	1,311	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	8,240	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	45,752	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	8,240	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	67,895	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	2,147	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	2,147	J

CALCULOS PENDULO PARA $m = 1,8 \text{ kg}$ y $L = 120 \text{ mm}$			
Gravedad	$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
ángulo de fase	$\varphi$	60	$^\circ$
longitud varilla	$L$	0,250	m
Diámetro Disco	$\varnothing_d$	0,076	m
CALCULOS MASA DES SISTEMA			
masa de los discos	$m_d$	1,8	kg
masa de la varilla	$m_v$	0,046	kg
masa del sistema	$m_{\text{sis}}$	1,846	kg
CALCULOS MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA			
momento de inercia discos	$I_d$	0,005	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia varilla	$I_v$	0,001	$\text{kg.m}^2$
momento de inercia sistema	$I_{\text{sis}}$	0,0	$\text{kg.m}^2$
CALCULOS DISTANCIA CENTRO DE MASA DEL SISTEMA			
centro de masa discos	$cm_d$	0,120	m
centro de masa varilla	$cm_v$	0,125	m
centro de masa sistema	$cm_{\text{sis}}$	0,120	m
CALCULOS PENDULO FISICO			
Altura del punto A con respecto de B	$h$	0,060	m
Periodo	$T$	0,763	s
Frecuencia	$f$	1,310	Hz
Frecuencia angular	$\omega$	8,232	rad/s
No de ciclos por minuto	$n_c$	45,798	cpm
CALCULOS DE ENERGIA			
velocidad tangencial maxima	$W_B$	8,232	rad/s
(velocidad tangencial maxima) <sup>2</sup>	$W_B^2$	67,760	$\text{rad}^2/\text{s}^2$
Energía cinética en B	$E_{KB}$	1,088	J
Energía mecánica	$E_{mT}$	1,088	J

## 4. A4 Catálogos de elementos normalizados.

### 1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 12–22 mm



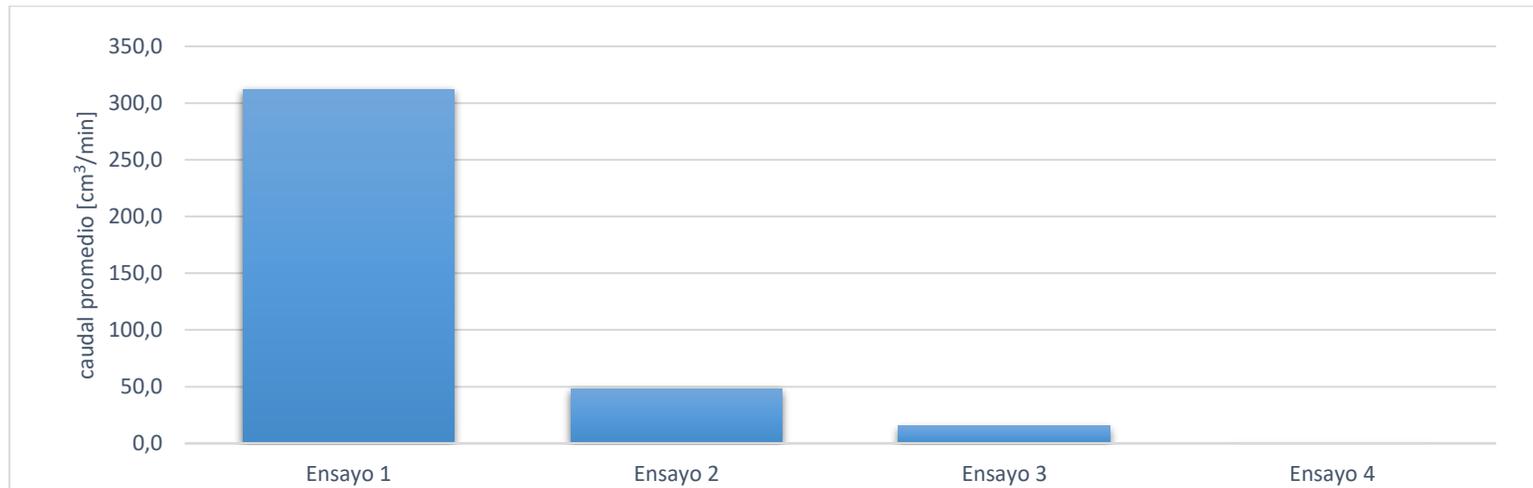
Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–
<b>12</b>	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	<b>61801</b>
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40 000	0,011	<b>61901</b>
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	* <b>6001</b>
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	<b>16101</b>
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* <b>6201</b>
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	* <b>6301</b>
<b>15</b>	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	38 000	0,0065	<b>61802</b>
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	<b>61902</b>
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* <b>16002</b>
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* <b>6002</b>
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	* <b>6202</b>
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	* <b>6302</b>
<b>17</b>	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	<b>61803</b>
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	<b>61903</b>
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* <b>16003</b>
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* <b>6003</b>
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	* <b>6203</b>
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	<b>6203 ETN9</b>
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,11	* <b>6303</b>
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	<b>6403</b>
<b>20</b>	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	<b>61804</b>
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	<b>61904</b>
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	* <b>16004</b>
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	* <b>6004</b>
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* <b>6204</b>
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	<b>6204 ETN9</b>
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* <b>6304</b>
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	<b>6304 ETN9</b>
<b>22</b>	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	<b>6404</b>
	50	14	14	7,65	0,325	30 000	19 000	0,13	<b>62/22</b>
	56	16	18,6	9,3	0,39	28 000	18 000	0,18	<b>63/22</b>

\* Rodamiento SKF Explorer

## 5. A5 TABLAS DE PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO

Tabla 1. Caudal promedio con D variable con valor de m=1,8 kg

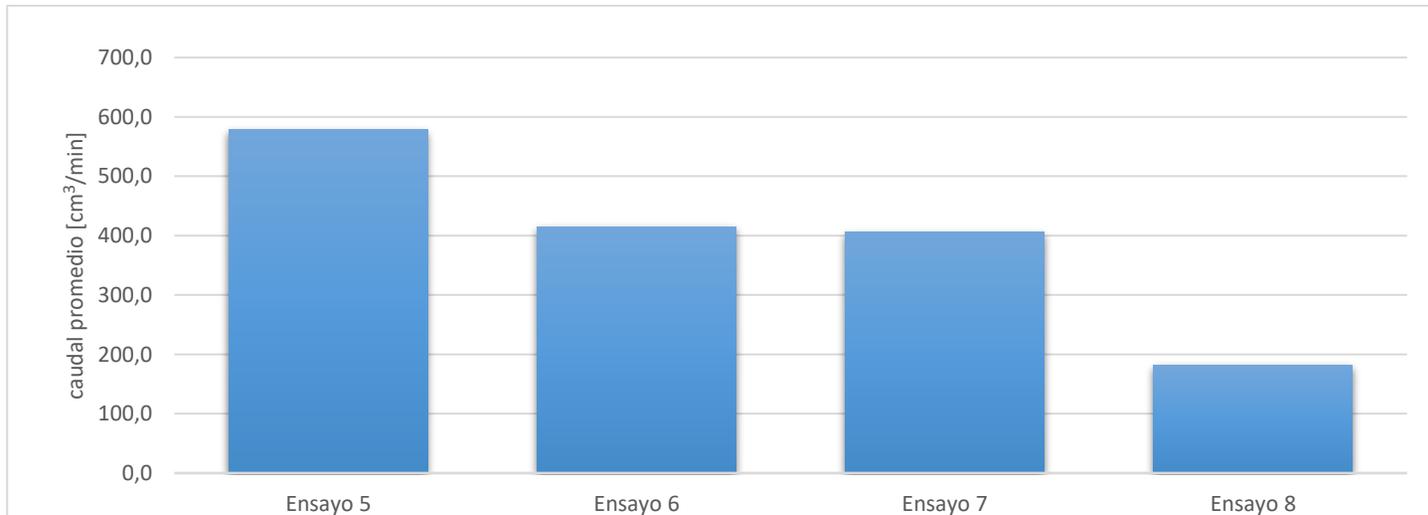
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
324,0		68,0		12,0		0,0	
337,0		24,0		17,0		0,0	
300,0		57,0		15,0		0,0	
300,0		33,0		17,0		0,0	
300,0		58,0		15,0		0,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	312,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	48,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	15,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	0,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	18,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	2,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	0,0



Grafica 1. Caudal promedio generado para la tabla 1

Tabla 2. Caudal promedio con D variable con valor de m=3,6 kg

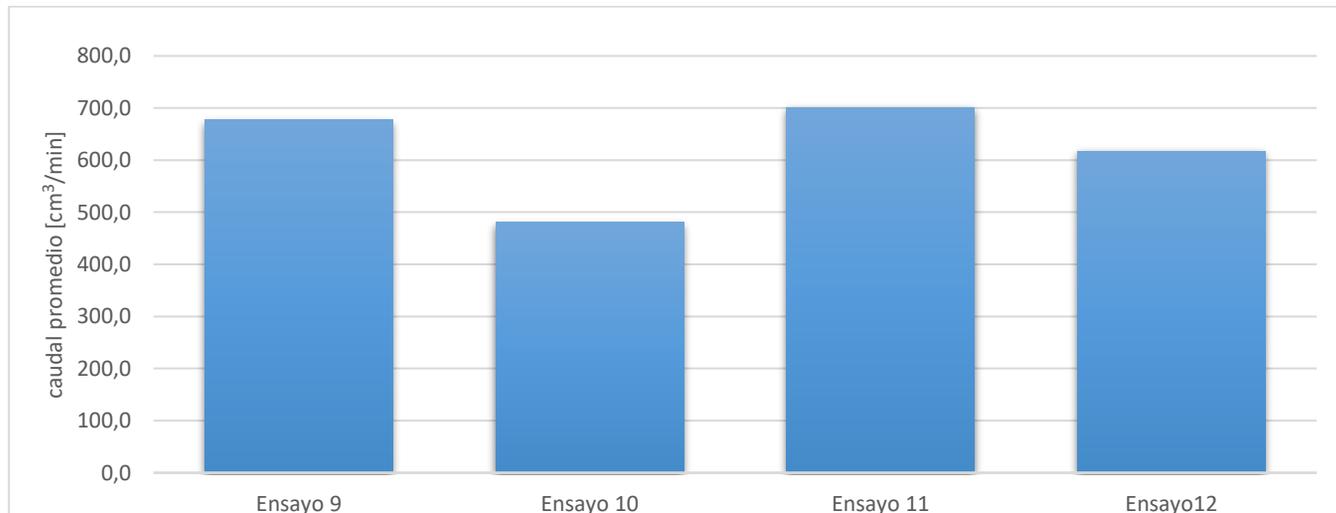
Ensayo 5		Ensayo 6		Ensayo 7		Ensayo 8	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
590,0		402,0		400,0		190,0	
572,0		423,0		393,0		160,0	
588,0		400,0		428,0		174,0	
560,0		430,0		410,0		185,0	
580,0		418,0		398,0		200,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	578,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	414,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	405,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	181,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,4



Grafica 2. Caudal promedio generado para la tabla 2.

Tabla 3. Caudal promedio con D variable con valor de m=5,4 kg

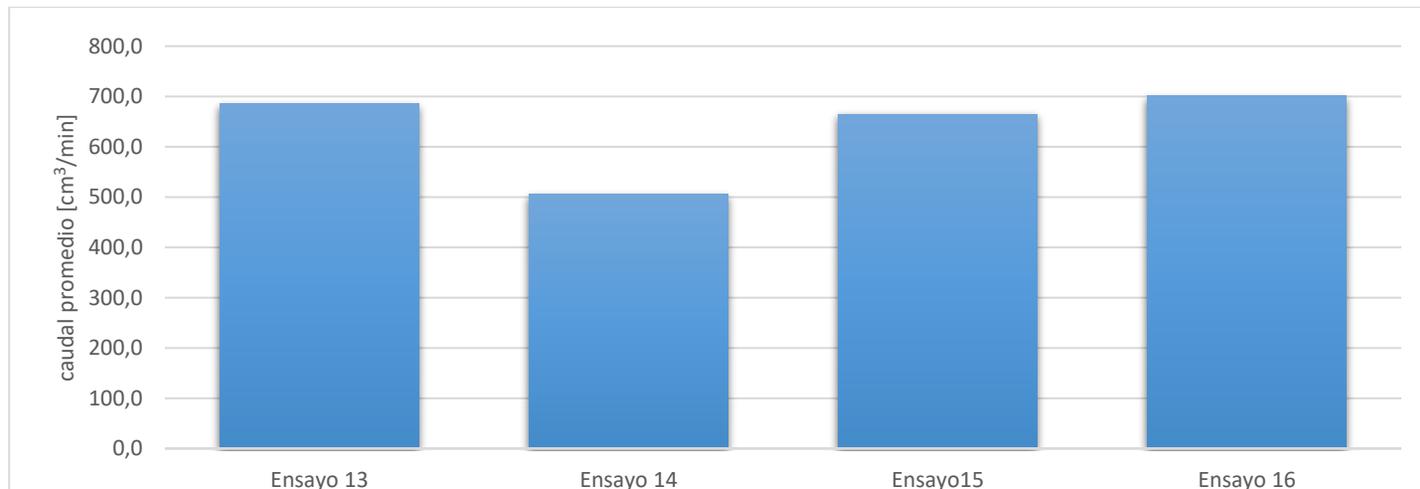
Ensayo 9		Ensayo 10		Ensayo 11		Ensayo 12	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	120						
m [kg]	5,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
653,0		462,0		690,0		620,0	
672,0		500,0		713,0		620,0	
680,0		472,0		707,0		605,0	
690,0		490,0		697,0		625,0	
690,0		480,0		700,0		615,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>677,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>480,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	701,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	617,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>15,4</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>14,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,6



Grafica 3. Caudal promedio generado para la tabla 3.

Tabla 4. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

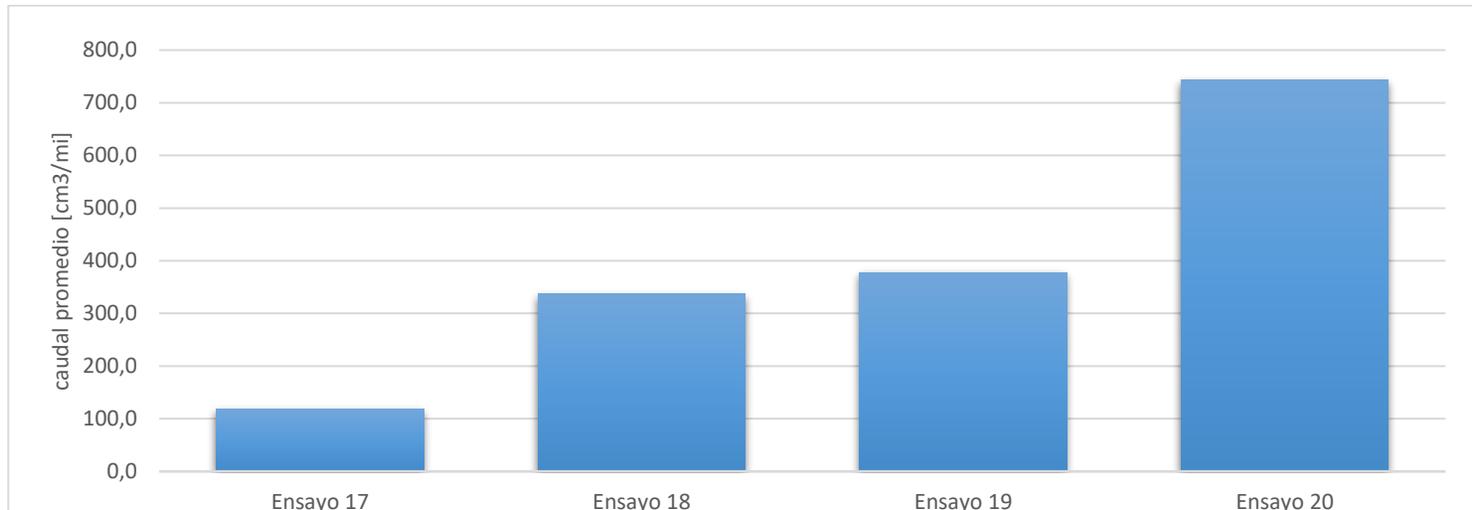
Ensayo 13		Ensayo 14		Ensayo 15		Ensayo 16	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
D [mm]	390	D [mm]	347,3	D [mm]	304,6	D [mm]	261,9
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
679,0		518,0		671,0		690,0	
700,0		502,0		670,0		698,0	
688,0		500,0		650,0		700,0	
694,0		500,0		680,0		705,0	
667,0		510,0		650,0		710,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>685,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>506,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /mi]	<b>664,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	700,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,0</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>7,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,5



Grafica 4. caudal promedio generado para la tabla 4.

Tabla 5. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

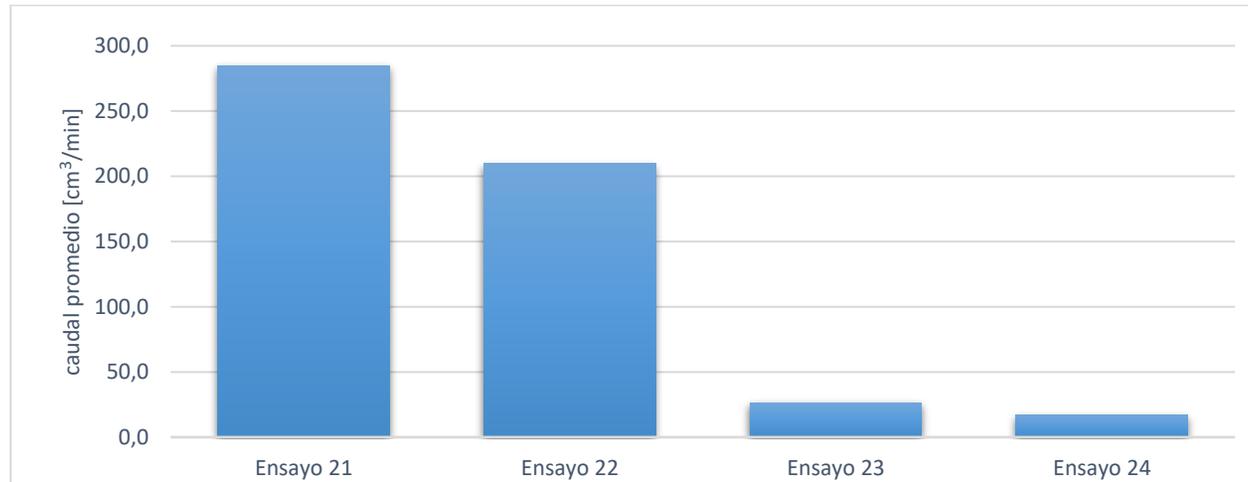
Ensayo 17		Ensayo 18		Ensayo 19		Ensayo 20	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	120						
m [kg]	12,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
127,0		337,0		368,0		745,0	
125,0		350,0		375,0		743,0	
111,0		341,0		386,0		740,0	
116,0		322,0		378,0		738,0	
109,0		333,0		380,0		750,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>117,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>336,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>377,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>743,2</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,1</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>10,3</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>6,6</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>4,7</b>



Grafica 5. caudal promedio generado para la tabla 5.

Tabla 6. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

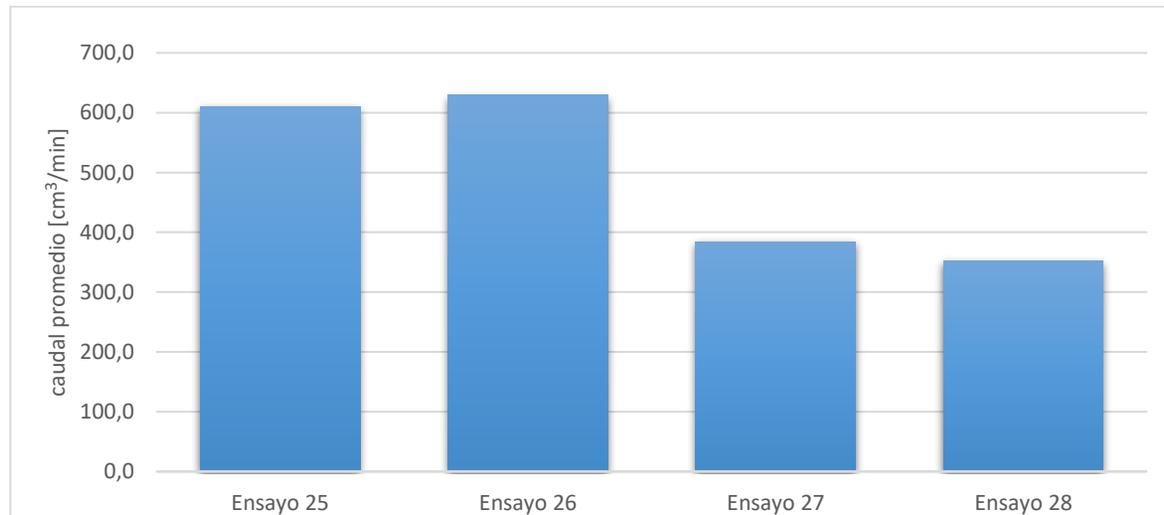
Ensayo 21		Ensayo 22		Ensayo 23		Ensayo 24	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
270,0		208,0		32,0		15,0	
280,0		203,0		23,0		19,0	
300,0		215,0		26,0		21,0	
285,0		213,0		21,0		16,0	
290,0		210,0		30,0		13,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	285,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	209,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	26,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	16,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	3,2



Grafica 6. caudal promedio generado para la tabla 6

Tabla 7. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

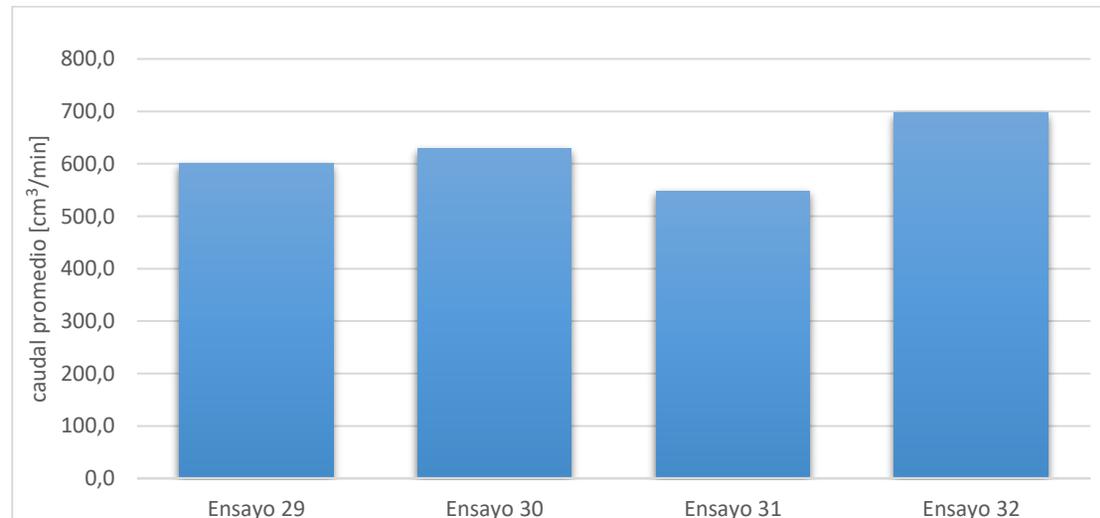
Ensayo 25		Ensayo 26		Ensayo 27		Ensayo 28	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
595,0		605,0		379,0		349,0	
611,0		649,0		365,0		358,0	
620,0		648,0		395,0		360,0	
619,0		629,0		385,0		343,0	
605,0		616,0		399,0		355,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	610,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	629,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	384,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	353,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	19,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,0



Grafica 7. Caudal promedio generado para la tabla 7.

Tabla 8. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

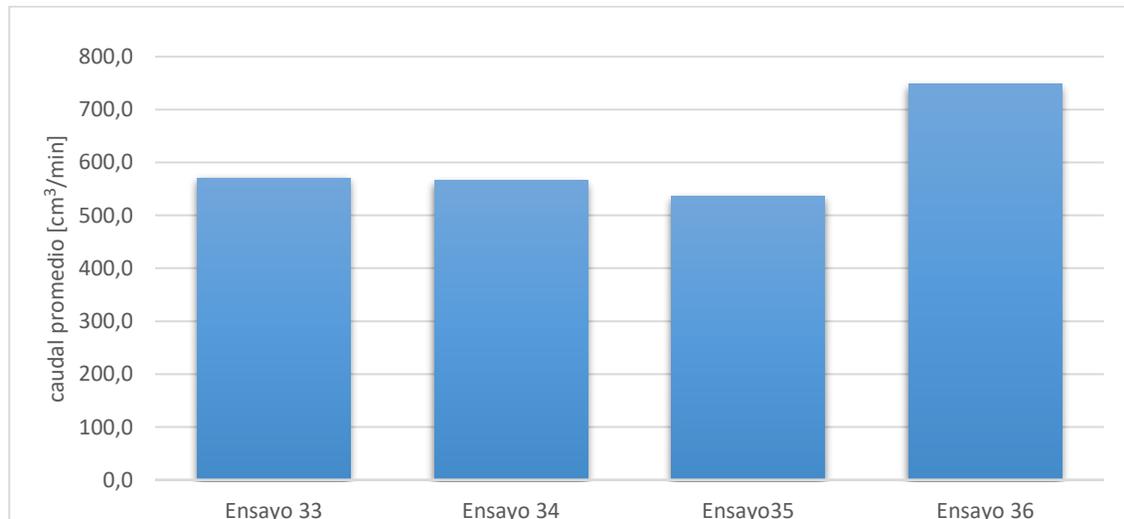
Ensayo 29		Ensayo 30		Ensayo 31		Ensayo 32	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	162,7						
m [kg]	5,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
602,0		633,0		538,0		687,0	
602,0		629,0		562,0		691,0	
598,0		630,0		542,0		703,0	
597,0		625,0		554,0		699,0	
600,0		625,0		541,0		705,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>599,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	628,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	547,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	697,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>2,3</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	3,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,7



Grafica 8. Caudal promedio generado para la tabla 8.

Tabla 9. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

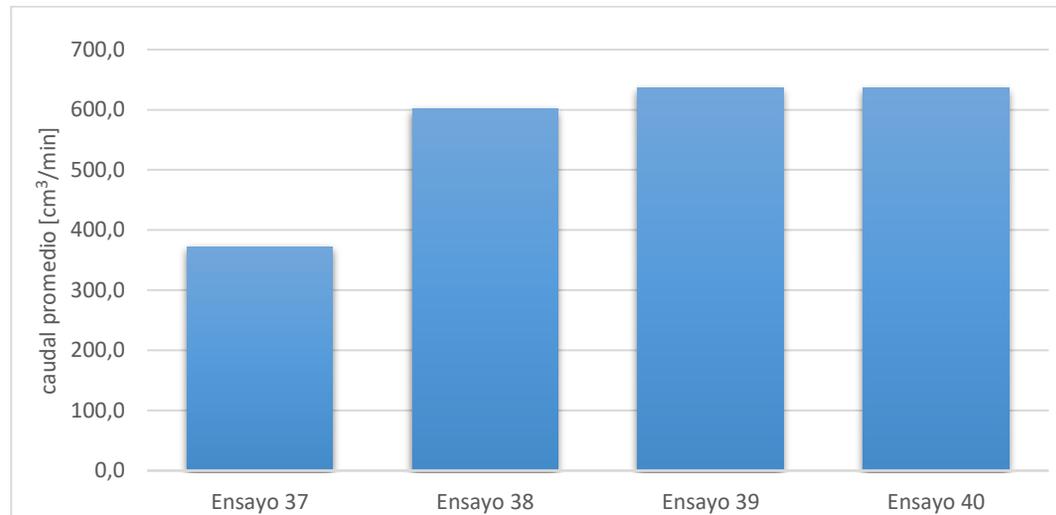
Ensayo 33		Ensayo 34		Ensayo 35		Ensayo 36	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	162,7						
m [kg]	8,9						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
576,0		548,0		508,0		719,0	
565,0		582,0		545,0		751,0	
575,0		573,0		548,0		778,0	
571,0		559,0		553,0		729,0	
567,0		565,0		527,0		762,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>570,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>565,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>536,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>747,8</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>4,8</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,0</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>18,6</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>24,0</b>



Grafica 9. Caudal promedio generado para la tabla 9.

Tabla 10. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

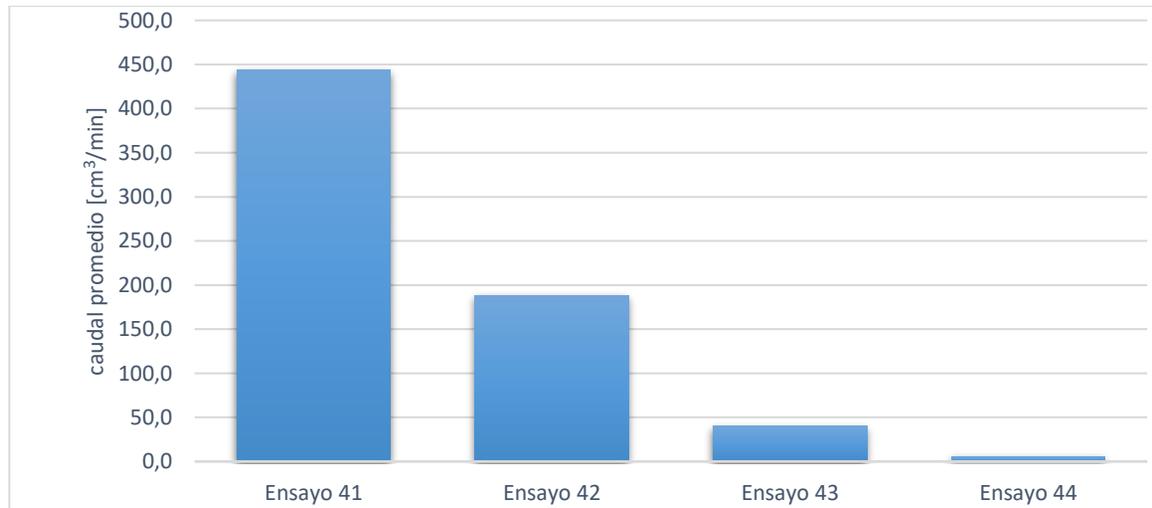
Ensayo 37		Ensayo 38		Ensayo 39		Ensayo 40	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	162,7						
m [kg]	12,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
385,0		594,0		636,0		630,0	
356,0		603,0		616,0		602,0	
377,0		616,0		650,0		665,0	
369,0		605,0		625,0		645,0	
374,0		590,0		654,0		639,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>372,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>601,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>636,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>636,2</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>10,8</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>10,2</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>16,1</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>23,0</b>



Grafica 10. Caudal promedio generado para la tabla 10

Tabla 11. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

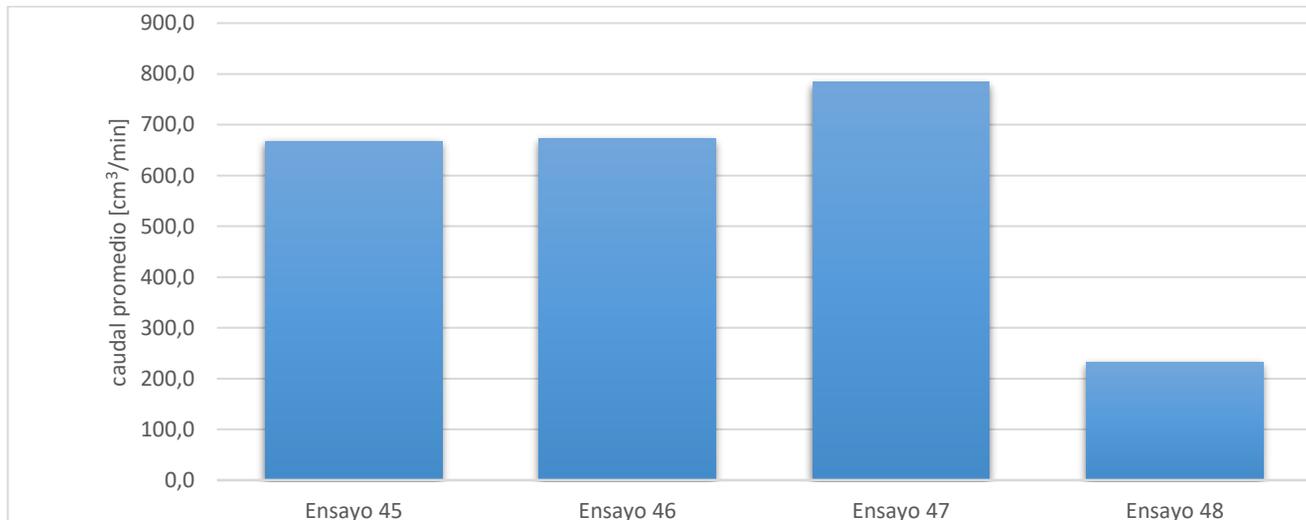
Ensayo 41		Ensayo 42		Ensayo 43		Ensayo 44	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
445,0		190,0		36,0		10,0	
434,0		187,0		28,0		4,0	
451,0		189,0		35,0		7,0	
447,0		192,0		47,0		5,0	
440,0		183,0		55,0		2,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	443,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	188,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	40,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	5,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	3,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	3,0



Grafica 11. caudal promedio generado para la tabla 11.

Tabla 12. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

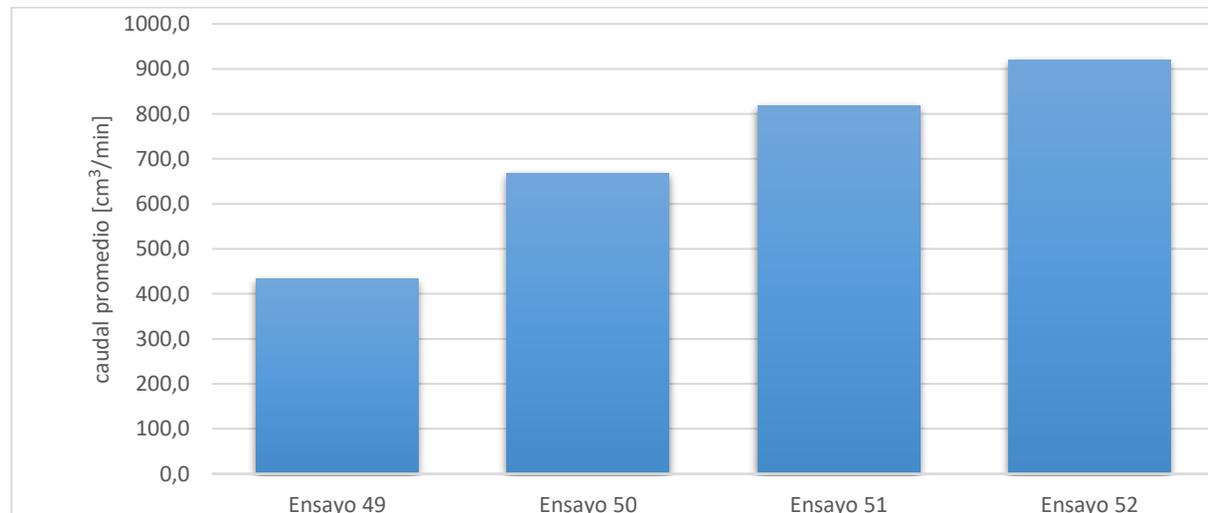
Ensayo 45		Ensayo 46		Ensayo 47		Ensayo 48	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
673,0		686,0		770,0		246,0	
655,0		656,0		768,0		212,0	
664,0		670,0		800,0		228,0	
683,0		668,0		789,0		232,0	
662,0		679,0		792,0		241,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	667,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	671,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	783,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	231,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,2



Grafica 12. Caudal promedio generado para la tabla 12

Tabla 13. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

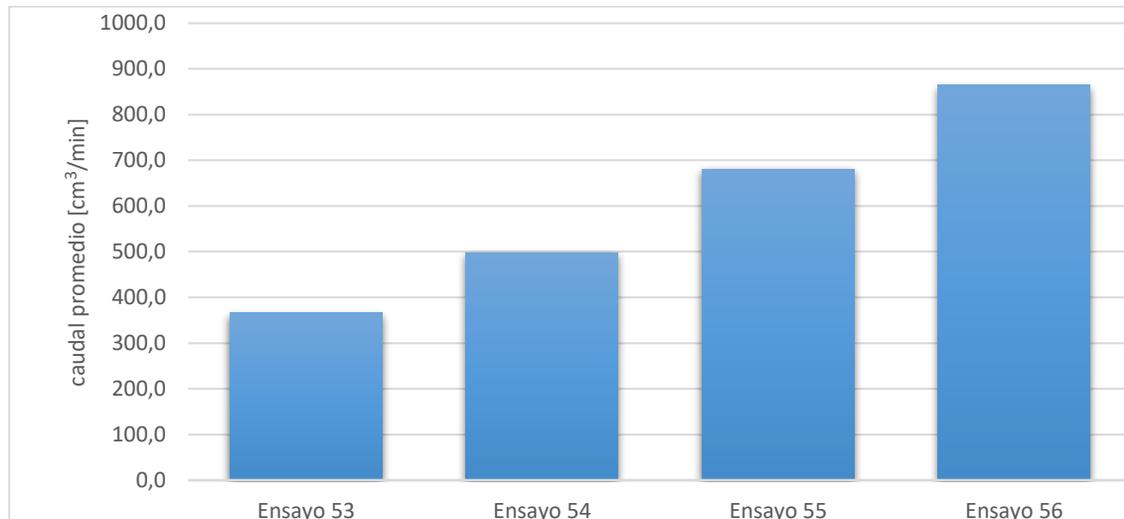
Ensayo 49		Ensayo 50		Ensayo 51		Ensayo 52	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	205.4						
m [kg]	5,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
413,0		685,0		810,0		910,0	
448,0		661,0		830,0		916,0	
445,0		670,0		832,0		916,0	
424,0		652,0		817,0		938,0	
437,0		675,0		805,0		923,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>433,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	668,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	818,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	920,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>14,7</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,8



Grafica 13. Caudal promedio generado para la tabla 13

Tabla 14. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

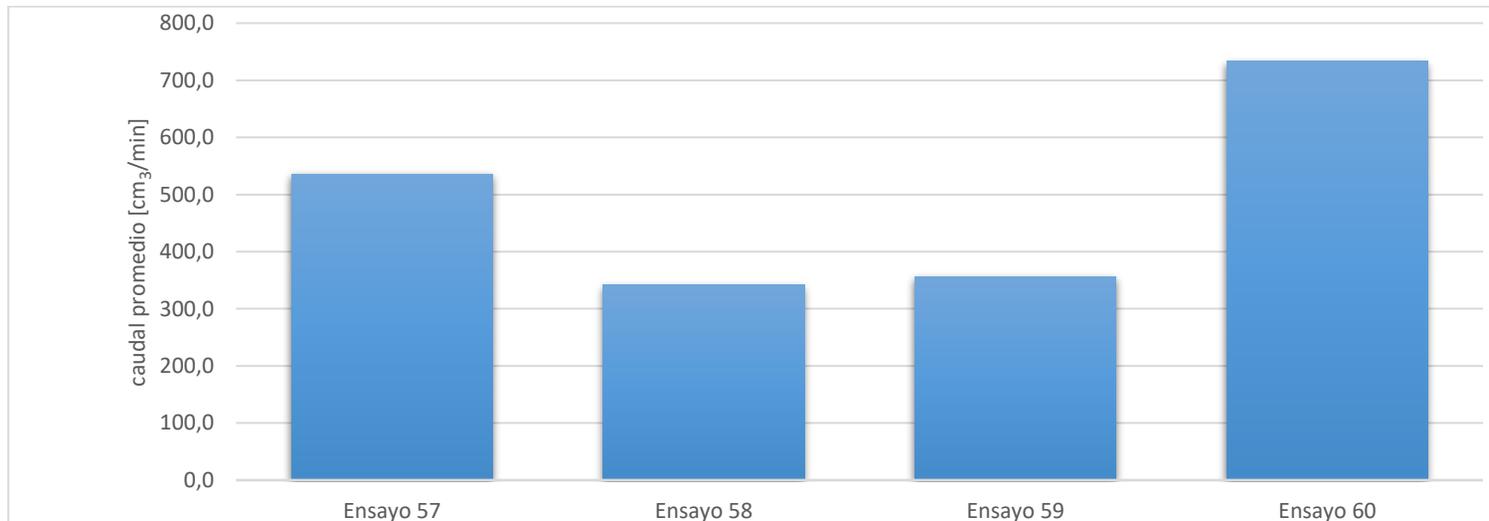
Ensayo 53		Ensayo 54		Ensayo 55		Ensayo 56	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	205.4						
m [kg]	8,9						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
371,0		500,0		700,0		862,0	
363,0		518,0		690,0		854,0	
366,0		474,0		660,0		886,0	
370,0		491,0		674,0		873,0	
360,0		509,0		682,0		849,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>366,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	498,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	681,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>864,8</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>4,6</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>14,9</b>



Grafica 14. Caudal promedio generado para la tabla 14

Tabla 15. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

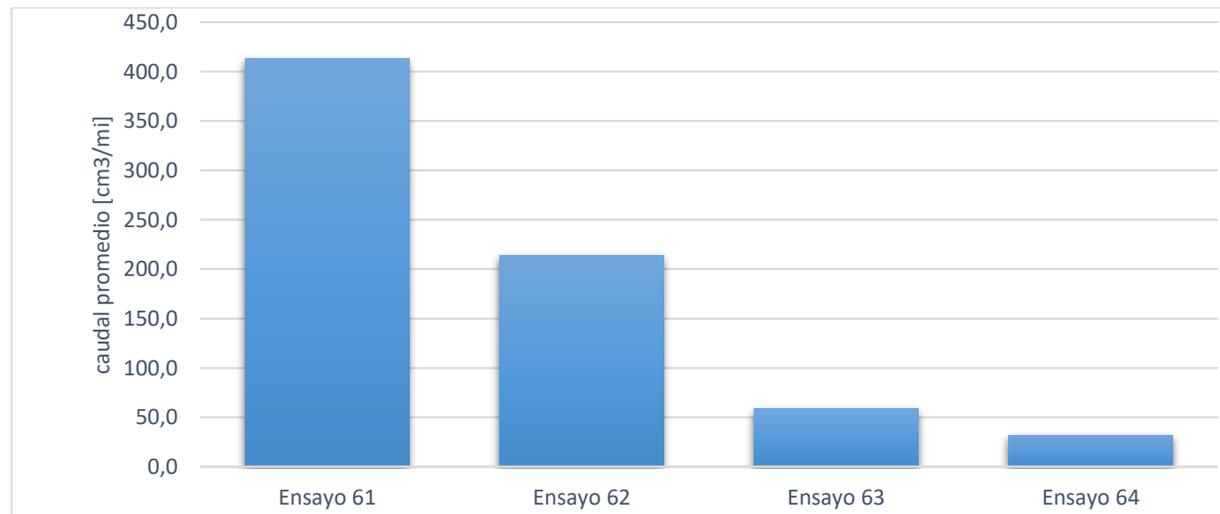
Ensayo 57		Ensayo 58		Ensayo 59		Ensayo 60	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	205.4						
m [kg]	12,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
520,0		326,0		344,0		742,0	
555,0		334,0		374,0		710,0	
553,0		360,0		358,0		732,0	
533,0		346,0		363,0		745,0	
518,0		341,0		341,0		739,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>535,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>341,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /mi]	<b>356,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>733,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>17,6</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>12,8</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,7</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>14,0</b>



Grafica 15. Caudal promedio generado para la tabla 15

Tabla 16. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

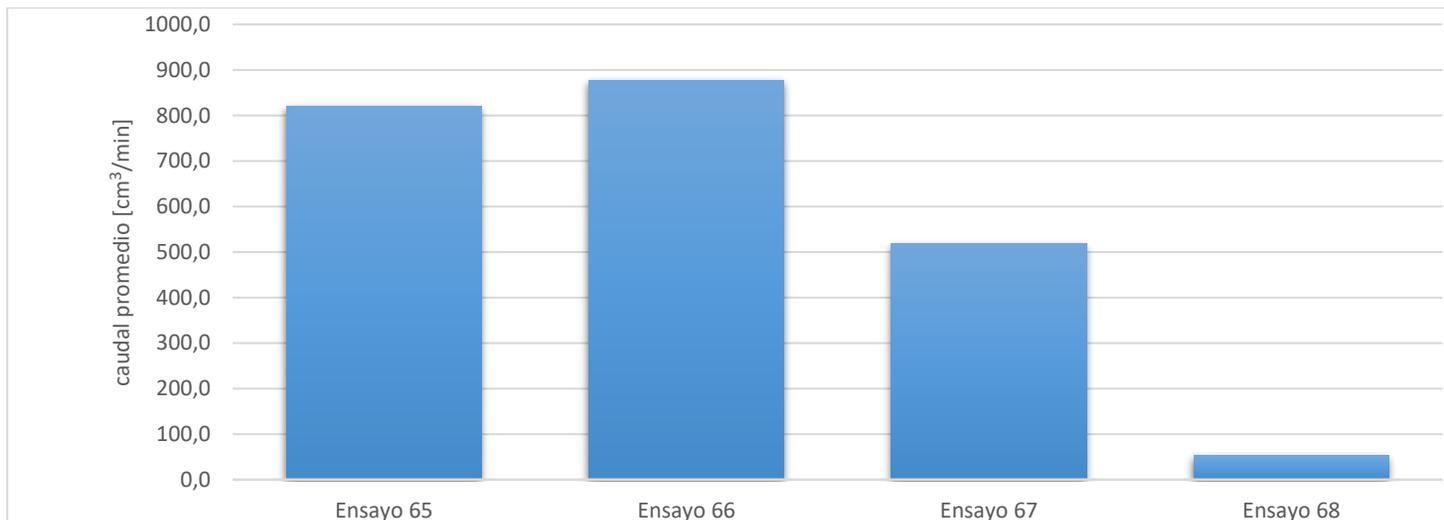
Ensayo 61		Ensayo 62		Ensayo 63		Ensayo 64	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
400,0		216,0		56,0		28,0	
408,0		209,0		49,0		35,0	
423,0		226,0		61,0		23,0	
414,0		218,0		67,0		31,0	
420,0		201,0		60,0		41,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	413,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	214,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /mi]	58,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	31,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,8



Grafica 16. Calculo promedio generado para la tabla 16

Tabla 17. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

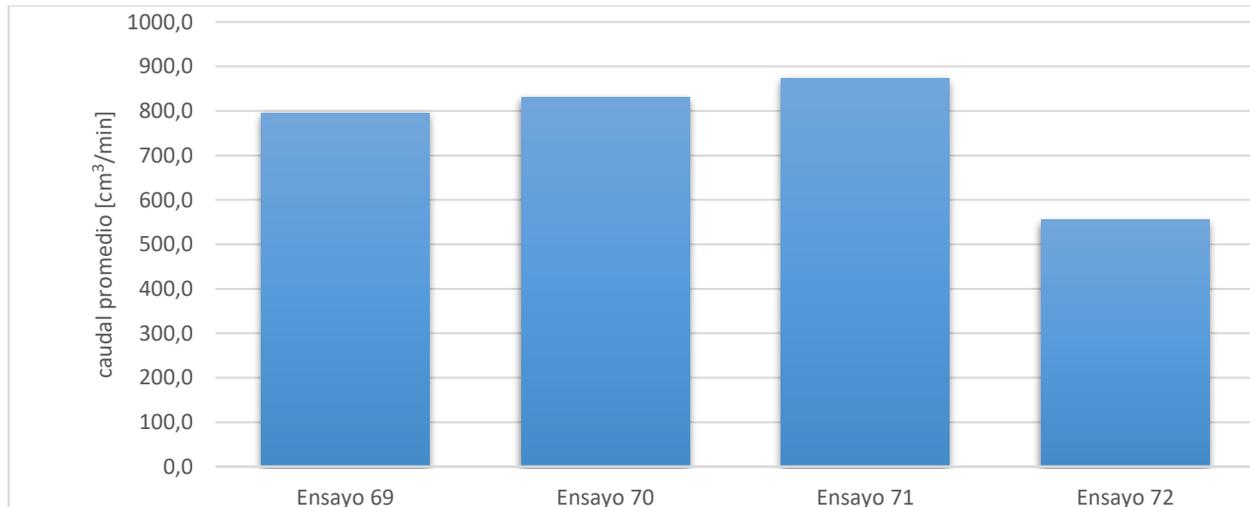
Ensayo 65		Ensayo 66		Ensayo 67		Ensayo 68	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3	M [kg]	2,3
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
816,0		894,0		502,0		54,0	
828,0		860,0		534,0		50,0	
809,0		889,0		520,0		59,0	
837,0		866,0		524,0		47,0	
812,0		880,0		513,0		52,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	820,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	877,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	518,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	52,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,5



Grafica 17. caudal promedio generado para la tabla 17

Tabla 18. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4, kg

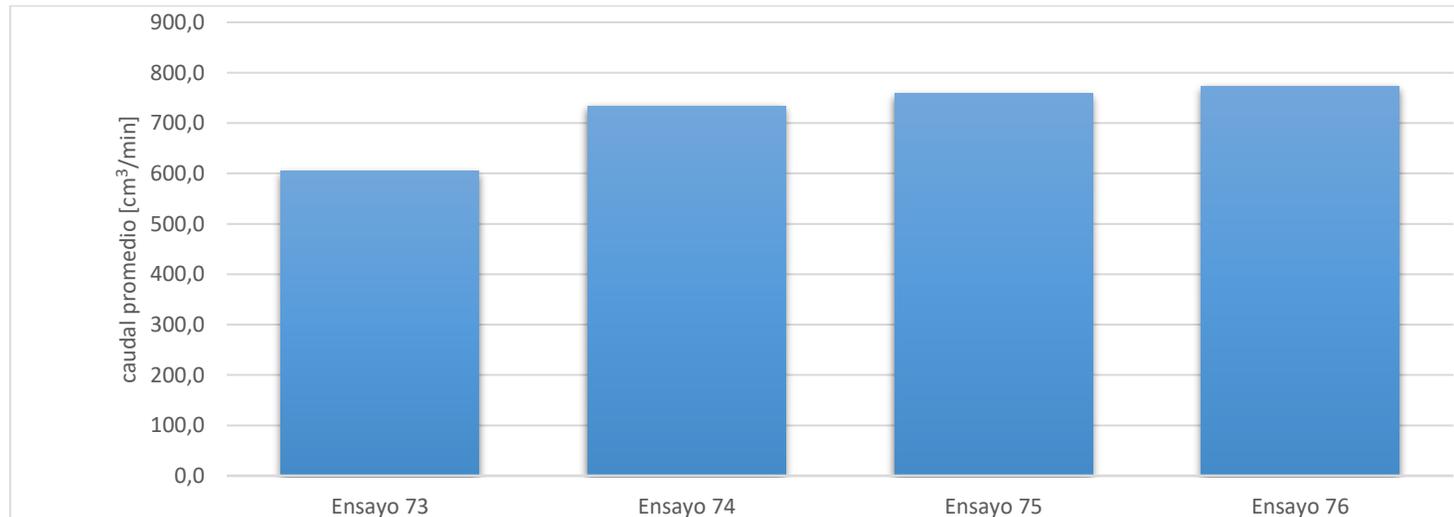
Ensayo 69		Ensayo 70		Ensayo 71		Ensayo 72	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	248.1						
m [kg]	5,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
800,0		824,0		892,0		554,0	
784,0		828,0		864,0		548,0	
779,0		832,0		883,0		534,0	
802,0		840,0		871,0		575,0	
810,0		825,0		855,0		562,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>795,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	829,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	873,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	554,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,0</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,3



Grafica 18. caudal promedio generado para la tabla 18.

Tabla 19. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

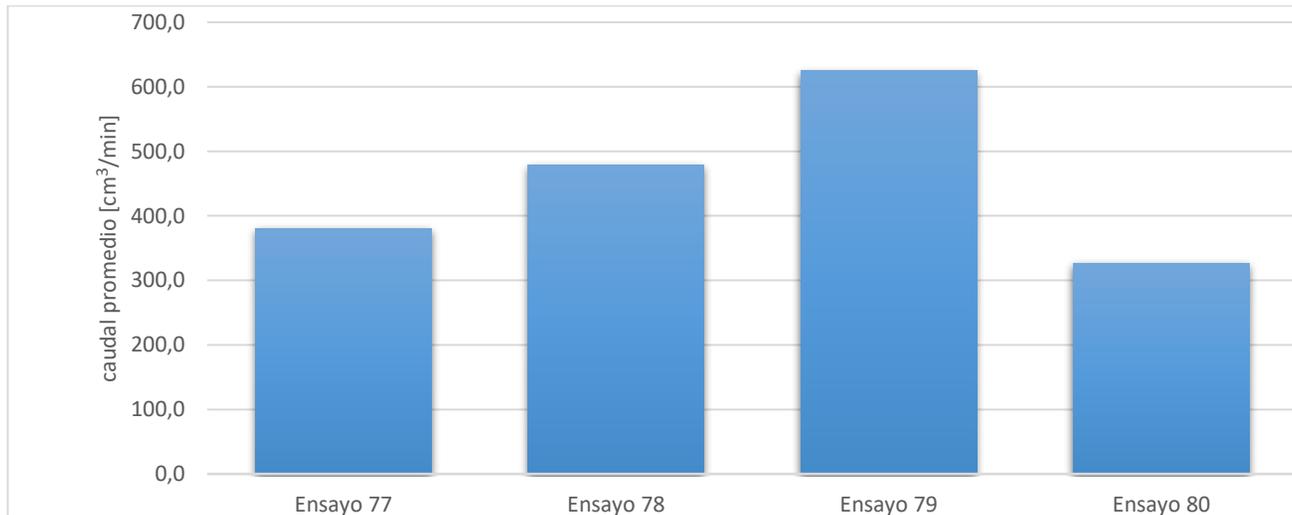
Ensayo 73		Ensayo 74		Ensayo 75		Ensayo 76	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	248.1						
m [kg]	8,9						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
602,0		780,0		766,0		786,0	
600,0		716,0		758,0		764,0	
608,0		710,0		744,0		753,0	
615,0		729,0		770,0		773,0	
601,0		735,0		752,0		792,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>605,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>734,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>758,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>773,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>6,3</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>27,6</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>10,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>15,9</b>



Grafica 19. Caudal promedio generado para la tabla 19

Tabla 20. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

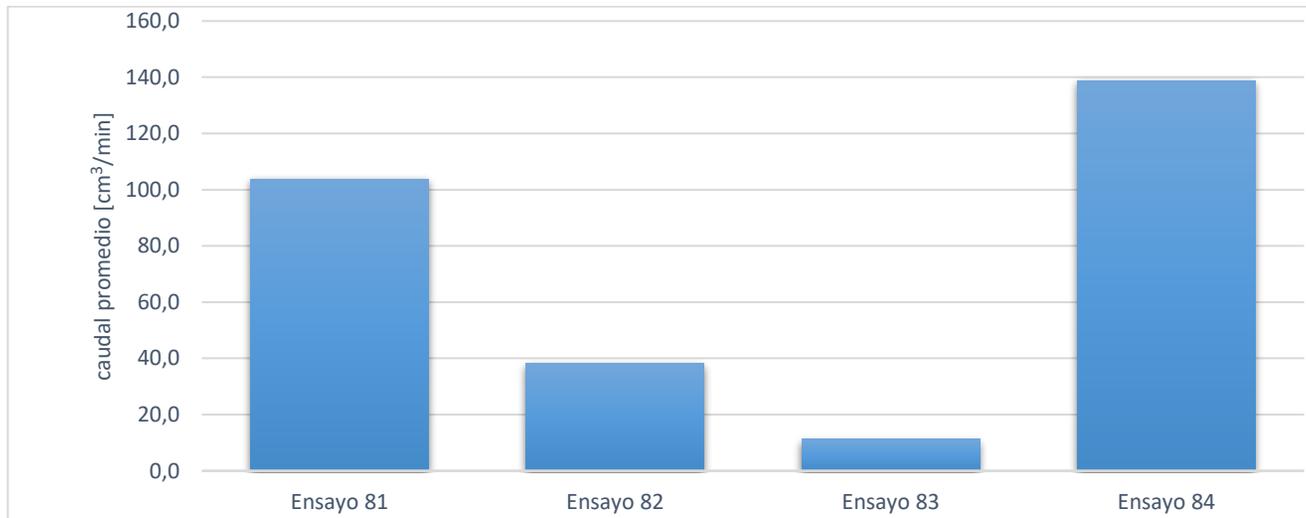
Ensayo 77		Ensayo 78		Ensayo 79		Ensayo 80	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	2,3						
L [mm]	248.1						
m [kg]	12,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
382,0		472,0		600,0		328,0	
376,0		486,0		632,0		328,0	
371,0		479,0		627,0		325,0	
389,0		469,0		619,0		330,0	
384,0		490,0		645,0		322,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>380,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>479,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>624,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>326,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>7,0</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>16,7</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>3,1</b>



Grafica 20. Caudal promedio generado para la tabla 20.

Tabla 21. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

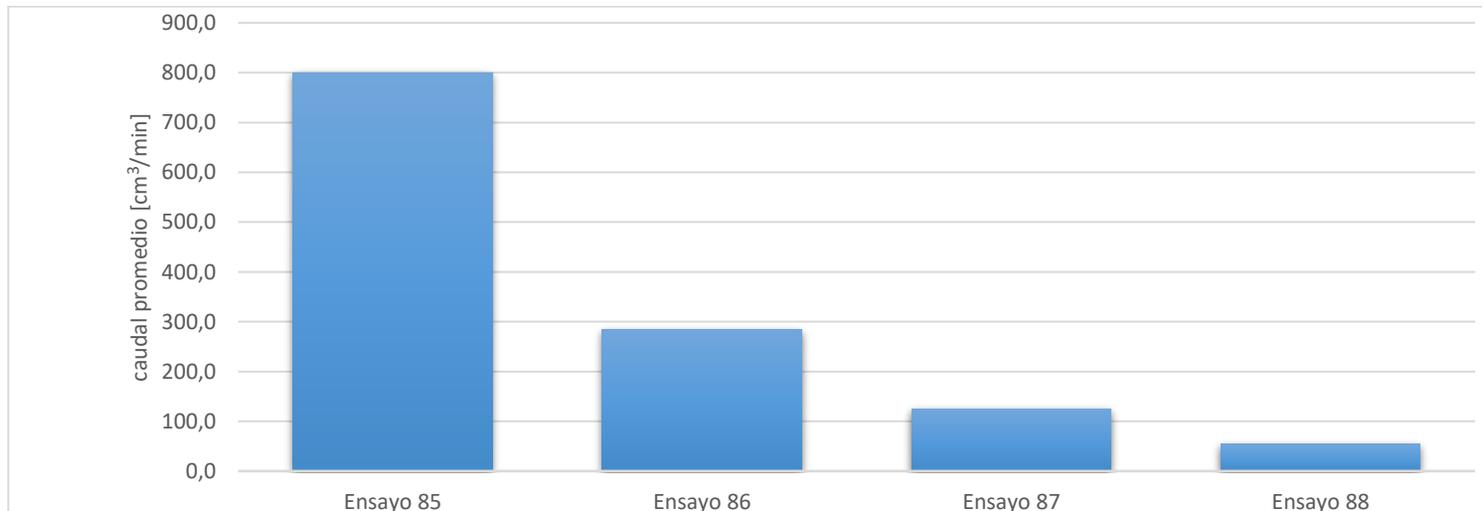
Ensayo 81		Ensayo 82		Ensayo 83		Ensayo 84	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
105,0		25,0		14,0		118,0	
114,0		37,0		15,0		162,0	
100,0		42,0		5,0		129,0	
100,0		39,0		10,0		145,0	
100,0		48,0		12,0		140,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	103,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	38,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	11,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	138,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,6



Grafica 21. Caudal promedio generado para la tabla 21.

Tabla 22. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

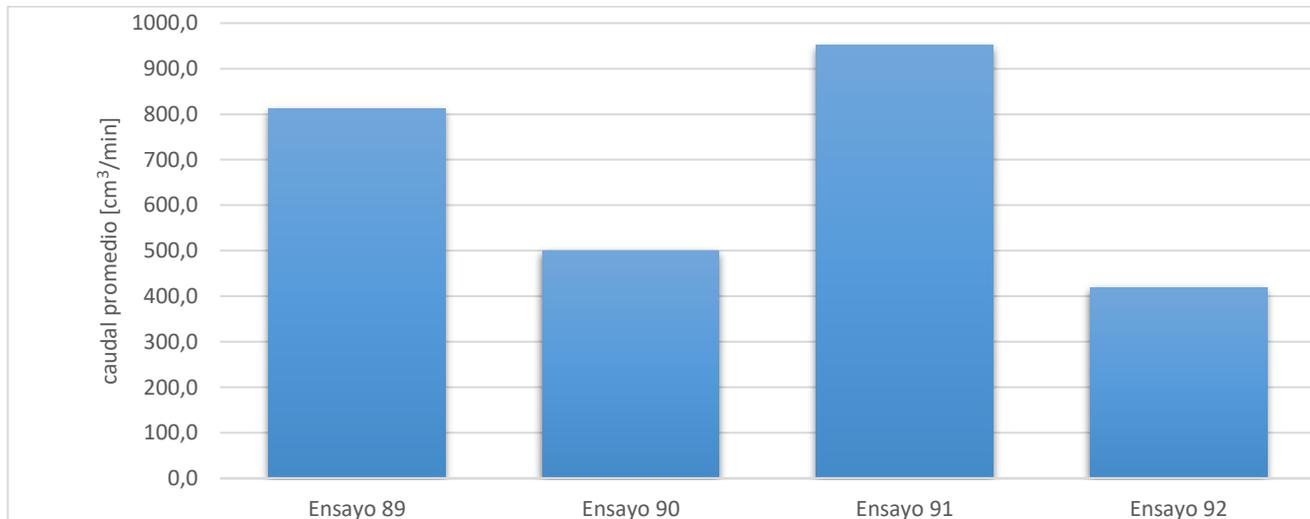
Ensayo 85		Ensayo 86		Ensayo 87		Ensayo 88	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
800,0		276,0		113,0		63,0	
797,0		275,0		103,0		38,0	
800,0		300,0		148,0		48,0	
793,0		283,0		129,0		55,0	
810,0		291,0		133,0		70,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	800,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	285,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	125,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	54,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,5



Grafica 22. Caudal promedio generado para la tabla 22.

Tabla 23. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

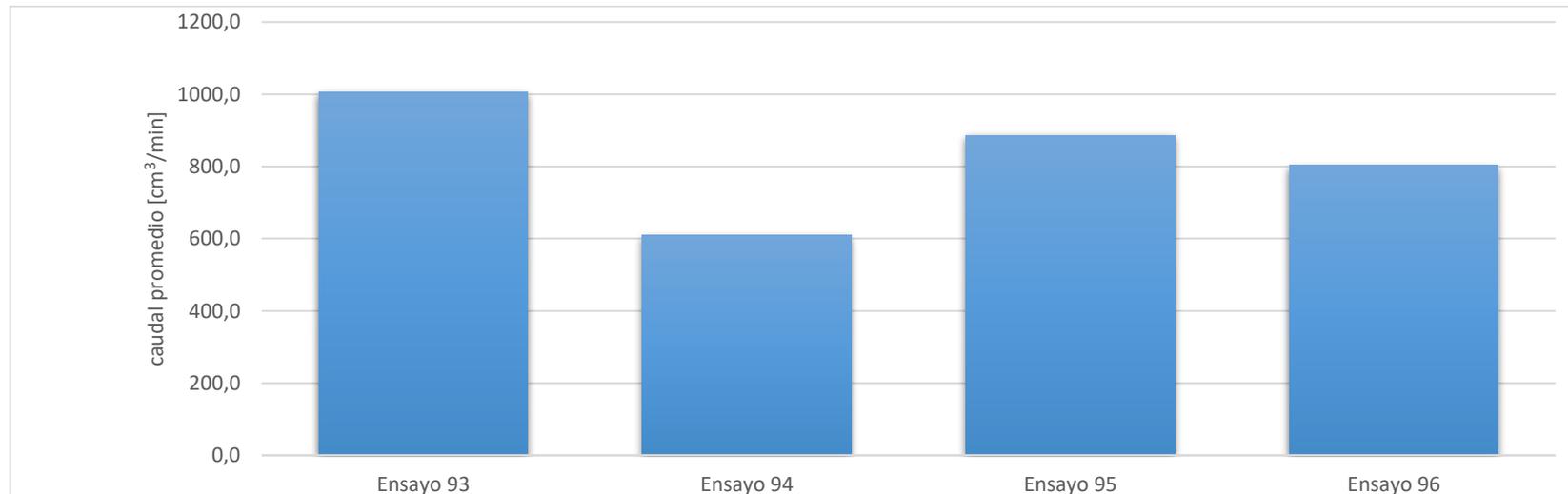
Ensayo 89		Ensayo 90		Ensayo 91		Ensayo 92	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
810,0		500,0		971,0		425,0	
800,0		508,0		960,0		429,0	
800,0		503,0		945,0		405,0	
819,0		492,0		932,0		414,0	
831,0		499,0		950,0		420,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	812,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	500,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	951,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	418,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	5,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,4



Grafica 23. Caudal promedio generado para la tabla 23.

Tabla 24. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

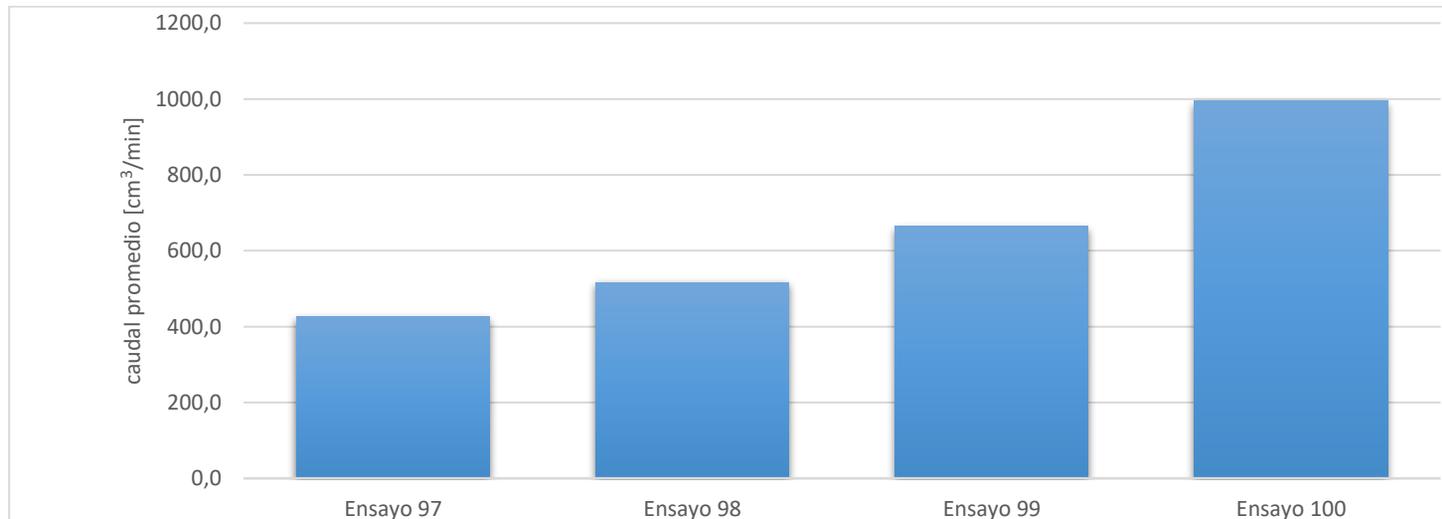
Ensayo 93		Ensayo 94		Ensayo 95		Ensayo 96	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1012,0		590,0		875,0		789,0	
1002,0		620,0		900,0		810,0	
1020,0		629,0		881,0		805,0	
1000,0		613,0		890,0		800,0	
997,0		600,0		885,0		815,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>1006,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	610,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	886,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	803,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>9,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,0



Grafica 24. Caudal promedio generado para la tabla 24.

Tabla 25. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

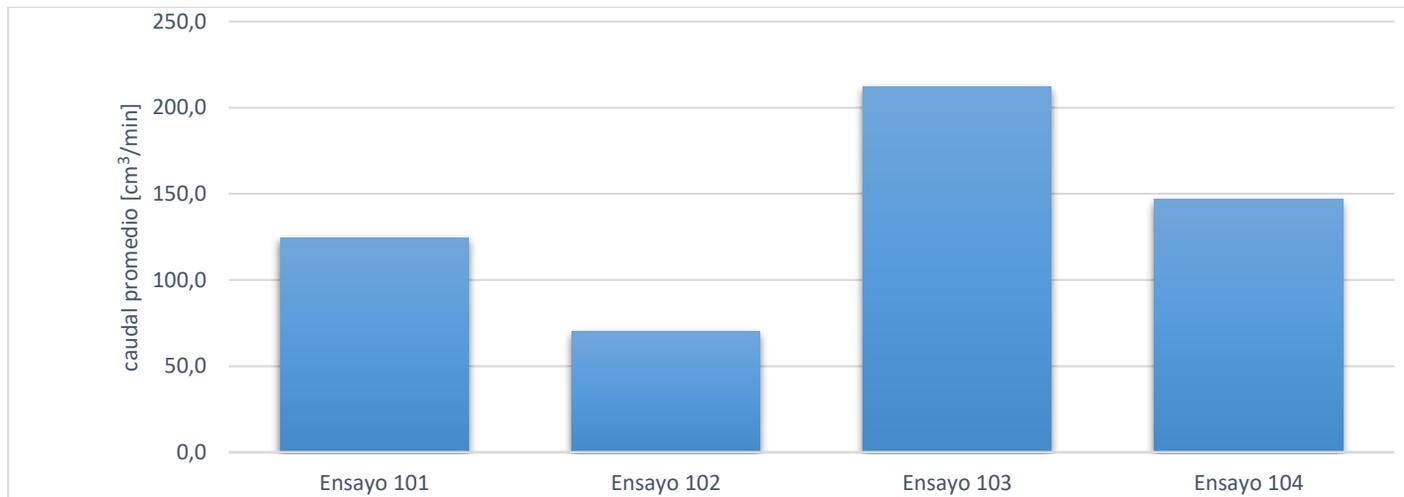
Ensayo 97		Ensayo 98		Ensayo 99		Ensayo 100	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	4,6						
L [mm]	120						
m [kg]	12,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
429,0		508,0		673,0		1005,0	
405,0		516,0		660,0		985,0	
410,0		535,0		690,0		990,0	
450,0		525,0		652,0		995,0	
435,0		500,0		648,0		1000,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>425,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	516,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>664,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	995,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>18,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>17,1</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,9



Grafica 25. Caudal promedio generado para la tabla 25.

Tabla 26. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

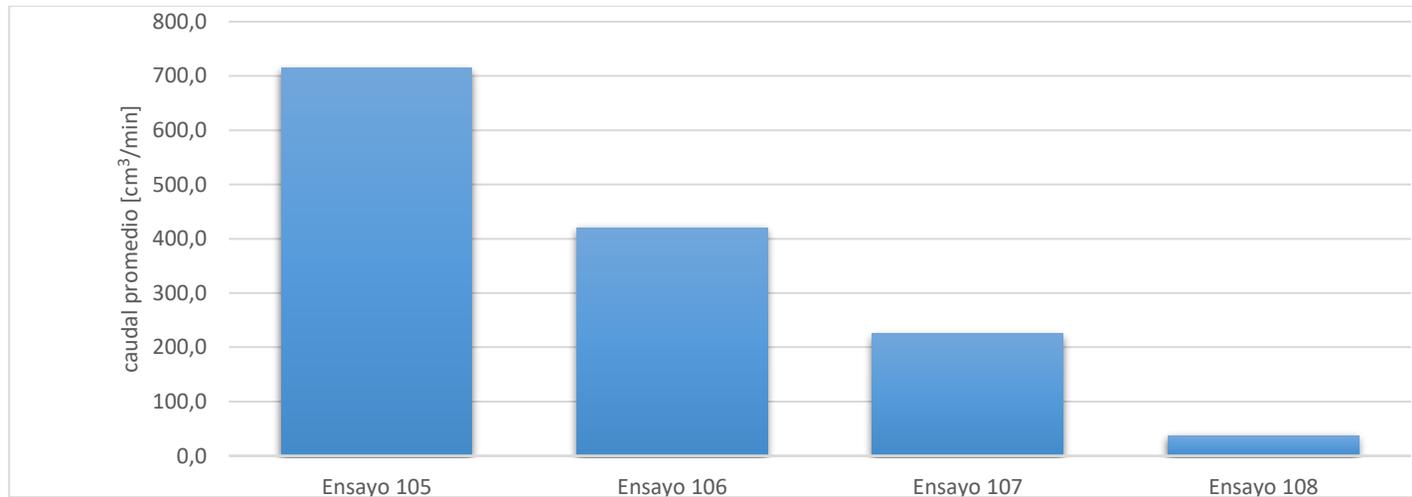
Ensayo 101		Ensayo 102		Ensayo 103		Ensayo 104	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
129,0		71,0		218,0		142,0	
115,0		71,0		212,0		158,0	
121,0		63,0		209,0		137,0	
127,0		75,0		215,0		146,0	
130,0		70,0		207,0		151,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	124,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	70,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	212,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>146,8</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,1</b>



Grafica 26. Caudal promedio generado para la tabla 26.

Tabla 27. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

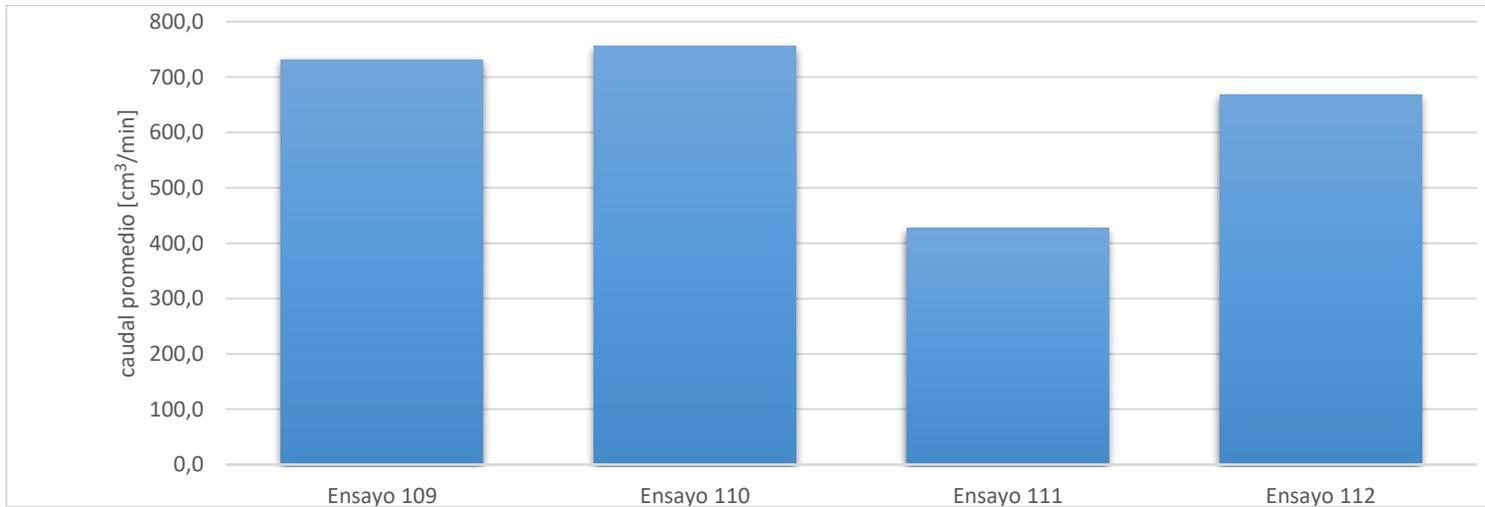
Ensayo 105		Ensayo 106		Ensayo 107		Ensayo 108	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
702,0		420,0		248,0		36,0	
700,0		402,0		220,0		38,0	
735,0		417,0		233,0		35,0	
721,0		427,0		210,0		37,0	
715,0		435,0		215,0		39,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	714,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	420,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	225,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	37,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	1,6



Grafica 27. Caudal promedio generado para la tabla 27.

Tabla 28. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

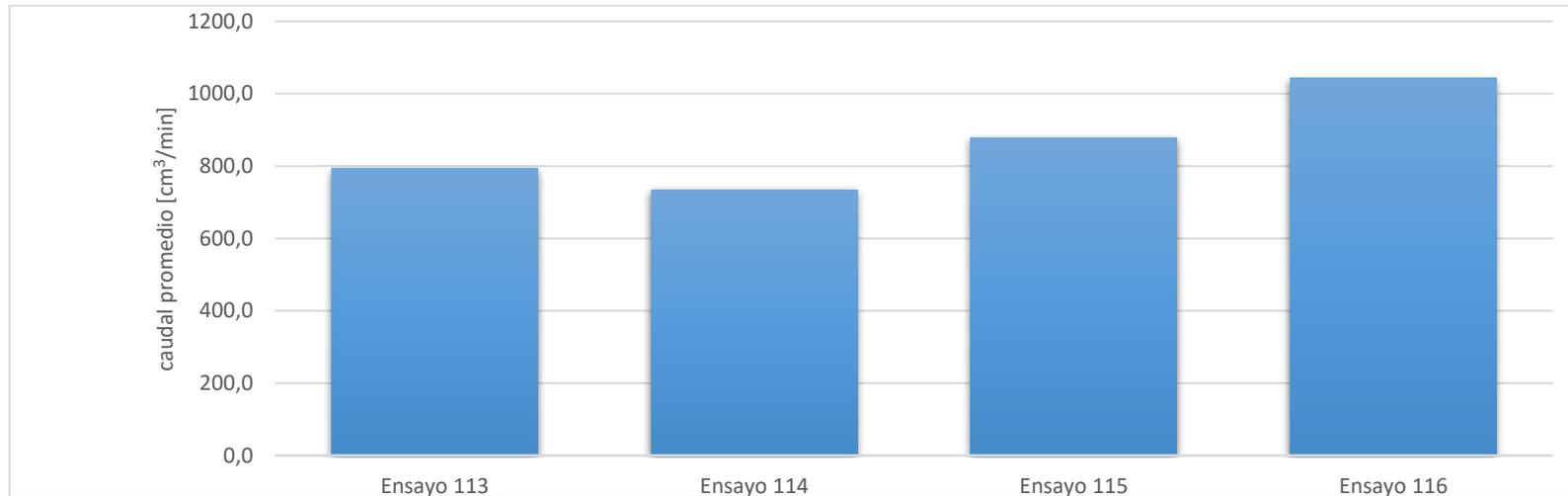
Ensayo 109		Ensayo 110		Ensayo 111		Ensayo 112	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
726,0		750,0		409,0		668,0	
728,0		760,0		419,0		673,0	
738,0		756,0		448,0		658,0	
735,0		745,0		433,0		678,0	
731,0		765,0		426,0		661,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	731,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	755,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	427,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	667,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,3



Grafica 28. Caudal promedio generado para la tabla 28.

Tabla 29. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

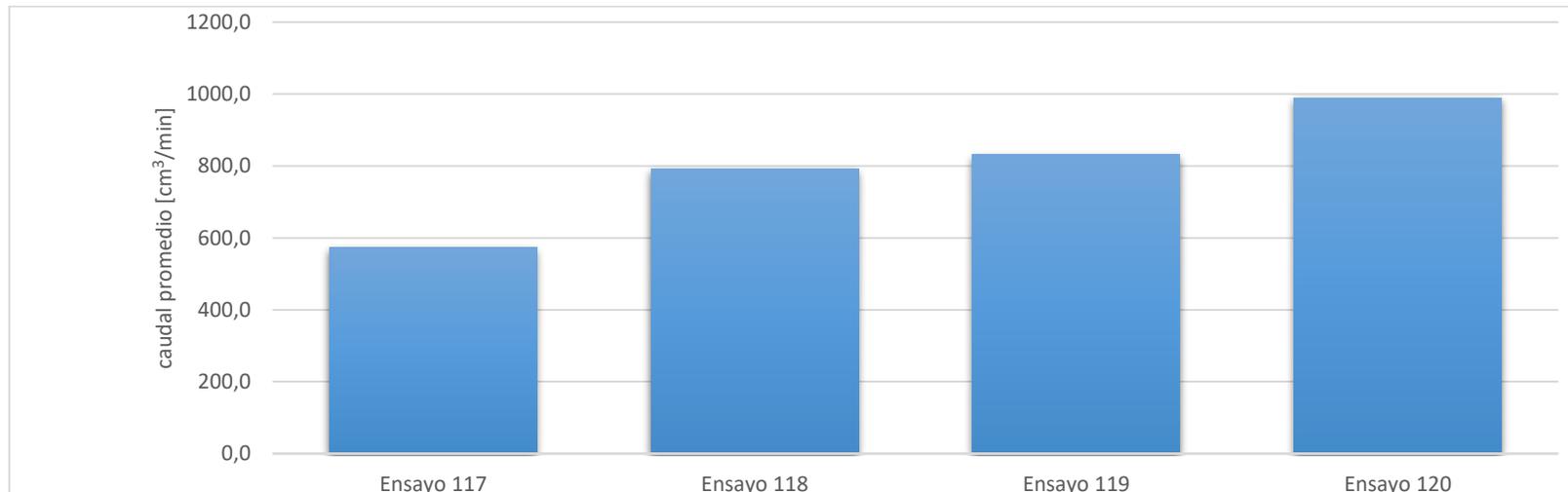
Ensayo 113		Ensayo 114		Ensayo 115		Ensayo 116	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	4,6						
L [mm]	162,7						
m [kg]	8,9						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
782,0		726,0		856,0		1020,0	
787,0		715,0		900,0		1047,0	
800,0		732,0		880,0		1060,0	
795,0		753,0		884,0		1033,0	
799,0		750,0		873,0		1055,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>792,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	735,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	878,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1043,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>7,8</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,4



Grafica 29. Caudal promedio generado para la tabla 29.

Tabla 30. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

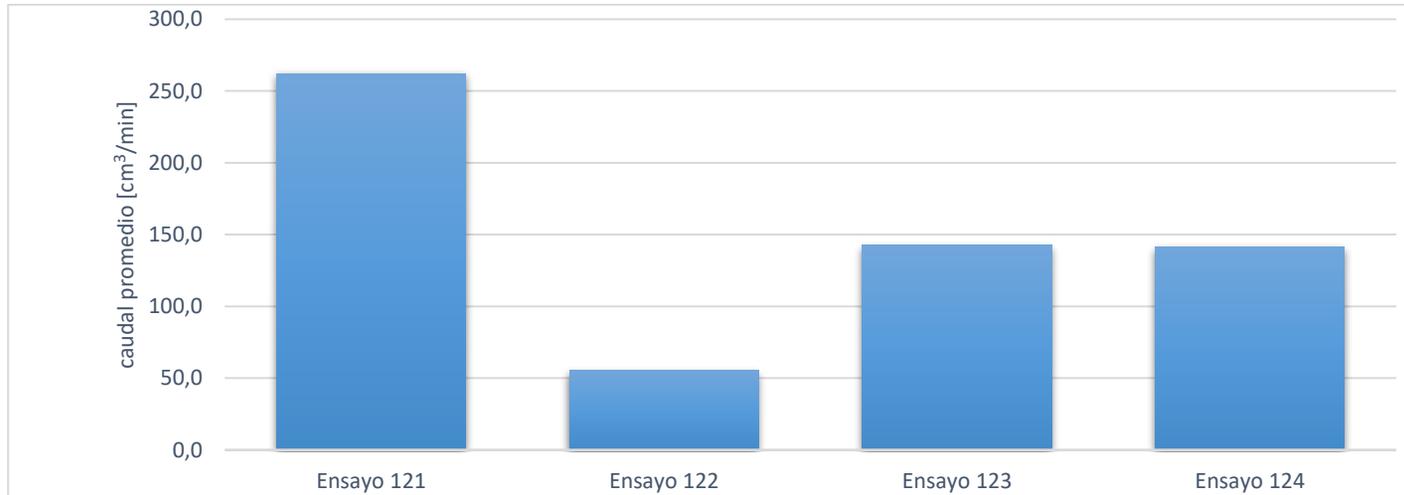
Ensayo 117		Ensayo 118		Ensayo 119		Ensayo 120	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	4,6						
L [mm]	162,7						
m [kg]	12,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
585,0		783,0		815,0		982,0	
583,0		773,0		840,0		990,0	
558,0		810,0		858,0		995,0	
575,0		790,0		827,0		1000,0	
563,0		799,0		819,0		980,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>572,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	791,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	831,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	989,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>12,0</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,5



Grafica 30. Caudal promedio generado para la tabla 30.

Tabla 31. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

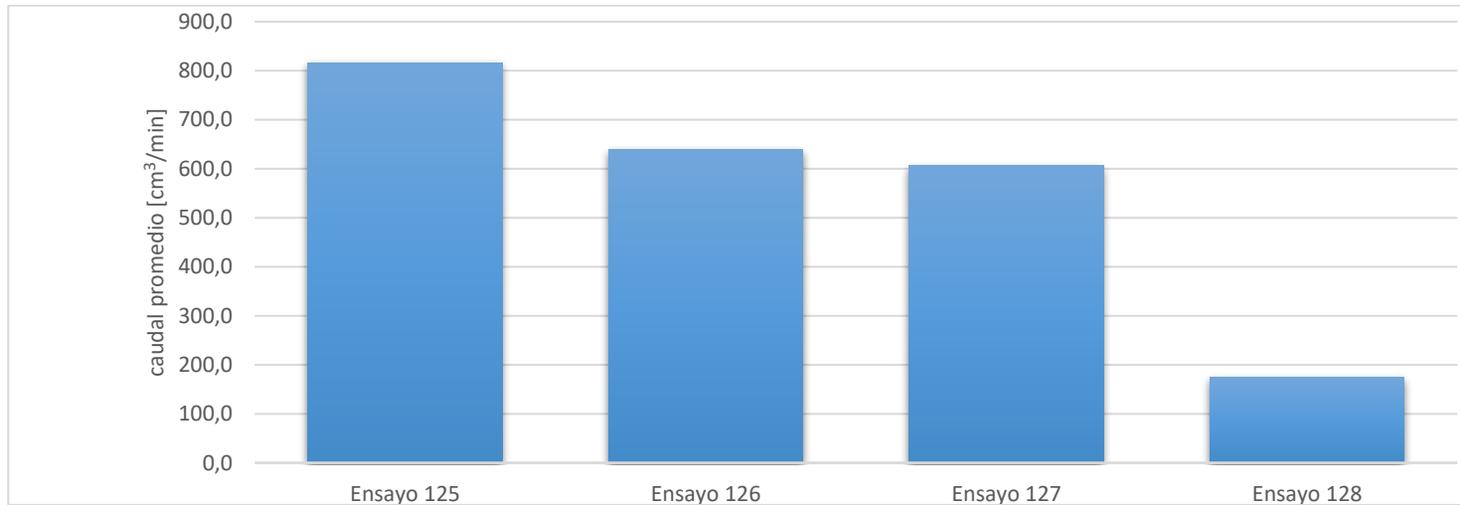
Ensayo 121		Ensayo 122		Ensayo 123		Ensayo 124	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
252,0		47,0		136,0		120,0	
247,0		62,0		156,0		164,0	
257,0		73,0		166,0		149,0	
267,0		42,0		122,0		128,0	
288,0		52,0		133,0		146,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	262,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	55,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	142,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	141,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,5



Grafica 31. Caudal promedio generado para la tabla 31

Tabla 32. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

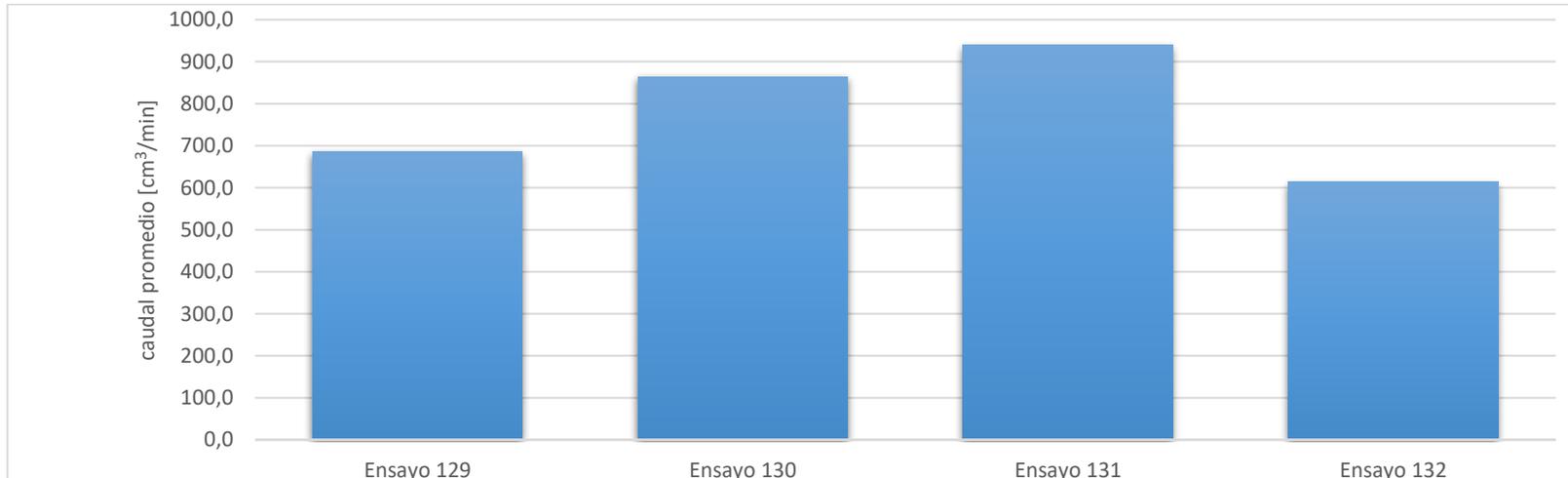
Ensayo 125		Ensayo 126		Ensayo 127		Ensayo 128	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
805,0		626,0		604,0		195,0	
824,0		640,0		616,0		154,0	
800,0		636,0		602,0		173,0	
834,0		642,0		611,0		164,0	
819,0		650,0		600,0		185,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	816,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	638,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	606,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	174,2
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,3



Grafica 32. Caudal promedio generado para la tabla 32

Tabla 33. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

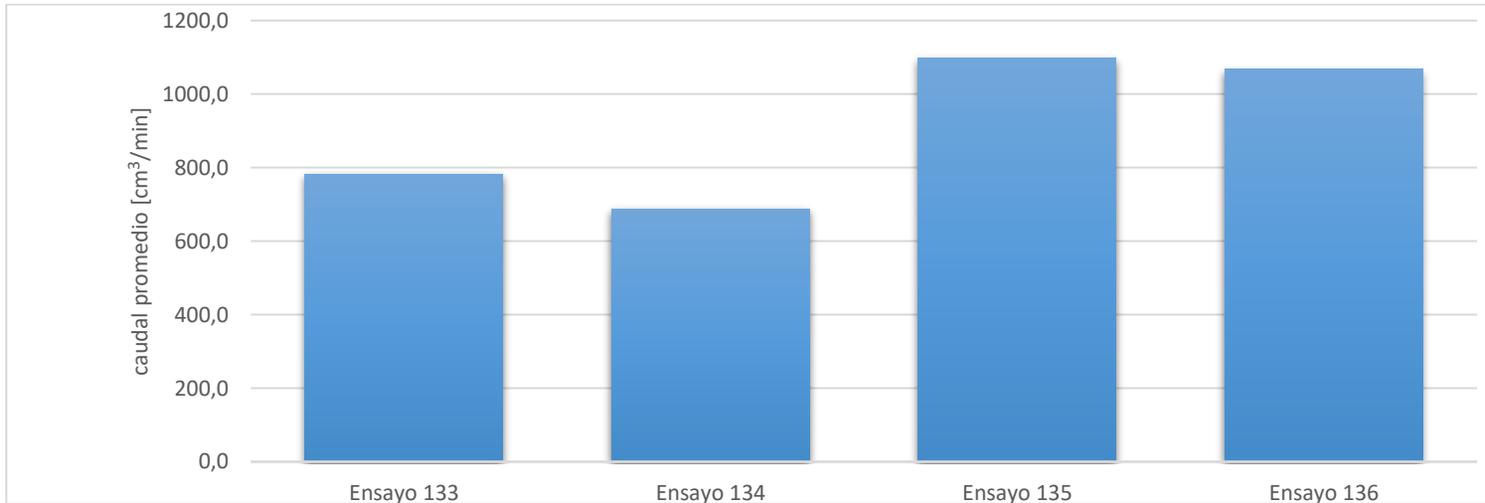
Ensayo 129		Ensayo 130		Ensayo 131		Ensayo 132	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
668,0		863,0		932,0		600,0	
700,0		881,0		926,0		620,0	
685,0		846,0		943,0		630,0	
693,0		873,0		968,0		605,0	
679,0		860,0		928,0		613,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	685,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	864,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	939,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	613,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,9



Grafica 33. Caudal promedio generado para la tabla 33.

Tabla 34. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

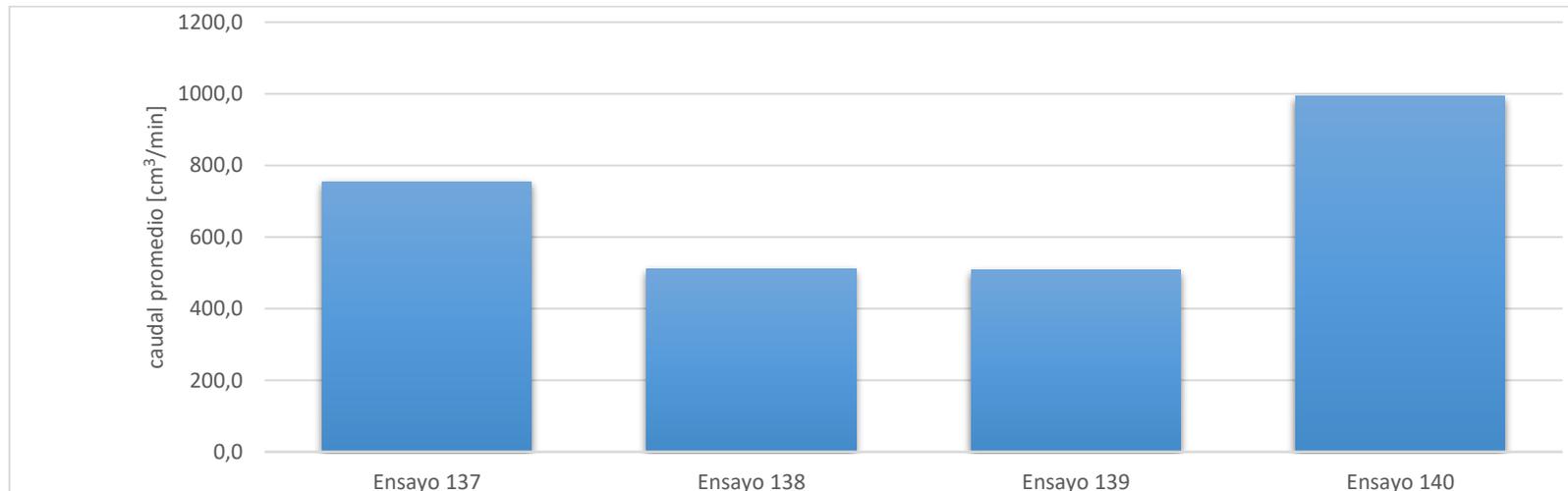
Ensayo 133		Ensayo 134		Ensayo 135		Ensayo 136	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	4,6						
L [mm]	205.4						
m [kg]	8,9						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
782,0		664,0		1082,0		1044,0	
800,0		680,0		1098,0		1070,0	
762,0		704,0		1102,0		1094,0	
775,0		700,0		1112,0		1073,0	
793,0		692,0		1092,0		1059,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>782,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	688,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1097,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1068,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>14,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	18,5



Grafica 34. Caudal promedio generado para la tabla 34

Tabla 35. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

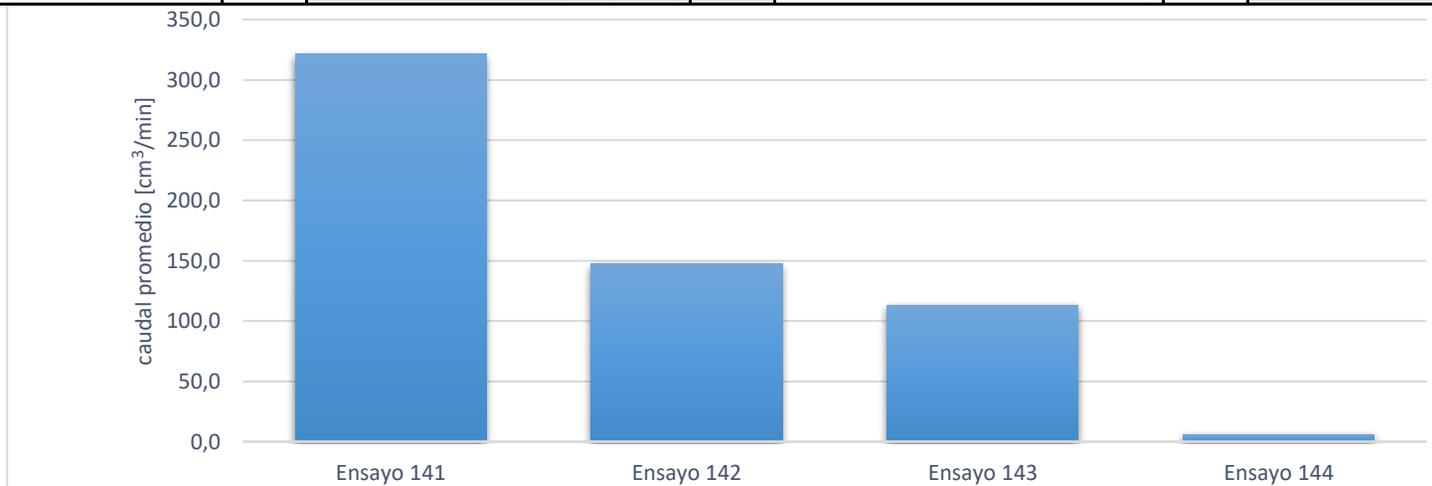
Ensayo 137		Ensayo 138		Ensayo 139		Ensayo 140	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	4,6						
L [mm]	205.4						
m [kg]	12,4						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
740,0		500,0		508,0		982,0	
735,0		510,0		500,0		1016,0	
761,0		520,0		516,0		974,0	
753,0		512,0		512,0		1000,0	
779,0		506,0		502,0		993,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>753,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	509,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	507,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>993,0</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>17,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>16,3</b>



Grafica 35. Caudal promedio generado para la tabla 35.

Tabla 36. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

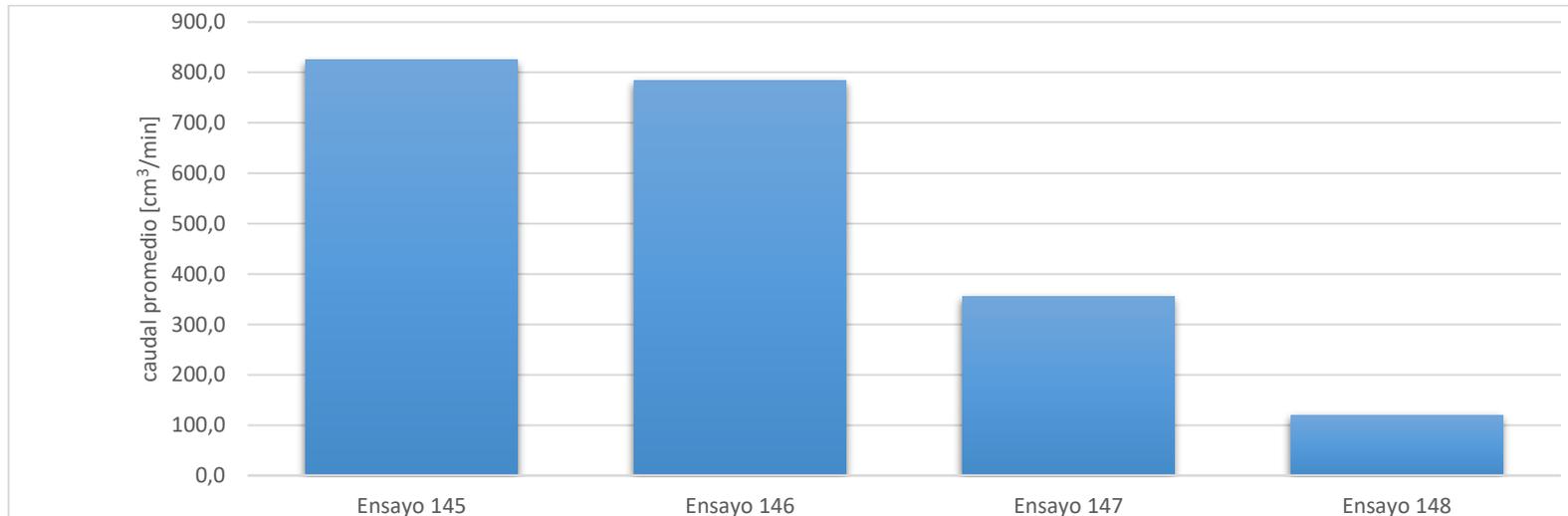
Ensayo 141		Ensayo 142		Ensayo 143		Ensayo 144	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
314,0		160,0		110,0		10,0	
329,0		146,0		113,0		3,0	
334,0		165,0		119,0		5,0	
307,0		126,0		116,0		4,0	
323,0		140,0		108,0		8,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	321,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	147,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	113,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>6,0</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>2,9</b>



Grafica 36. Caudal promedio generado para la tabla 36.

Tabla 37. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

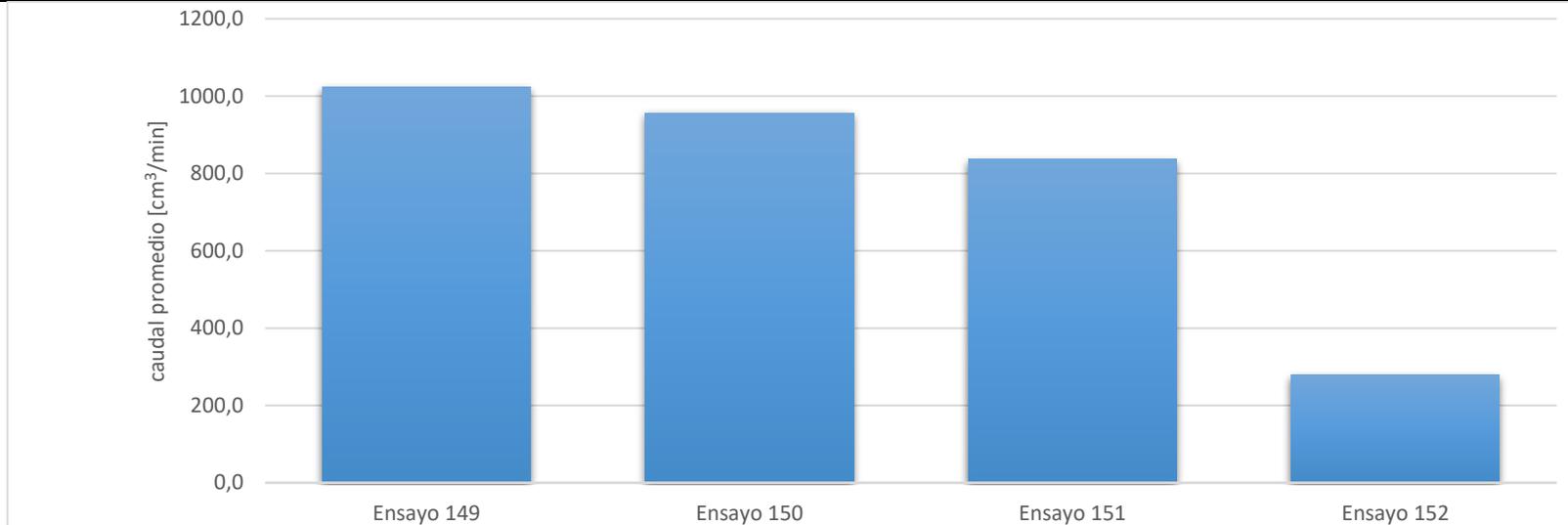
Ensayo 145		Ensayo 146		Ensayo 147		Ensayo 148	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
824,0		768,0		356,0		118,0	
817,0		796,0		366,0		104,0	
839,0		800,0		349,0		113,0	
811,0		781,0		361,0		128,0	
833,0		773,0		344,0		135,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	824,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	783,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	355,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	119,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,2



Grafica 37. Caudal promedio generado para la tabla 37

Tabla 38. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

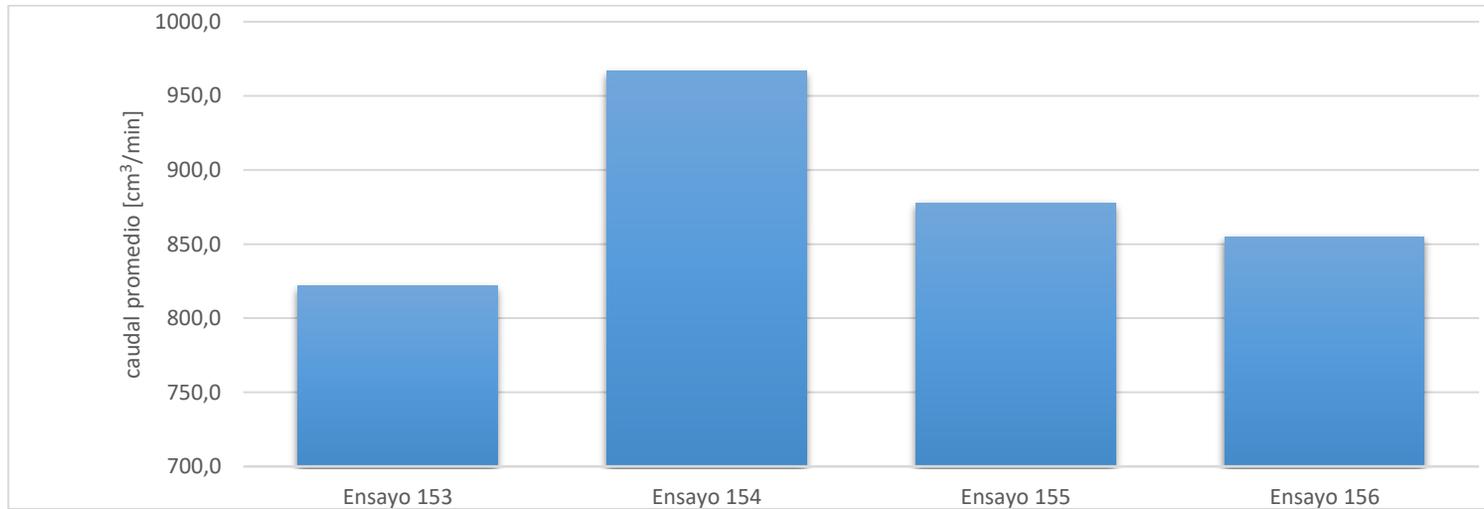
Ensayo 149		Ensayo 150		Ensayo 151		Ensayo 152	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1024,0		938,0		842,0		288,0	
1019,0		968,0		830,0		278,0	
1038,0		973,0		839,0		270,0	
1026,0		959,0		822,0		285,0	
1011,0		945,0		852,0		272,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1023,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	956,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	837,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	278,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,9



Grafica 38. Caudal promedio generado para la tabla 38.

Tabla 39. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

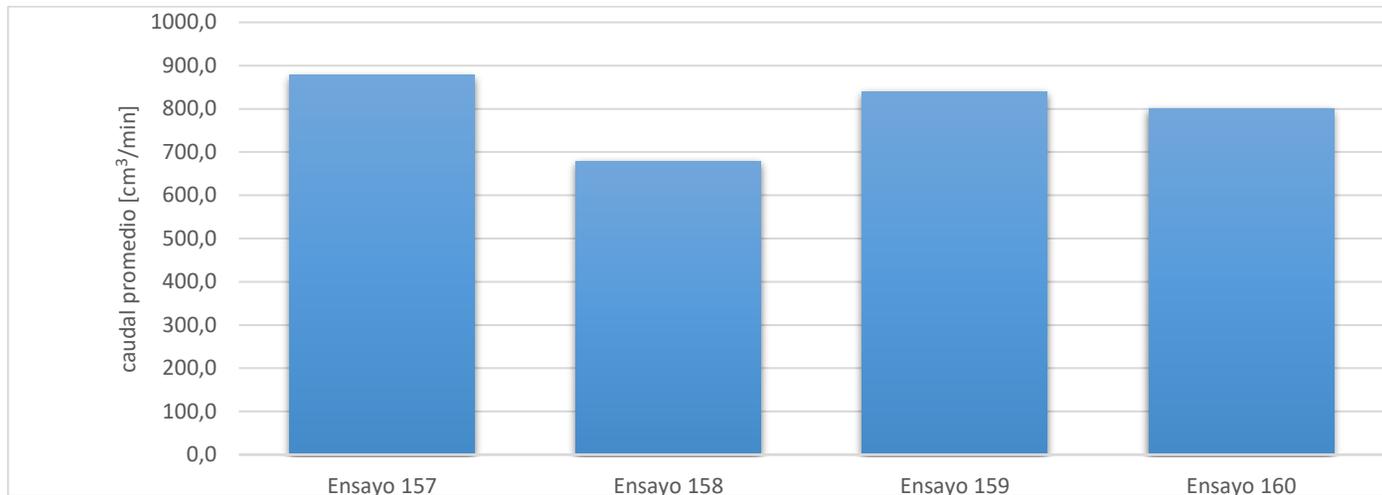
Ensayo 153		Ensayo 154		Ensayo 155		Ensayo 156	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
814,0		978,0		894,0		852,0	
827,0		958,0		862,0		846,0	
834,0		962,0		873,0		832,0	
822,0		984,0		889,0		877,0	
811,0		951,0		870,0		867,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	821,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	966,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	877,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	854,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,7



Grafica 39. Caudal promedio generado para la tabla 39.

Tabla 40. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

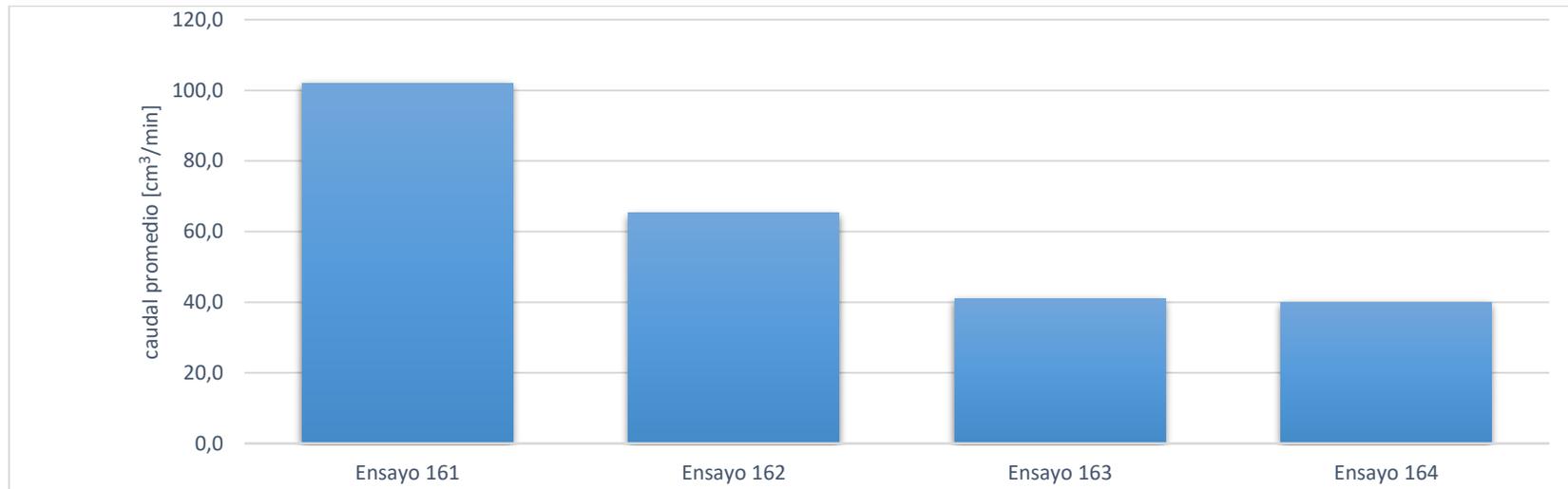
Ensayo 157		Ensayo 158		Ensayo 159		Ensayo 160	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6	M [kg]	4,6
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
882,0		690,0		820,0		790,0	
864,0		676,0		864,0		804,0	
897,0		663,0		842,0		816,0	
874,0		679,0		853,0		800,0	
871,0		685,0		821,0		796,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	877,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	678,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	840,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>801,2</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	19,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>9,8</b>



Grafica 40. Caudal promedio generado para la tabla 40.

Tabla 41. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

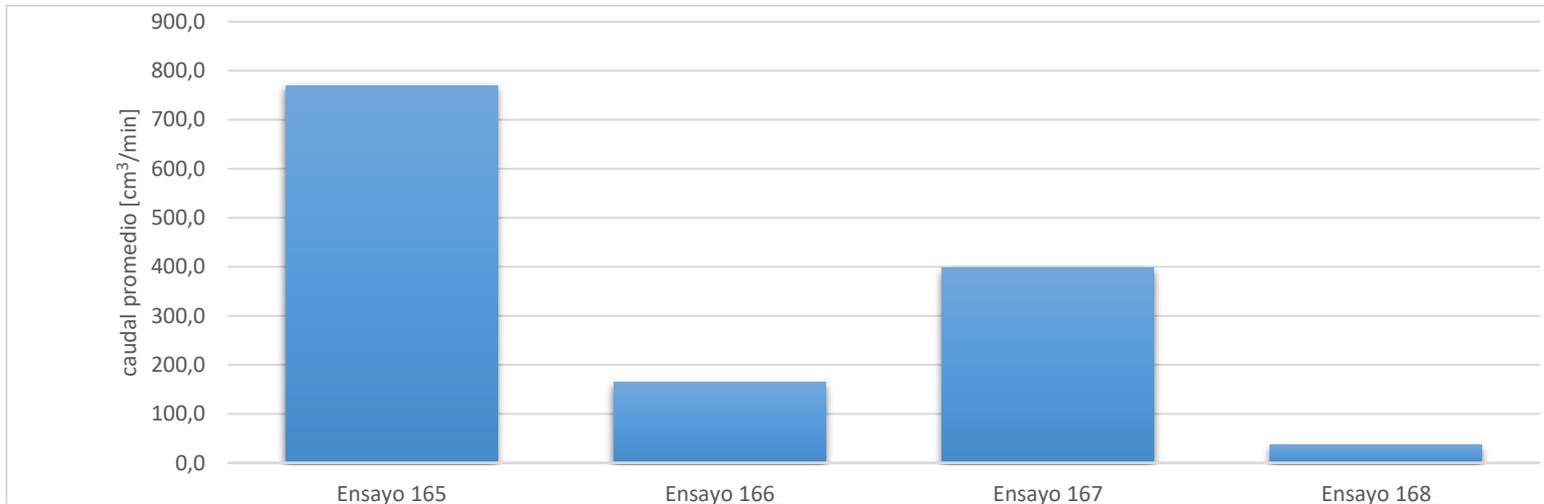
Ensayo 161		Ensayo 162		Ensayo 163		Ensayo 164	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
115,0		66,0		53,0		47,0	
106,0		70,0		30,0		32,0	
90,0		62,0		34,0		40,0	
103,0		64,0		48,0		36,0	
96,0		64,0		40,0		45,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	102,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	65,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>41,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>40,0</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	3,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>9,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>6,2</b>



Grafica 41. Caudal promedio generado para la tabla 41.

Tabla 42. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

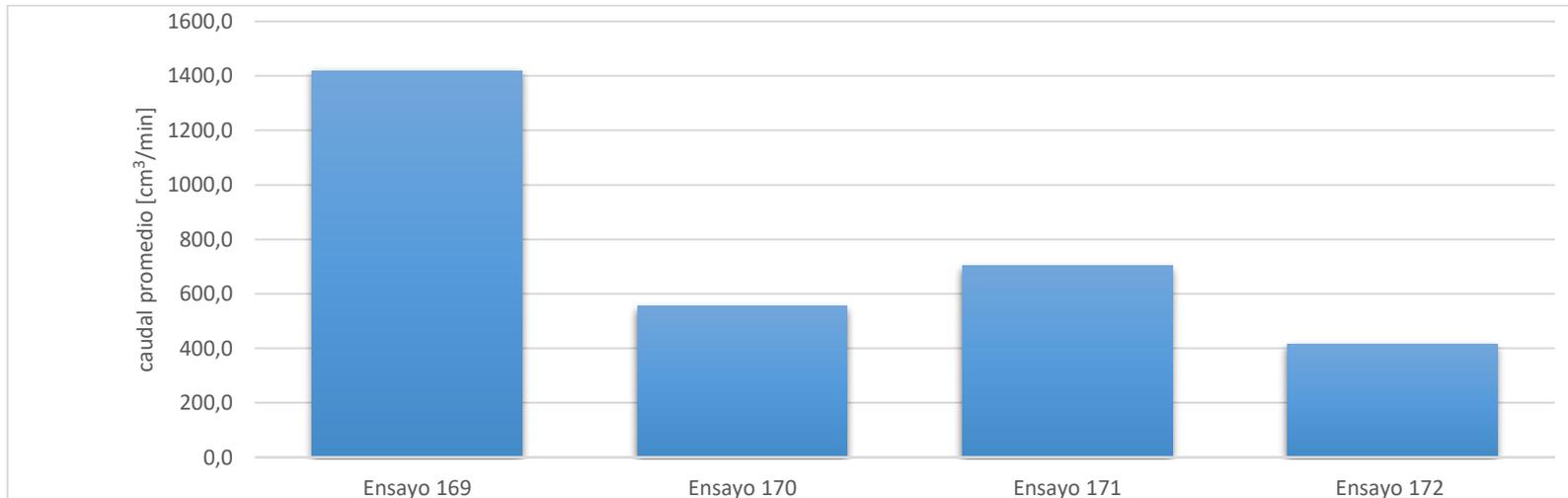
Ensayo 165		Ensayo 166		Ensayo 167		Ensayo 168	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
766,0		150,0		395,0		55,0	
750,0		169,0		423,0		20,0	
776,0		183,0		380,0		42,0	
780,0		163,0		400,0		30,0	
774,0		157,0		390,0		34,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	769,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	164,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	397,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>36,2</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,2</b>



Grafica 42. Caudal promedio generado para la tabla 42.

Tabla 43. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

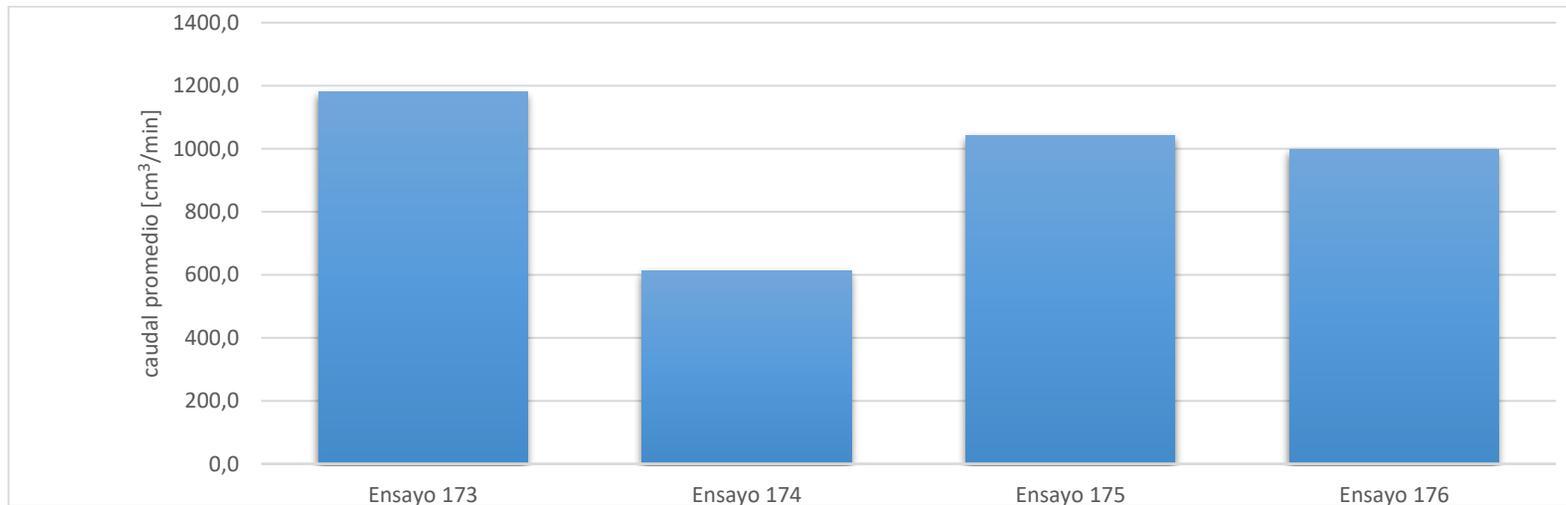
Ensayo 169		Ensayo 170		Ensayo 171		Ensayo 172	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1400,0		538,0		715,0		410,0	
1400,0		549,0		700,0		418,0	
1434,0		550,0		690,0		400,0	
1432,0		570,0		699,0		413,0	
1425,0		564,0		705,0		434,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1418,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	554,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	701,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>415,0</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>12,5</b>



Grafica 43. Caudal promedio generado para la tabla 43.

Tabla 44. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

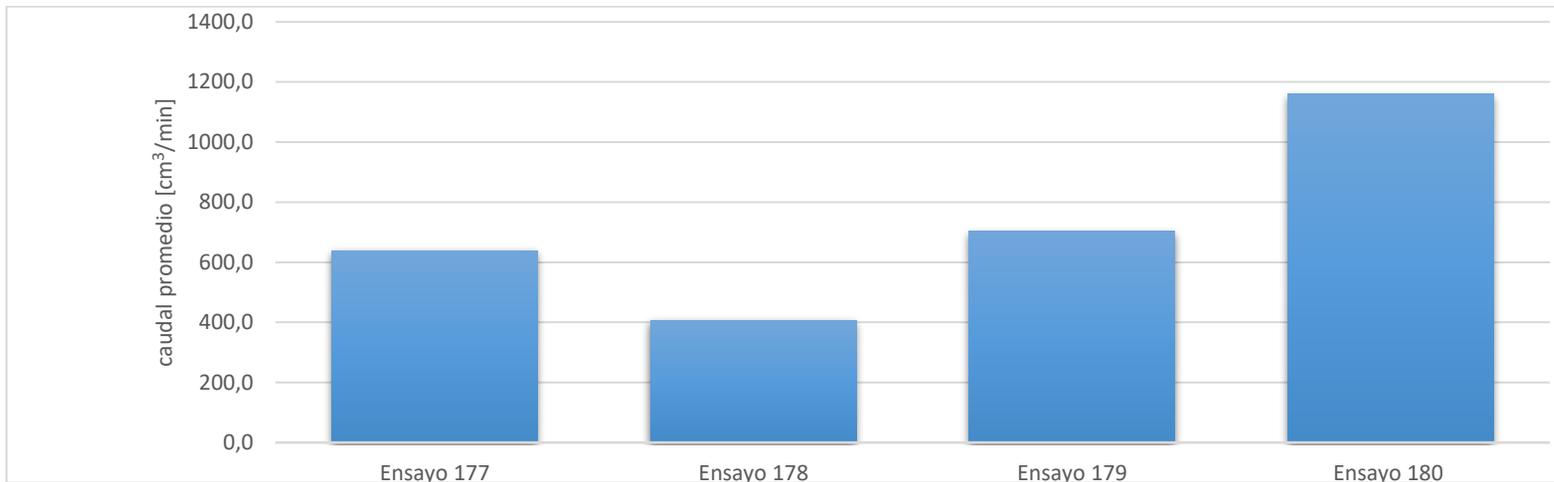
Ensayo 173		Ensayo 174		Ensayo 175		Ensayo 176	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1174,0		635,0		1030,0		992,0	
1171,0		615,0		1020,0		999,0	
1198,0		600,0		1060,0		1000,0	
1186,0		590,0		1050,0		995,0	
1171,0		620,0		1045,0		1000,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1180,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	612,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1041,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	997,2
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	3,6



Grafica 44. Caudal promedio generado para la tabla 44

Tabla 45. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

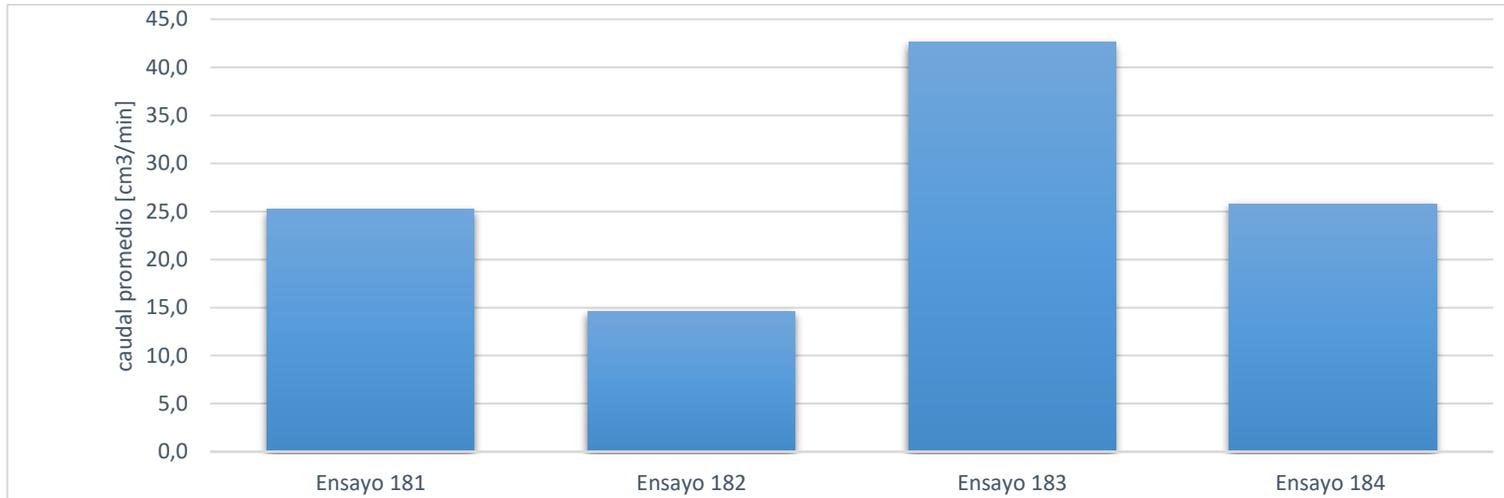
Ensayo 177		Ensayo 178		Ensayo 179		Ensayo 180	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
640,0		400,0		710,0		1160,0	
640,0		410,0		690,0		1140,0	
620,0		403,0		700,0		1170,0	
635,0		415,0		720,0		1180,0	
656,0		408,0		695,0		1150,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	638,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	407,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	703,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1160,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	5,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,8



Grafica 45. Caudal promedio generado para la tabla 45.

Tabla 46. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

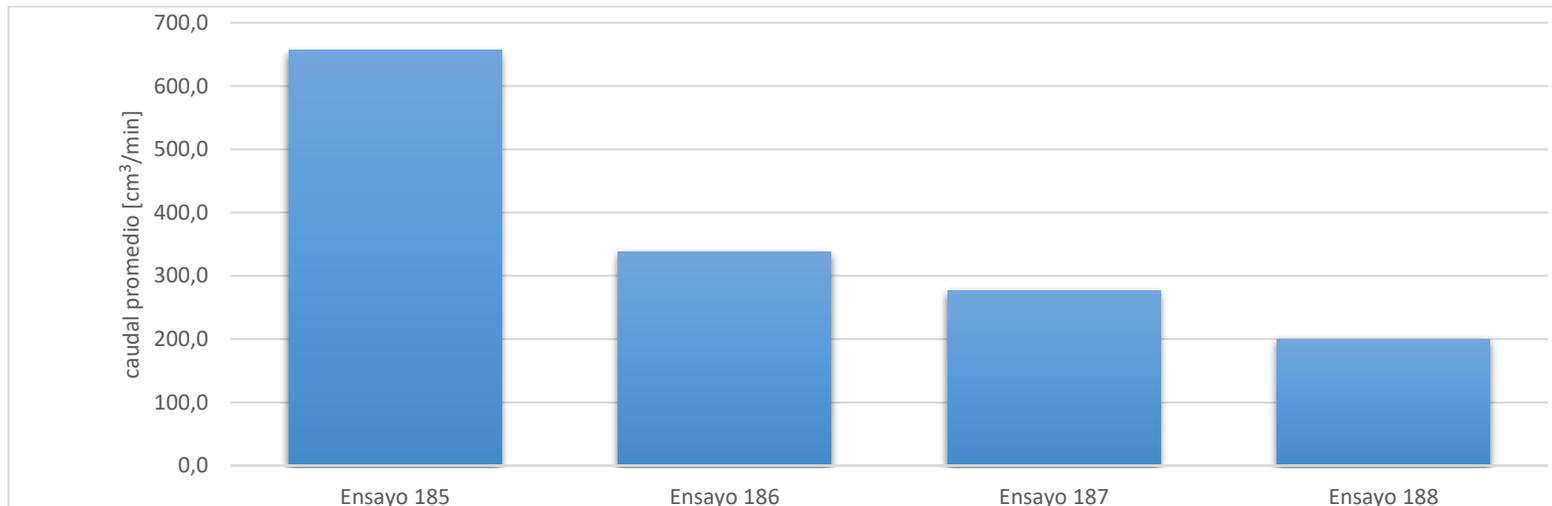
Ensayo 181		Ensayo 182		Ensayo 183		Ensayo 184	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
29,0		19,0		36,0		20,0	
20,0		11,0		39,0		32,0	
27,0		16,0		52,0		29,0	
22,0		13,0		43,0		25,0	
28,0		14,0		43,0		23,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	25,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>14,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>42,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>25,8</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>3,0</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>6,0</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>4,8</b>



Grafica 46. Caudal promedio generado para la tabla 46

Tabla 47. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

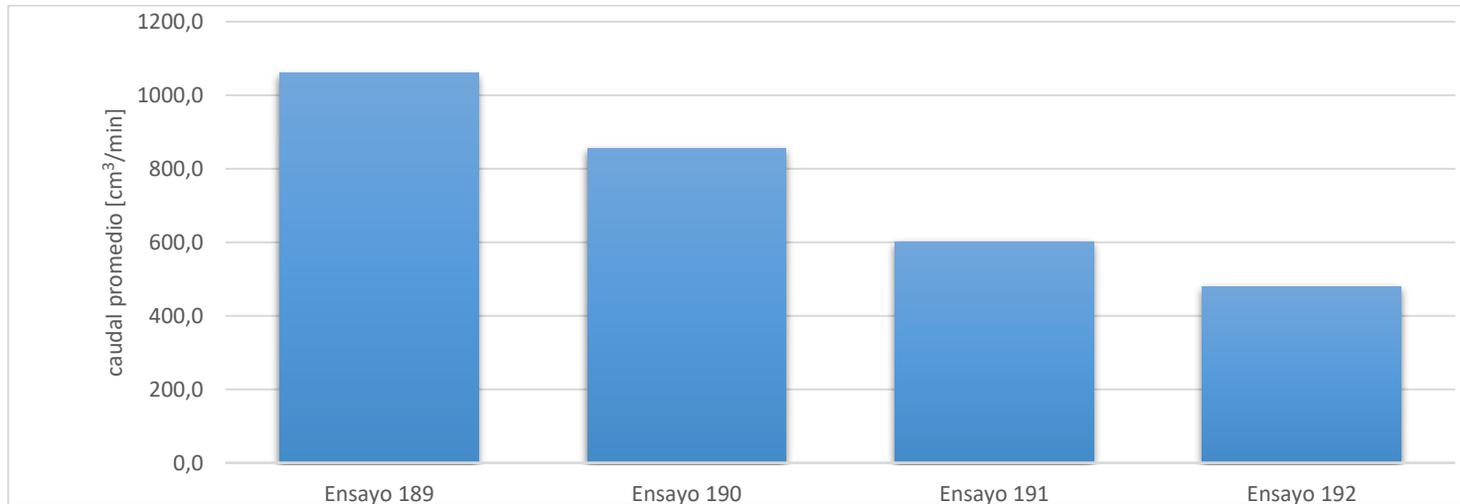
Ensayo 185		Ensayo 186		Ensayo 187		Ensayo 188	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
680,0		352,0		297,0		187,0	
635,0		330,0		262,0		210,0	
648,0		327,0		258,0		197,0	
664,0		348,0		291,0		200,0	
653,0		335,0		273,0		205,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	656,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	338,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	276,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>199,8</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,7</b>



Grafica 47. Caudal promedio generado para la tabla 47.

Tabla 48. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

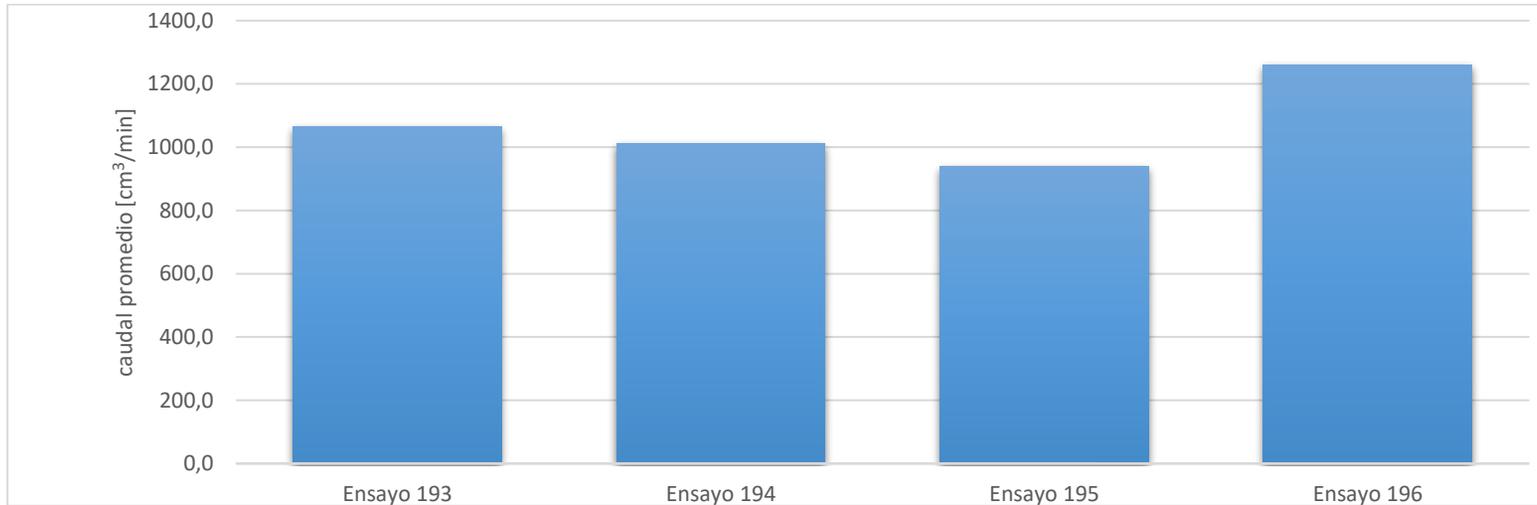
Ensayo 189		Ensayo 190		Ensayo 191		Ensayo 192	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1038,0		862,0		590,0		462,0	
1078,0		860,0		600,0		481,0	
1082,0		851,0		613,0		493,0	
1044,0		855,0		607,0		483,0	
1057,0		850,0		598,0		475,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1059,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	855,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	601,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	478,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	19,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	5,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,4



Grafica 48. caudal promedio generado para la tabla 48

Tabla 49. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

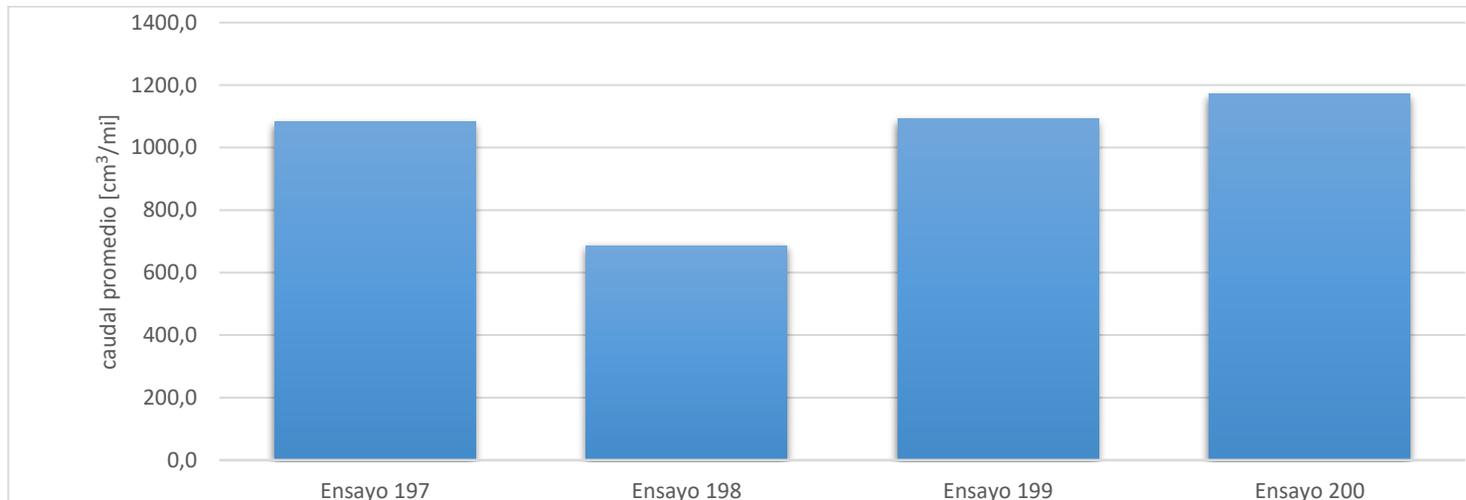
Ensayo 193		Ensayo 194		Ensayo 195		Ensayo 196	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1050,0		1015,0		963,0		1285,0	
1072,0		1020,0		937,0		1268,0	
1084,0		1000,0		910,0		1250,0	
1067,0		1010,0		955,0		1245,0	
1053,0		1005,0		927,0		1258,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1065,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1010,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	938,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1261,2
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	21,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,9



Grafica 49. Caudal promedio generado para la tabla 49

Tabla 50. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

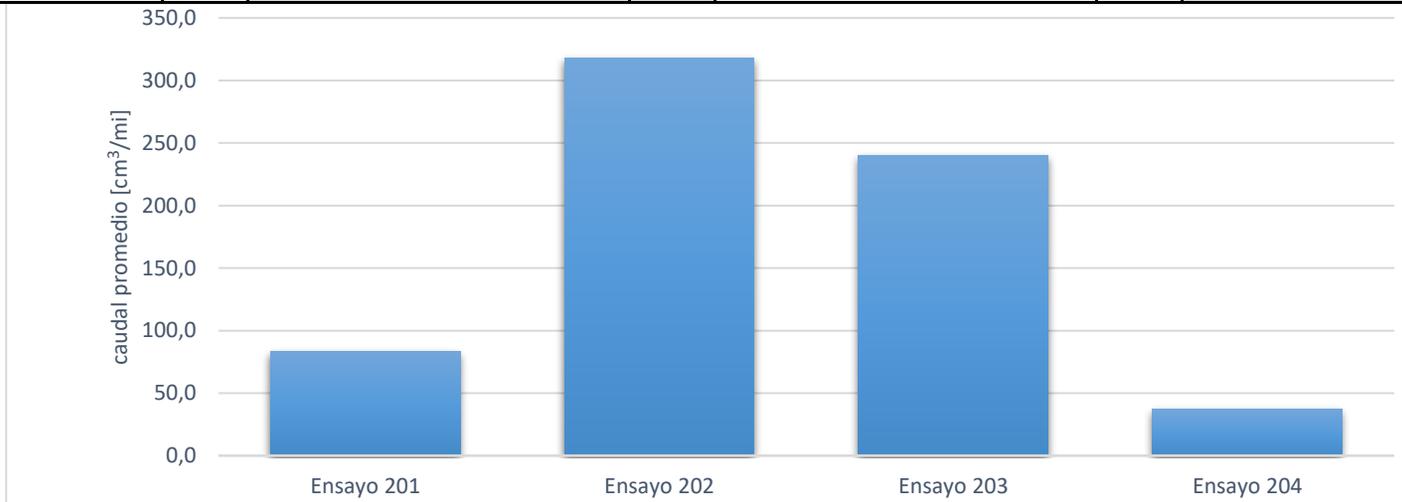
Ensayo 197		Ensayo 198		Ensayo 199		Ensayo 200	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1090,0		690,0		1091,0		1151,0	
1066,0		692,0		1080,0		1160,0	
1098,0		695,0		1096,0		1190,0	
1074,0		685,0		1089,0		1171,0	
1083,0		670,0		1100,0		1181,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>1082,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>686,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1091,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1170,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>12,7</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>9,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,7



Grafica 50. Caudal promedio generado para la tabla 50.

Tabla 51. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

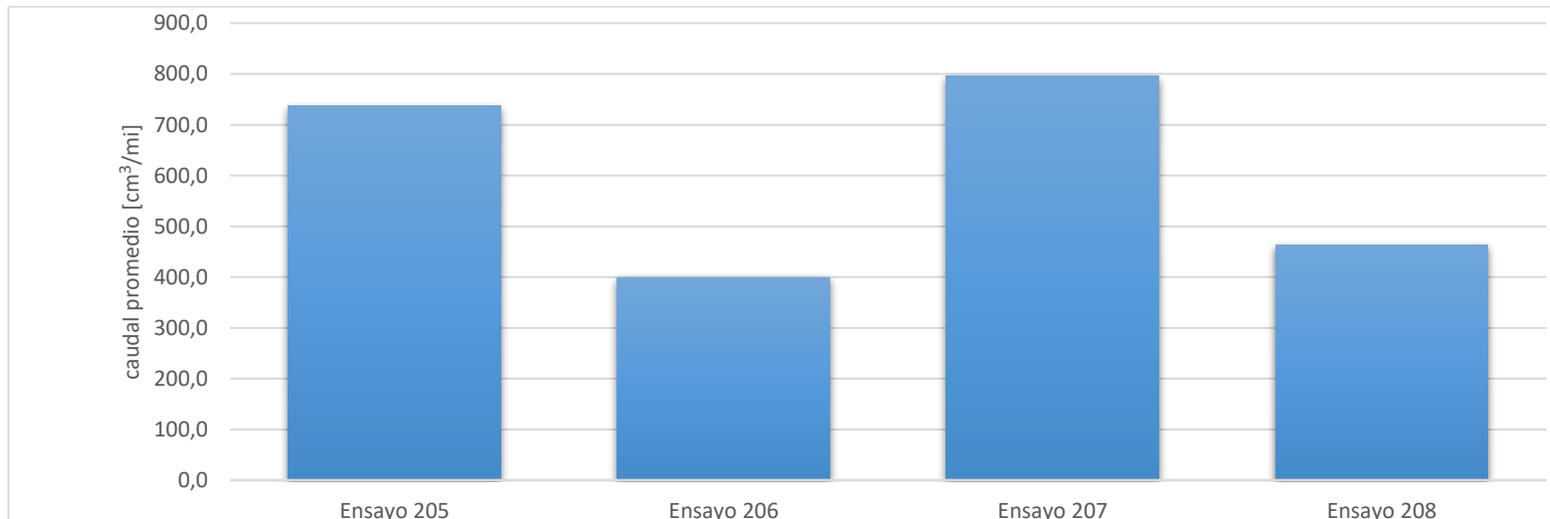
Ensayo 201		Ensayo 202		Ensayo 203		Ensayo 204	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
93,0		334,0		228,0		34,0	
80,0		300,0		250,0		40,0	
72,0		327,0		240,0		43,0	
83,0		319,0		244,0		37,0	
88,0		310,0		236,0		31,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	83,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	318,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>239,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>37,0</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,3</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>4,7</b>



Grafica 51. Caudal promedio generado para la tabla 51.

Tabla 52. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

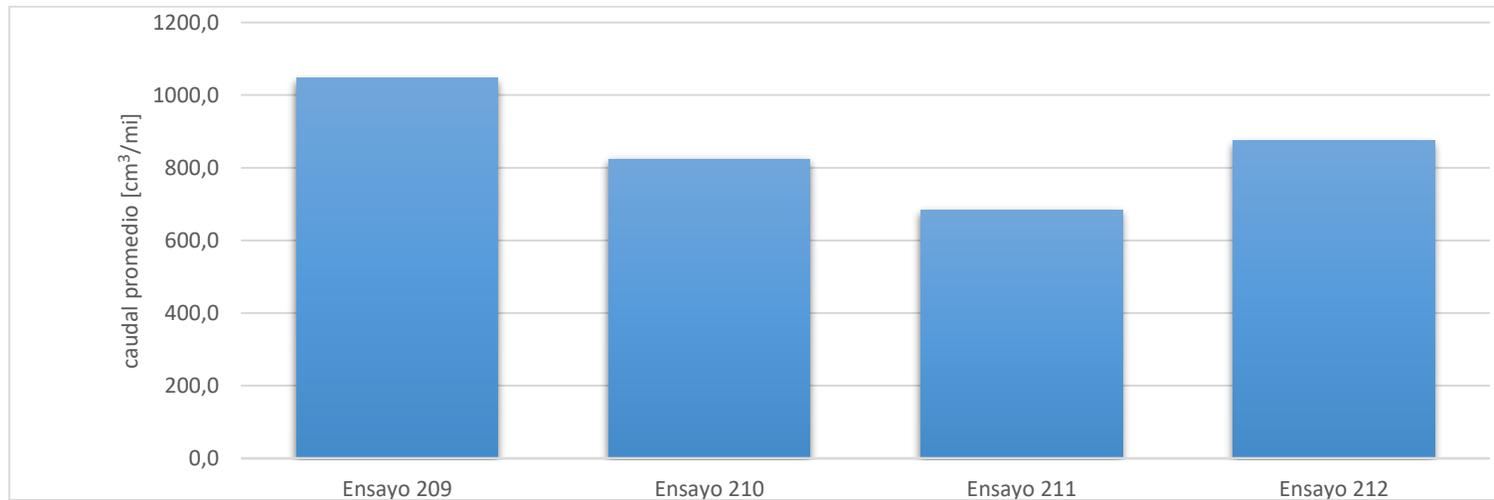
Ensayo 205		Ensayo 206		Ensayo 207		Ensayo 208	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
745,0		403,0		784,0		470,0	
728,0		401,0		796,0		464,0	
734,0		398,0		800,0		481,0	
739,0		400,0		793,0		453,0	
741,0		395,0		805,0		450,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	737,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	399,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	795,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>463,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	3,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>12,7</b>



Grafica 52. caudal promedio generado para la tabla 52.

Tabla 53. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

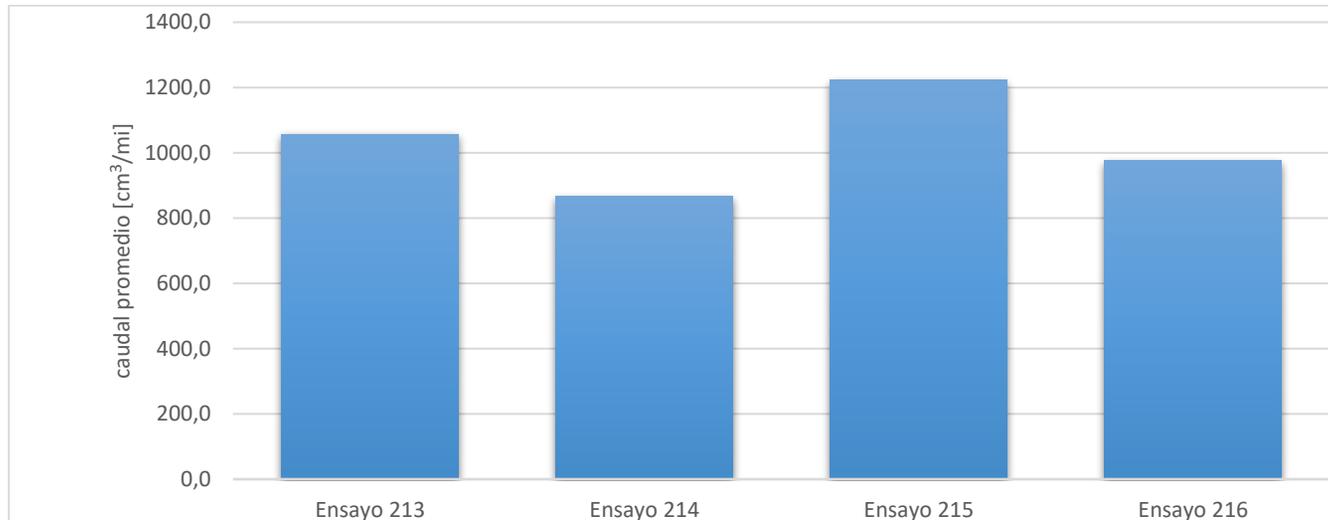
Ensayo 209		Ensayo 210		Ensayo 211		Ensayo 212	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1050,0		818,0		688,0		890,0	
1051,0		821,0		692,0		872,0	
1063,0		827,0		680,0		867,0	
1046,0		825,0		673,0		883,0	
1025,0		830,0		685,0		860,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1047,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	824,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	683,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	874,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,1



Grafica 53. Caudal promedio generado para la tabla 53

Tabla 54. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

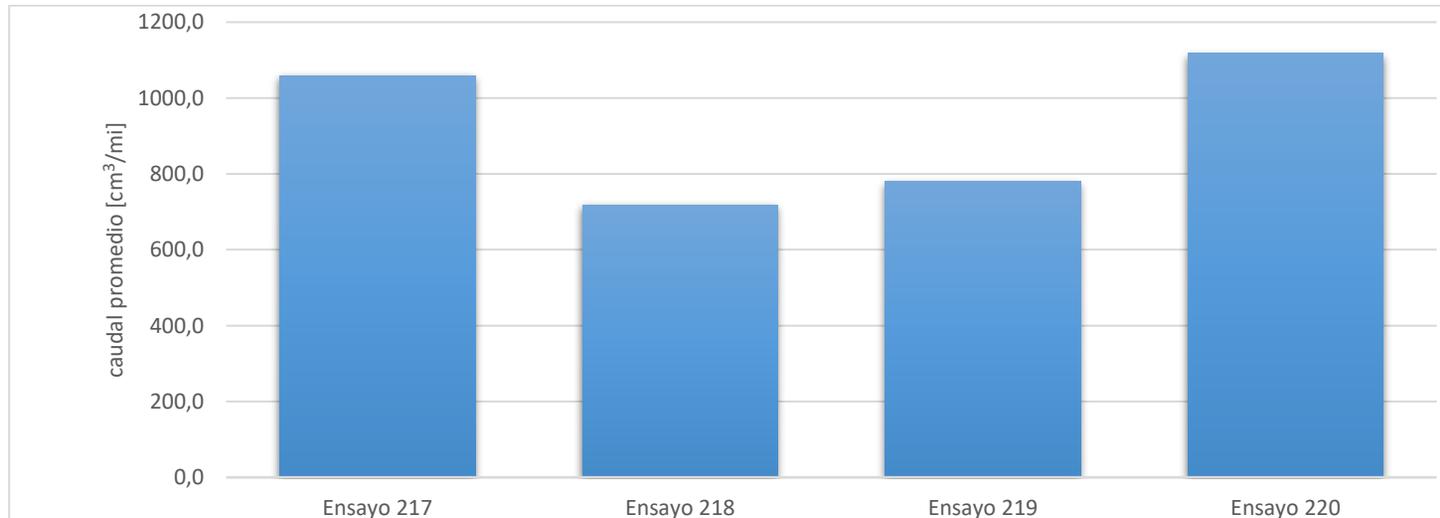
Ensayo 213		Ensayo 214		Ensayo 215		Ensayo 216	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1048,0		850,0		1232,0		996,0	
1036,0		890,0		1204,0		957,0	
1078,0		864,0		1212,0		984,0	
1053,0		872,0		1227,0		962,0	
1067,0		855,0		1239,0		978,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1056,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	866,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1222,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	975,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,0



Grafica 54. Caudal promedio generado para la tabla 54

Tabla 55. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

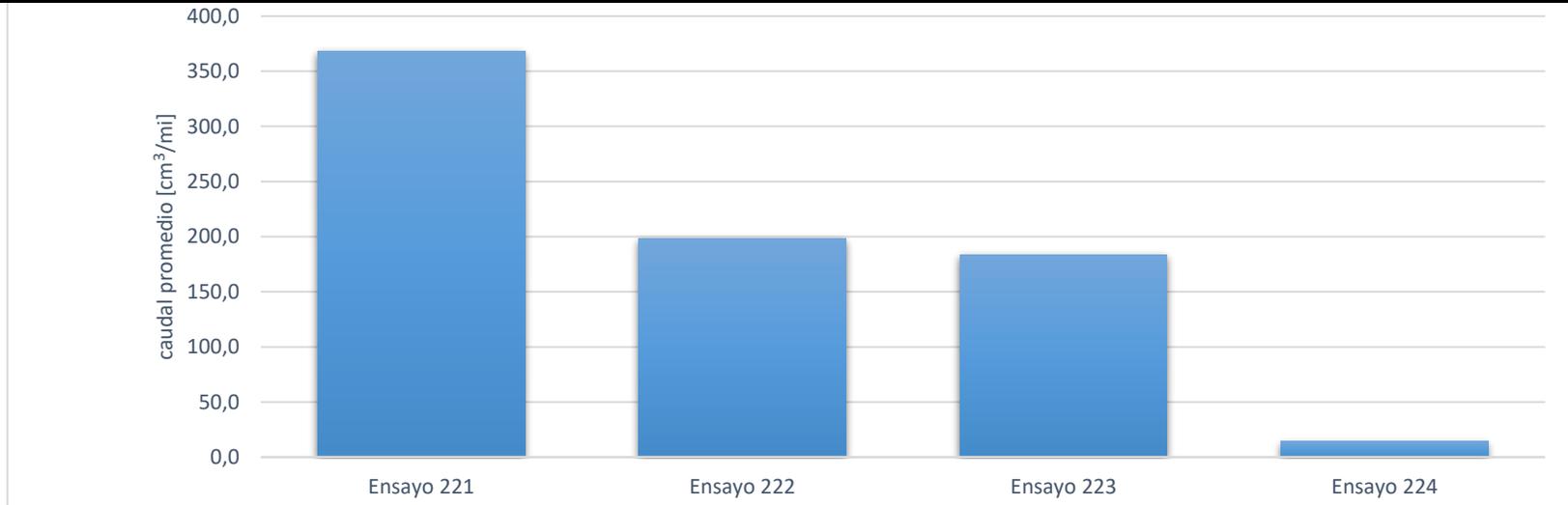
Ensayo 217		Ensayo 218		Ensayo 219		Ensayo 220	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1028,0		710,0		784,0		1136,0	
1060,0		726,0		800,0		1100,0	
1065,0		720,0		748,0		1110,0	
1073,0		713,0		779,0		1127,0	
1070,0		723,0		792,0		1114,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1059,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	718,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	780,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1117,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	18,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	19,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,2



Grafica 55. Caudal promedio generado para la tabla 55.

Tabla 56. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

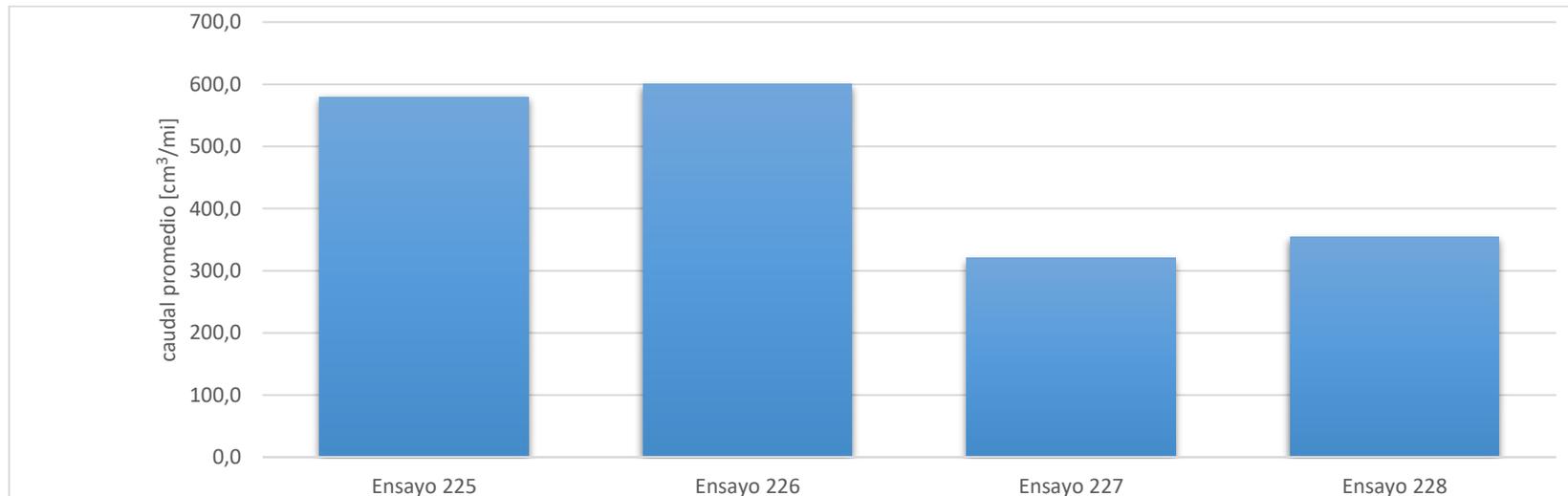
Ensayo 221		Ensayo 222		Ensayo 223		Ensayo 224	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
370,0		202,0		184,0		20,0	
357,0		211,0		173,0		13,0	
378,0		193,0		195,0		8,0	
366,0		186,0		178,0		12,0	
371,0		200,0		189,0		18,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	368,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>198,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>183,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>14,2</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>9,4</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,7</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>4,8</b>



Grafica 56. Caudal promedio generado para la tabla 56.

Tabla 57. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

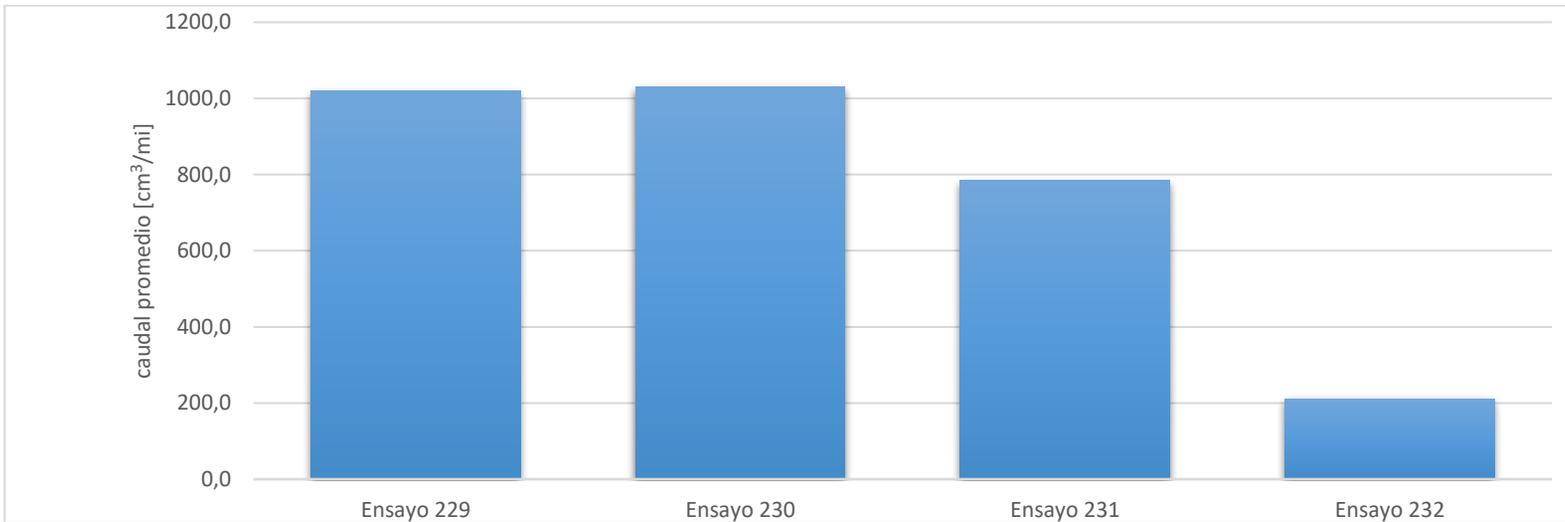
Ensayo 225		Ensayo 226		Ensayo 227		Ensayo 228	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
580,0		600,0		330,0		346,0	
576,0		606,0		316,0		366,0	
572,0		610,0		302,0		339,0	
582,0		597,0		320,0		354,0	
588,0		587,0		334,0		363,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	579,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	600,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	320,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>353,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>11,3</b>



Grafica 57. Caudal promedio generado para la tabla 57

Tabla 58. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

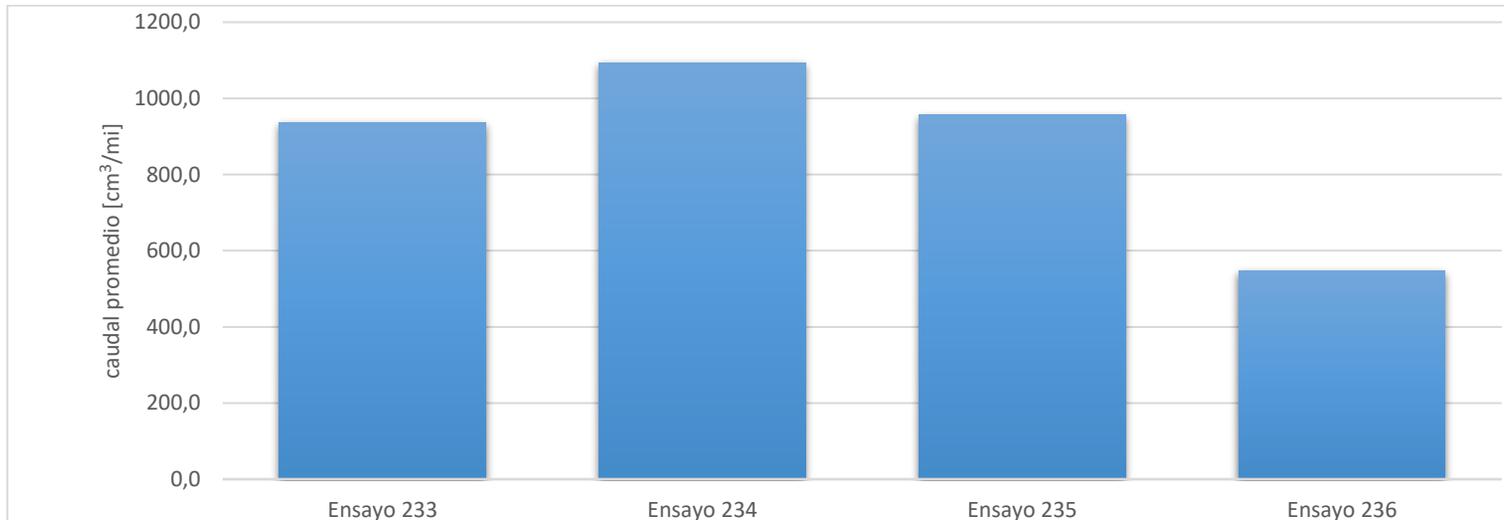
Ensayo 229		Ensayo 230		Ensayo 231		Ensayo 232	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1028,0		1030,0		796,0		206,0	
1006,0		1028,0		782,0		220,0	
1037,0		1021,0		774,0		214,0	
1011,0		1036,0		780,0		211,0	
1015,0		1032,0		790,0		201,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1019,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1029,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	784,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	210,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	5,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,3



Grafica 58. Caudal promedio generado para la tabla 58

Tabla 59. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

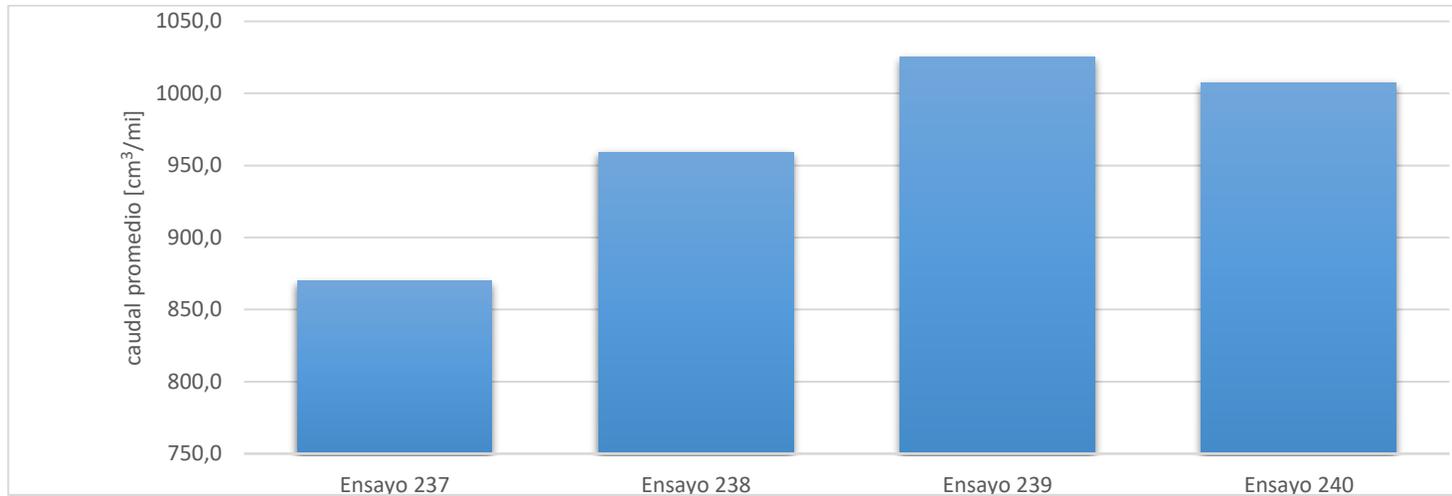
Ensayo 233		Ensayo 234		Ensayo 235		Ensayo 236	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
920,0		1080,0		962,0		550,0	
925,0		1106,0		950,0		532,0	
937,0		1095,0		957,0		527,0	
943,0		1088,0		943,0		557,0	
959,0		1102,0		970,0		569,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	936,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1094,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	956,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	547,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,4



Grafica 59. Caudal promedio generado para la tabla 58

Tabla 60. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

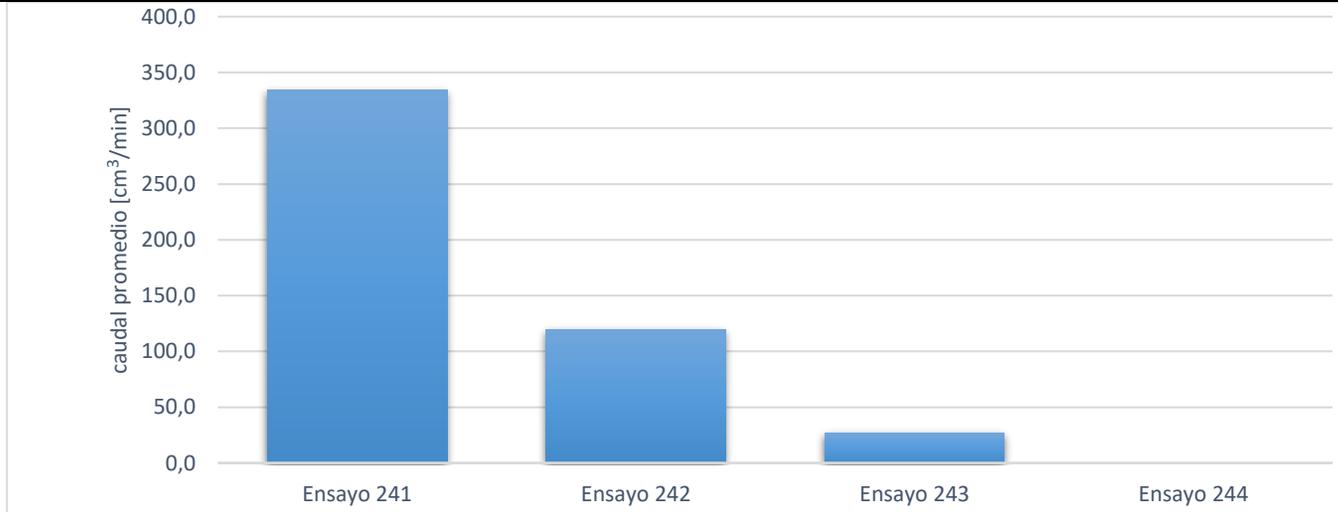
Ensayo 237		Ensayo 238		Ensayo 239		Ensayo 240	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7	M [kg]	7
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
862,0		952,0		1034,0		996,0	
855,0		957,0		1014,0		1010,0	
871,0		966,0		1031,0		1018,0	
879,0		961,0		1027,0		1013,0	
882,0		960,0		1019,0		1000,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	869,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	959,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1025,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1007,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	5,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,2



Grafica 60. Caudal promedio generado para la tabla 60.

Tabla 61. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

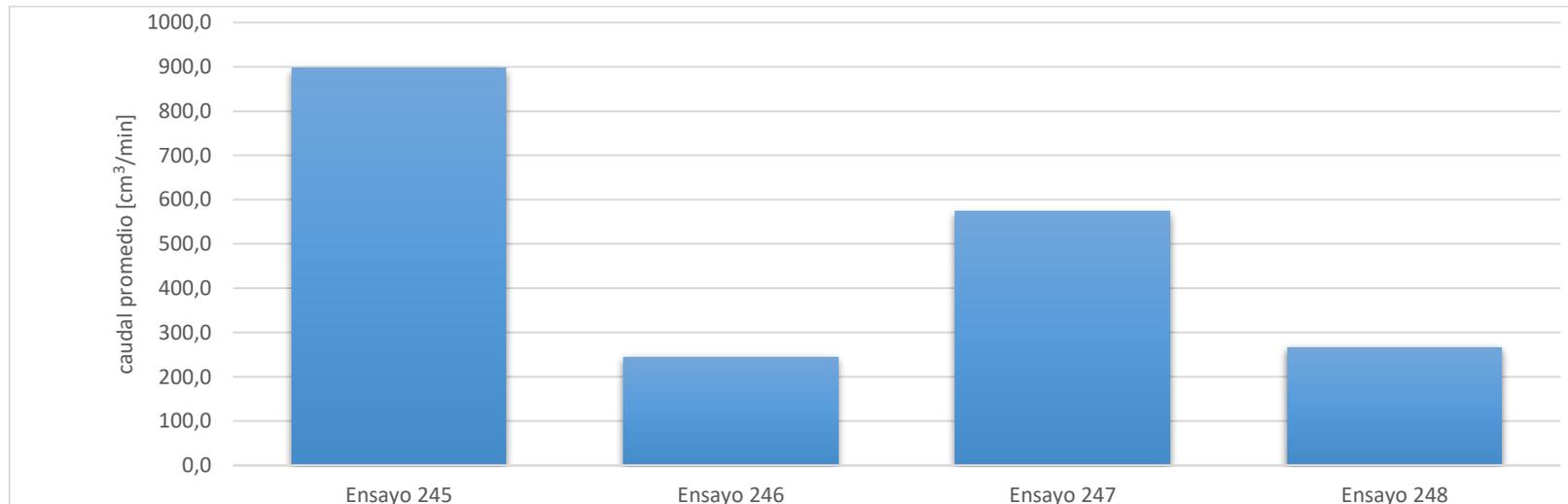
Ensayo 241		Ensayo 242		Ensayo 243		Ensayo 244	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	9,5						
L [mm]	120						
m [kg]	1,8						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
314,0		140,0		24,0		0,0	
323,0		127,0		30,0		0,0	
338,0		108,0		25,0		0,0	
356,0		113,0		35,0		0,0	
341,0		111,0		20,0		0,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>334,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>119,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>26,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	0,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>16,3</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,4</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>5,8</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	0,0



Grafica 61. Caudal promedio generado para la tabla 61.

Tabla 62. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

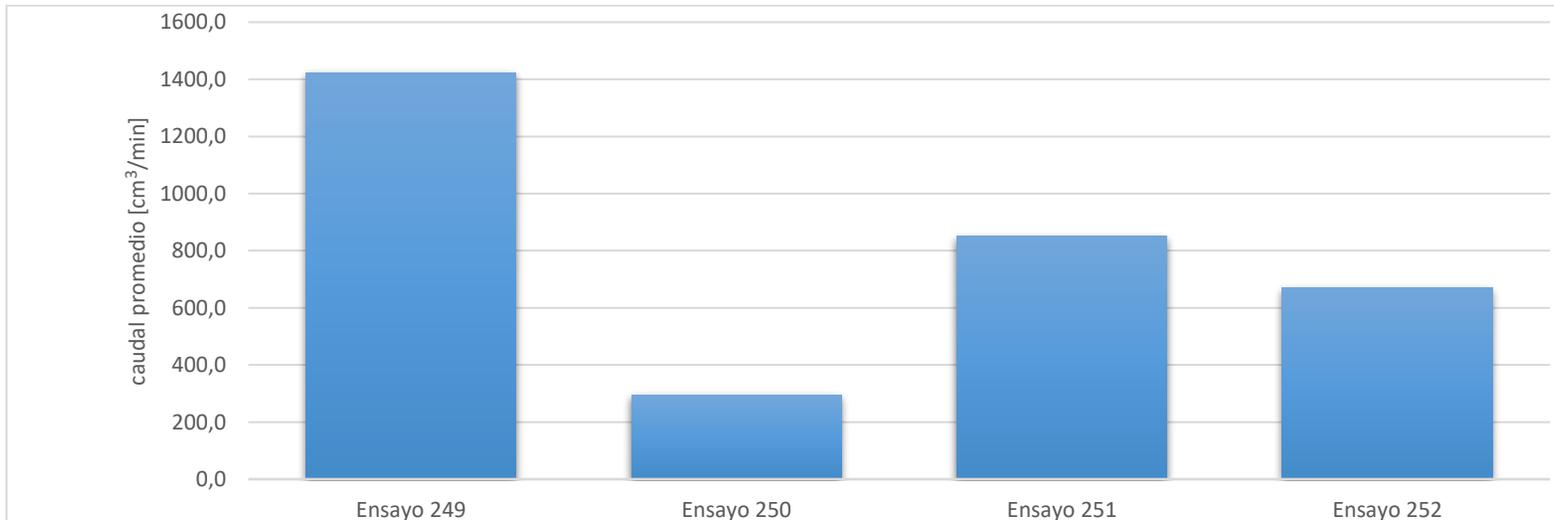
Ensayo 245		Ensayo 246		Ensayo 247		Ensayo 248	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
900,0		230,0		565,0		255,0	
905,0		254,0		595,0		289,0	
907,0		220,0		580,0		280,0	
881,0		250,0		578,0		244,0	
893,0		270,0		550,0		265,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	897,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	244,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>573,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>266,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	19,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>16,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>18,2</b>



Grafica 62. Caudal promedio generado para la tabla 62.

Tabla 63. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

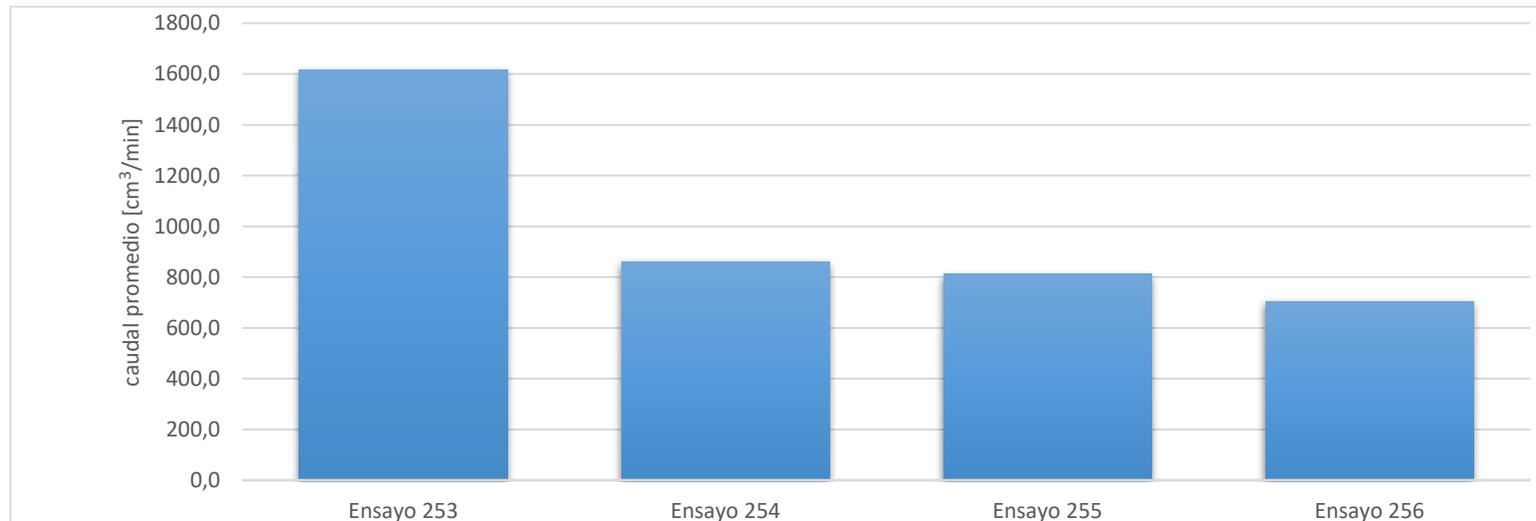
Ensayo 249		Ensayo 250		Ensayo 251		Ensayo 252	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1424,0		306,0		857,0		655,0	
1425,0		274,0		870,0		685,0	
1422,0		300,0		842,0		669,0	
1421,0		294,0		862,0		665,0	
1423,0		300,0		827,0		675,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1423,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	294,80	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>851,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>669,8</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	1,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,38	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>17,1</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>11,2</b>



Grafica 63. Caudal promedio generado para la tabla 63.

Tabla 64. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

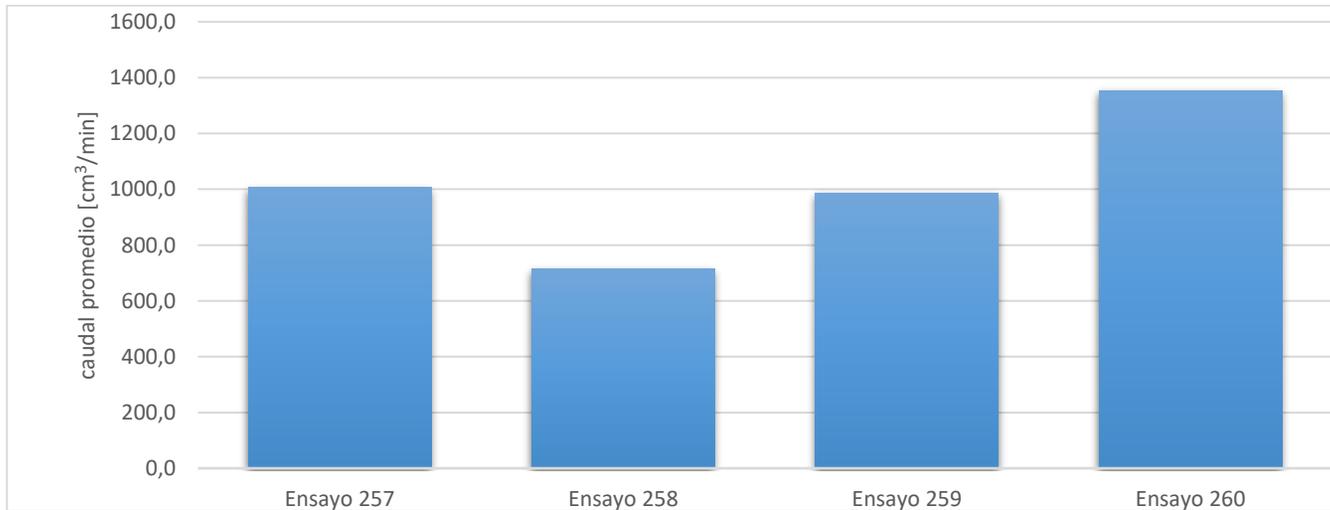
Ensayo 253		Ensayo 254		Ensayo 255		Ensayo 256	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1614,0		860,0		820,0		705,0	
1600,0		850,0		801,0		710,0	
1638,0		887,0		810,0		702,0	
1609,0		868,0		800,0		703,0	
1624,0		840,0		830,0		704,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1617,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	861,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	812,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	704,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	3,1



Grafica 64. Caudal promedio generado para la tabla 64.

Tabla 65. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

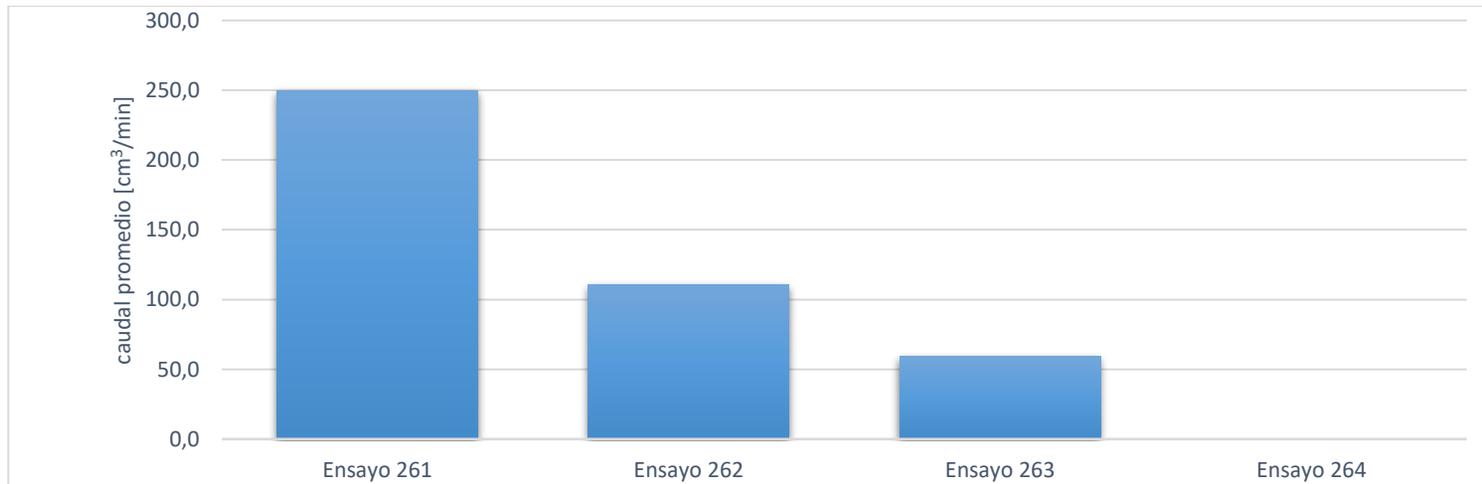
Ensayo 257		Ensayo 258		Ensayo 259		Ensayo 260	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120	L [mm]	120
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1008,0		700,0		984,0		1356,0	
1000,0		715,0		981,0		1372,0	
1000,0		740,0		996,0		1367,0	
998,0		700,0		975,0		1345,0	
1021,0		720,0		1000,0		1332,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1005,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	715,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	987,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1354,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,3



Grafica 65. Caudal promedio generado para la tabla 65.

Tabla 66. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

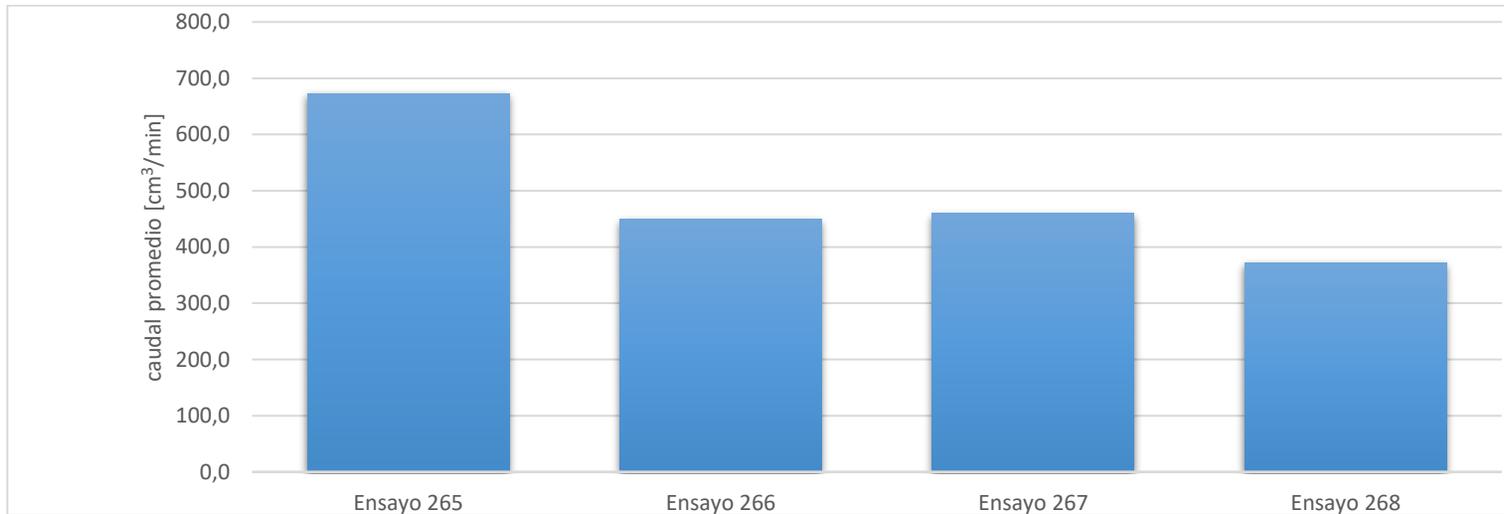
Ensayo 261		Ensayo 262		Ensayo 263		Ensayo 264	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	9,5						
L [mm]	162,7						
m [kg]	1,8						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
260,0		119,0		49,0		0,0	
250,0		118,0		68,0		0,0	
239,0		100,0		59,0		0,0	
257,0		105,0		64,0		0,0	
243,0		111,0		55,0		0,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>249,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>110,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>59,0</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	0,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>8,2</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>7,4</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	0,0



Grafica 66. caudal promedio generado para la tabla 66.

Tabla 67. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

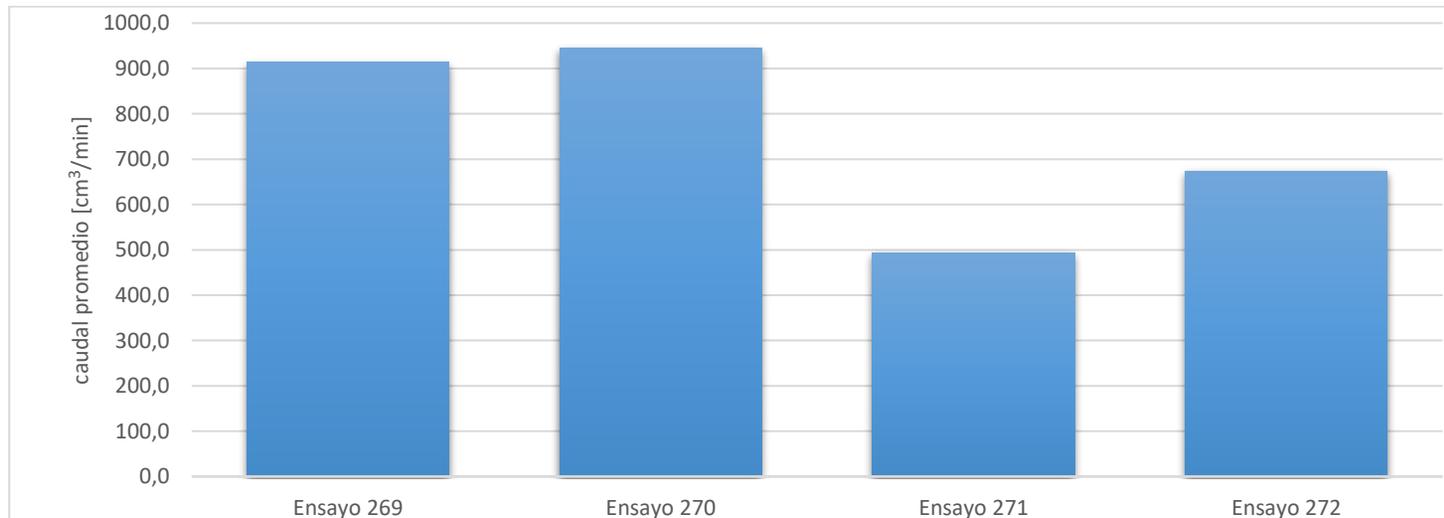
Ensayo 265		Ensayo 266		Ensayo 267		Ensayo 268	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	162.7	L [mm]	162.7	L [mm]	162.7	L [mm]	162.7
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
695,0		445,0		440,0		380,0	
677,0		457,0		448,0		361,0	
680,0		430,0		453,0		373,0	
662,0		463,0		486,0		368,0	
651,0		452,0		472,0		376,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	673,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>449,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>459,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>371,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>12,7</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>18,8</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>7,4</b>



Grafica 67. Caudal promedio generado para la tabla 67.

Tabla 68. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

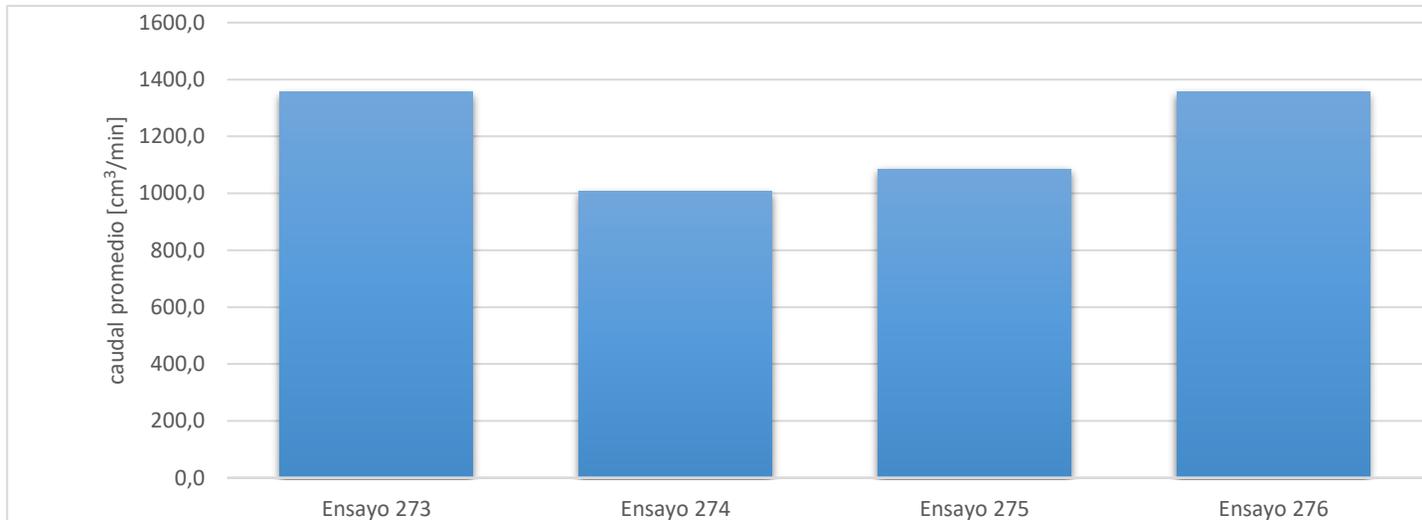
Ensayo 269		Ensayo 270		Ensayo 271		Ensayo 272	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	162.7	L [mm]	162.7	L [mm]	162.7	L [mm]	162.7
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
902,0		930,0		490,0		662,0	
905,0		961,0		500,0		664,0	
914,0		933,0		488,0		690,0	
929,0		943,0		487,0		680,0	
917,0		953,0		498,0		671,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	913,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	944,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	492,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>673,4</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>11,7</b>



Grafica 68. Caudal promedio generado para la tabla 68.

Tabla 69. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

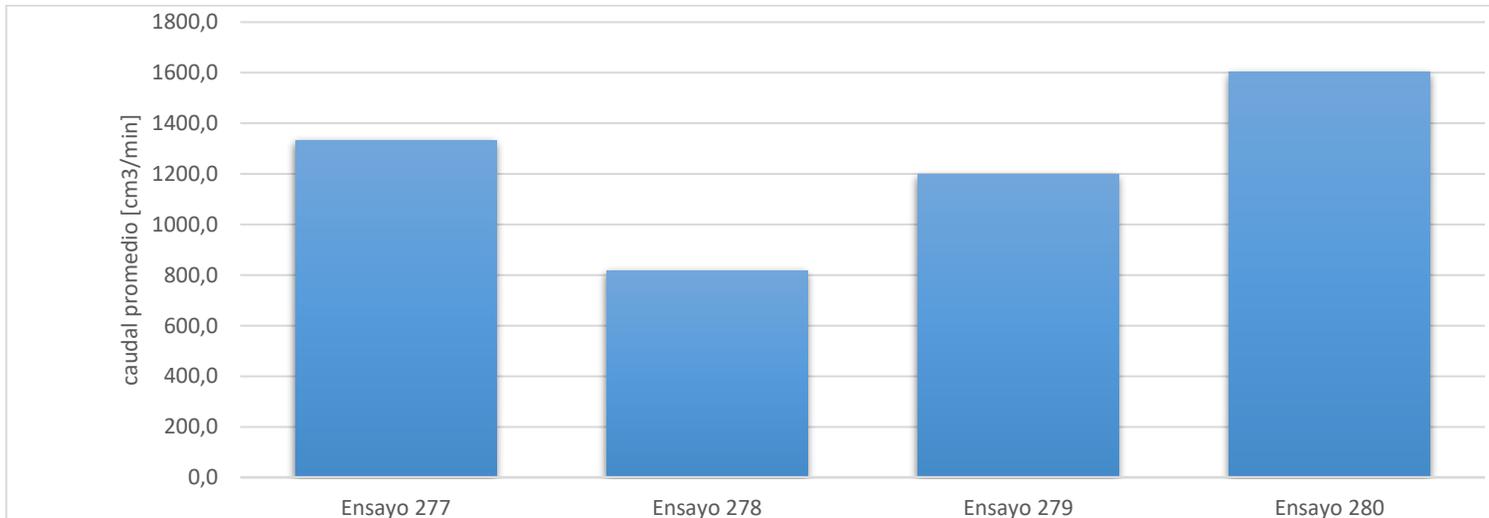
Ensayo 273		Ensayo 274		Ensayo 275		Ensayo 276	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1372,0		988,0		1062,0		1360,0	
1344,0		1000,0		1112,0		1344,0	
1368,0		1015,0		1093,0		1370,0	
1355,0		1004,0		1084,0		1350,0	
1337,0		1020,0		1077,0		1355,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1355,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1005,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1085,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1355,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	15,0	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	18,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,9



Grafica 69. Caudal promedio generado para la tabla 69.

Tabla 70. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

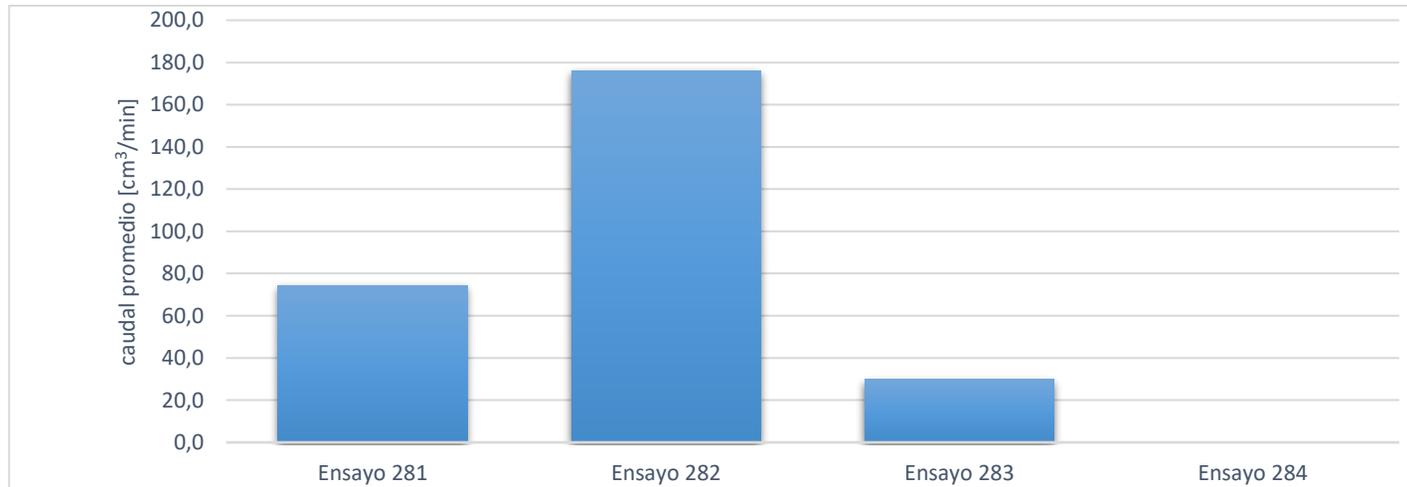
Ensayo 277		Ensayo 278		Ensayo 279		Ensayo 280	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7	L [mm]	162,7
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1338,0		828,0		1183,0		1604,0	
1340,0		800,0		1200,0		1592,0	
1328,0		815,0		1190,0		1618,0	
1325,0		818,0		1220,0		1610,0	
1335,0		831,0		1197,0		1600,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1333,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	818,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1198,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1604,8
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	6,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	13,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,9



Grafica 70. Caudal promedio generado para la tabla 70

Tabla 71. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

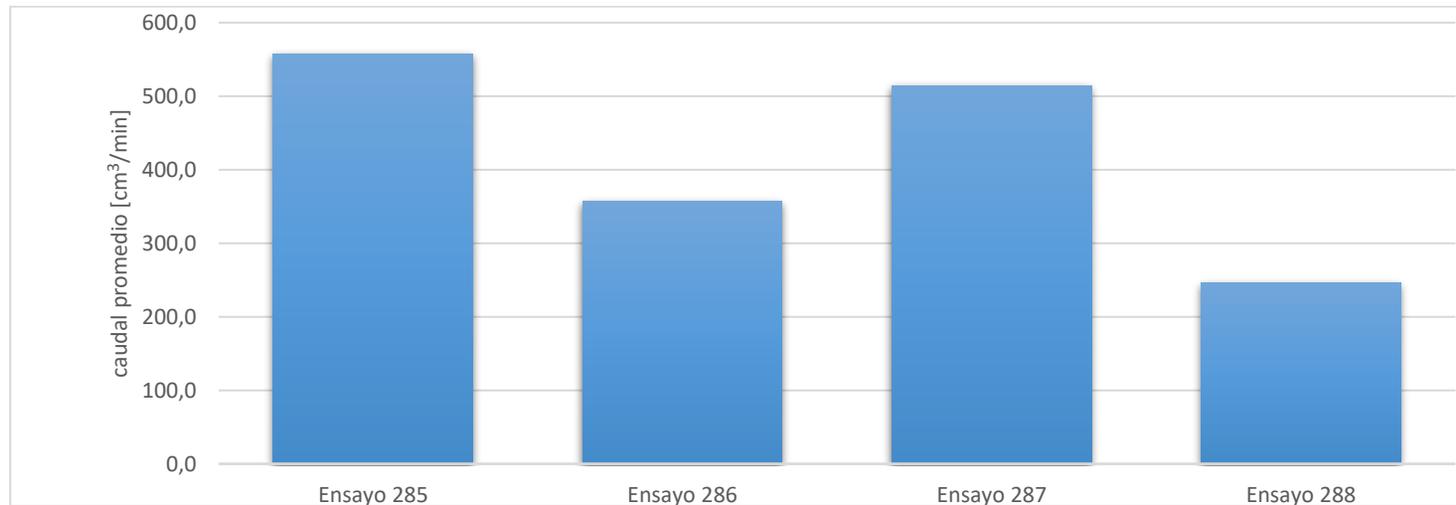
Ensayo 281		Ensayo 282		Ensayo 283		Ensayo 284	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8	m [kg]	1,8
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
92,0		172,0		36,0		0,0	
75,0		200,0		30,0		0,0	
54,0		153,0		23,0		0,0	
63,0		167,0		31,0		0,0	
87,0		189,0		29,0		0,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>74,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>176,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>29,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	0,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>15,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>18,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>4,7</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	0,0



Grafica 71. Caudal promedio generado para la tabla 71.

Tabla 72. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6kg

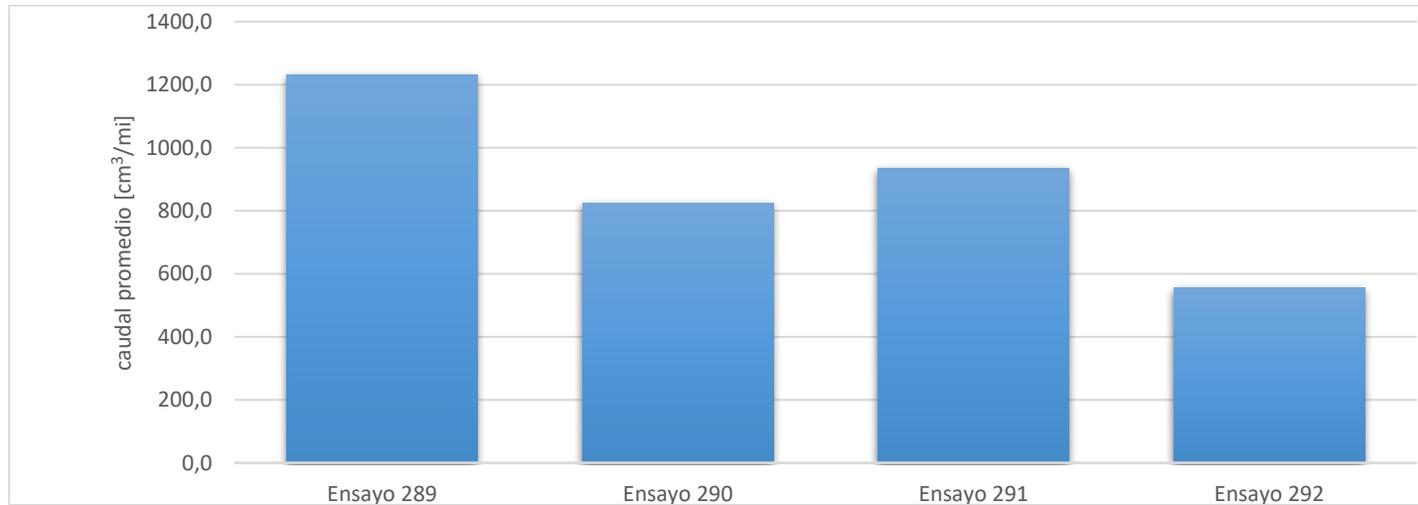
Ensayo 285		Ensayo 286		Ensayo 287		Ensayo 288	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
570,0		358,0		494,0		264,0	
543,0		339,0		528,0		254,0	
534,0		380,0		540,0		244,0	
565,0		368,0		511,0		240,0	
577,0		343,0		500,0		230,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	557,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	357,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>514,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>246,4</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	18,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>19,2</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,1</b>



Grafica 72. Caudal promedio generado para la tabla 72.

Tabla 73. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

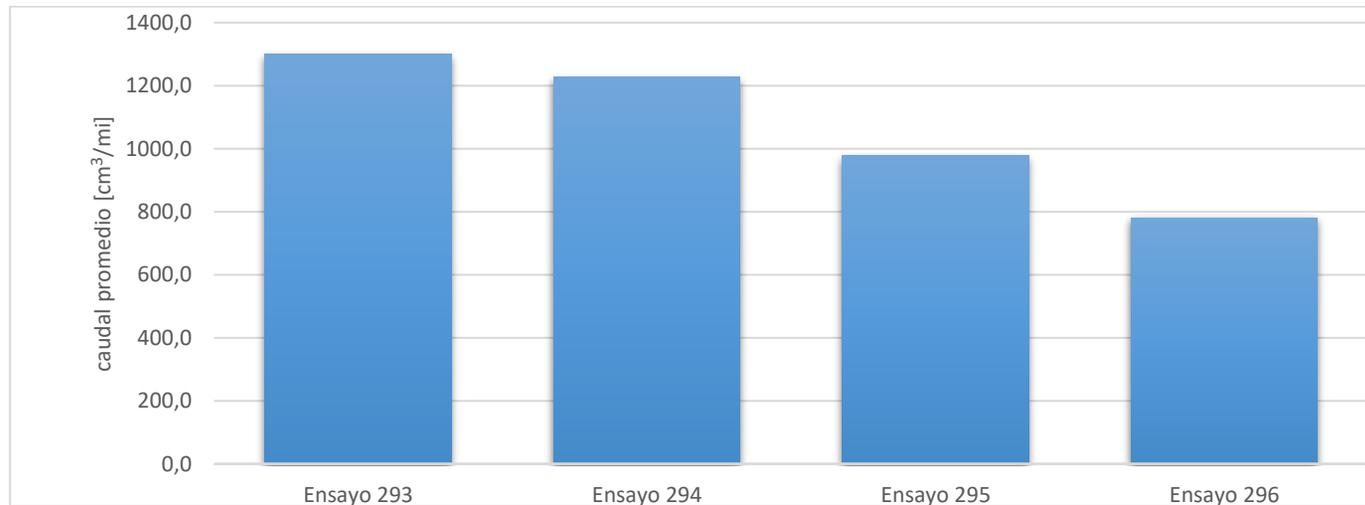
Ensayo 289		Ensayo 290		Ensayo 291		Ensayo 292	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1217,0		802,0		942,0		542,0	
1233,0		845,0		928,0		568,0	
1227,0		828,0		936,0		574,0	
1238,0		835,0		925,0		559,0	
1244,0		812,0		948,0		540,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1231,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	824,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	935,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>556,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,4	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>15,2</b>



Grafica 73. Caudal promedio generado para la tabla 73.

Tabla 74. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

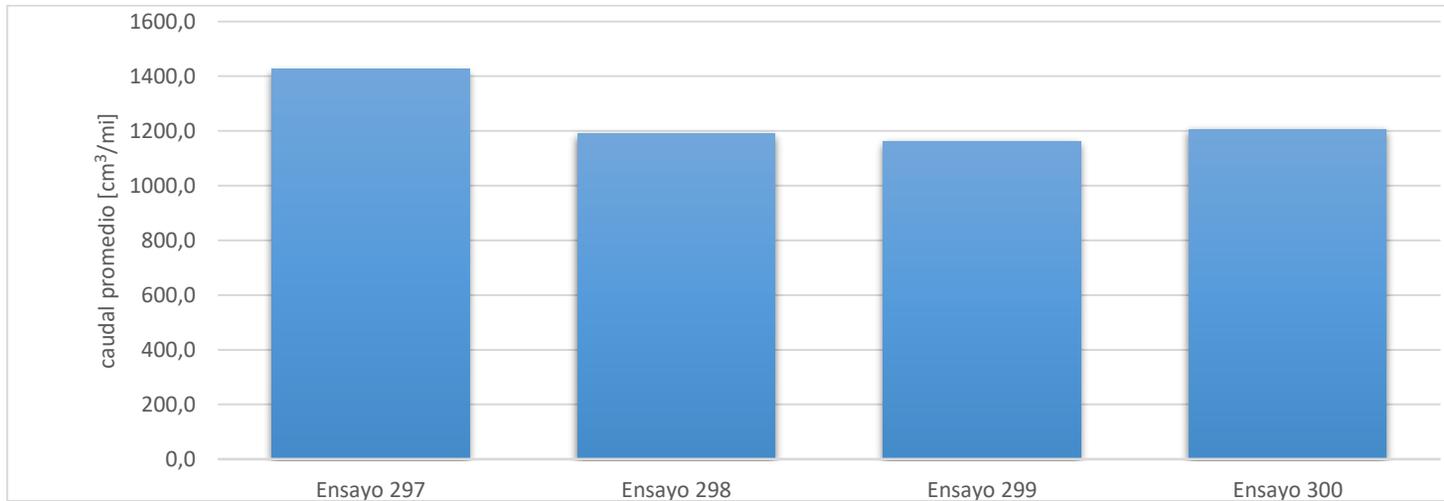
Ensayo 293		Ensayo 294		Ensayo 295		Ensayo 296	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1301,0		1201,0		962,0		780,0	
1320,0		1244,0		990,0		770,0	
1296,0		1220,0		980,0		784,0	
1285,0		1229,0		973,0		776,0	
1300,0		1237,0		985,0		790,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1300,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1226,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	978,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	780,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	12,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,9	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,6



Grafica 74. Caudal promedio generado para la tabla 74

Tabla 75. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

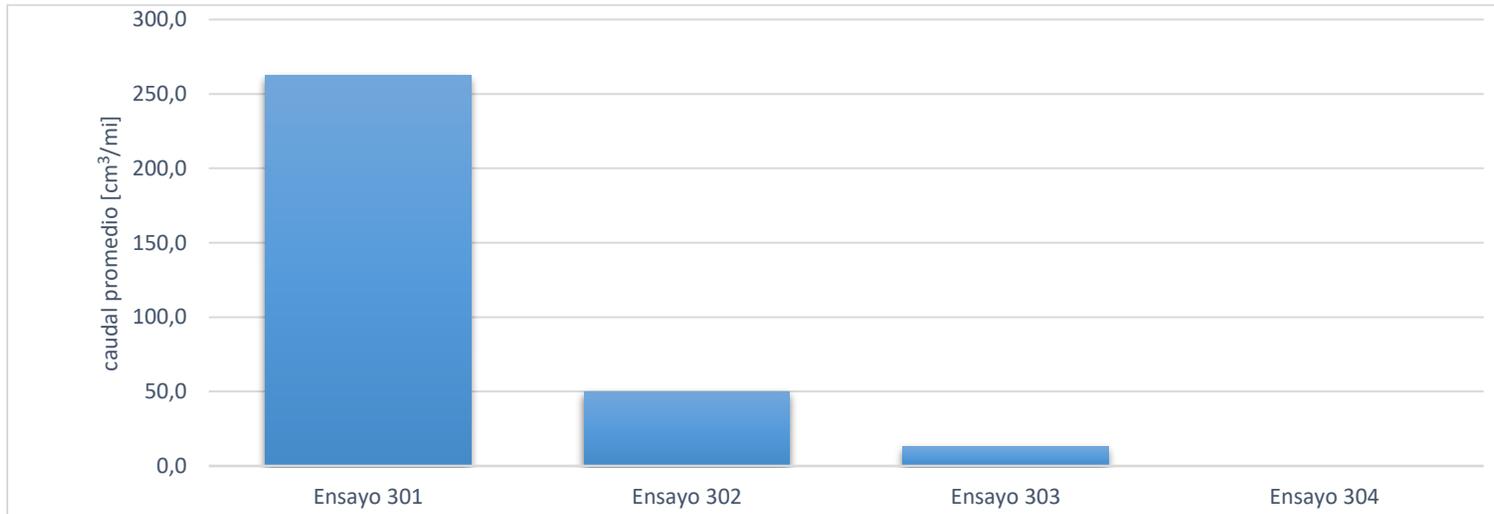
Ensayo 297		Ensayo 298		Ensayo 299		Ensayo 300	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4	L [mm]	205.4
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1444,0		1180,0		1152,0		1190,0	
1400,0		1200,0		1160,0		1204,0	
1420,0		1190,0		1190,0		1220,0	
1434,0		1185,0		1165,0		1200,0	
1429,0		1197,0		1143,0		1214,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1425,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1190,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1162,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>1205,6</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,6	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,3	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	17,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>11,8</b>



Grafica 75. Caudal promedio generado para la tabla 75.

Tabla 76. Caudal promedio con D variable con valor de m= 1,8 kg

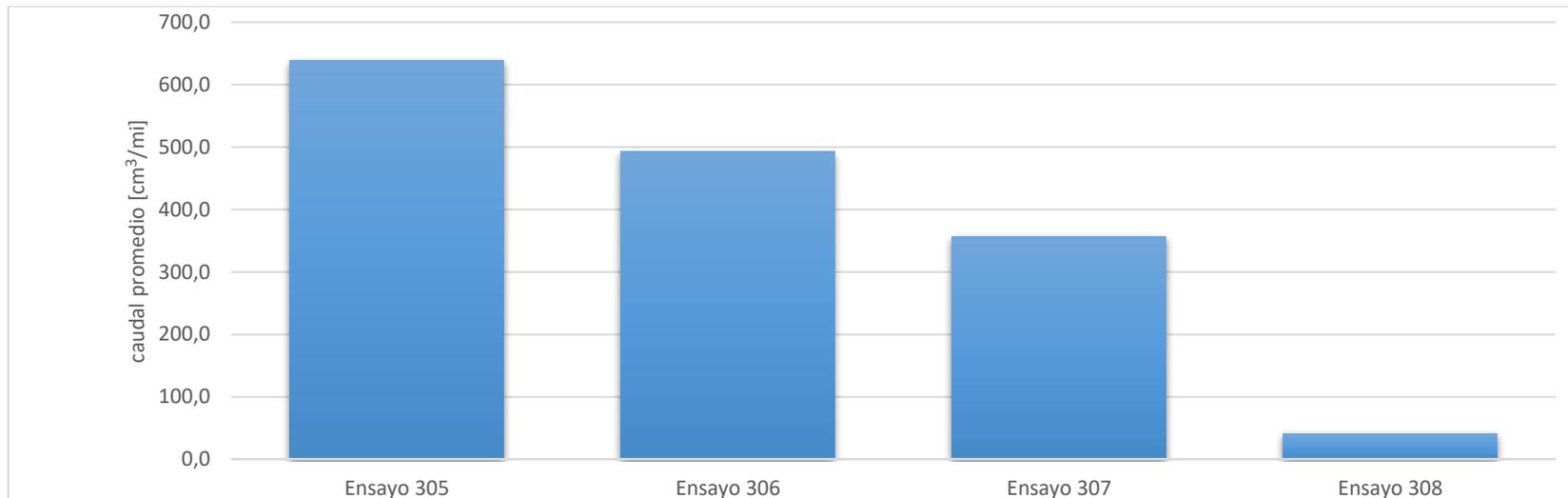
Ensayo 301		Ensayo 302		Ensayo 303		Ensayo 304	
tiempo de prueba [min]	1:00						
M [kg]	9,5						
L [mm]	248.1						
m [kg]	1,8						
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
266,0		52,0		14,0		0,0	
256,0		46,0		20,0		0,0	
250,0		60,0		9,0		0,0	
278,0		41,0		16,0		0,0	
261,0		49,0		5,0		0,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>262,2</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>49,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>12,8</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	0,0
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>10,6</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>7,1</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>5,9</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	0,0



Grafica 76. Caudal promedio generado para la tabla 76.

Tabla 77. Caudal promedio con D variable con valor de m= 3,6 kg

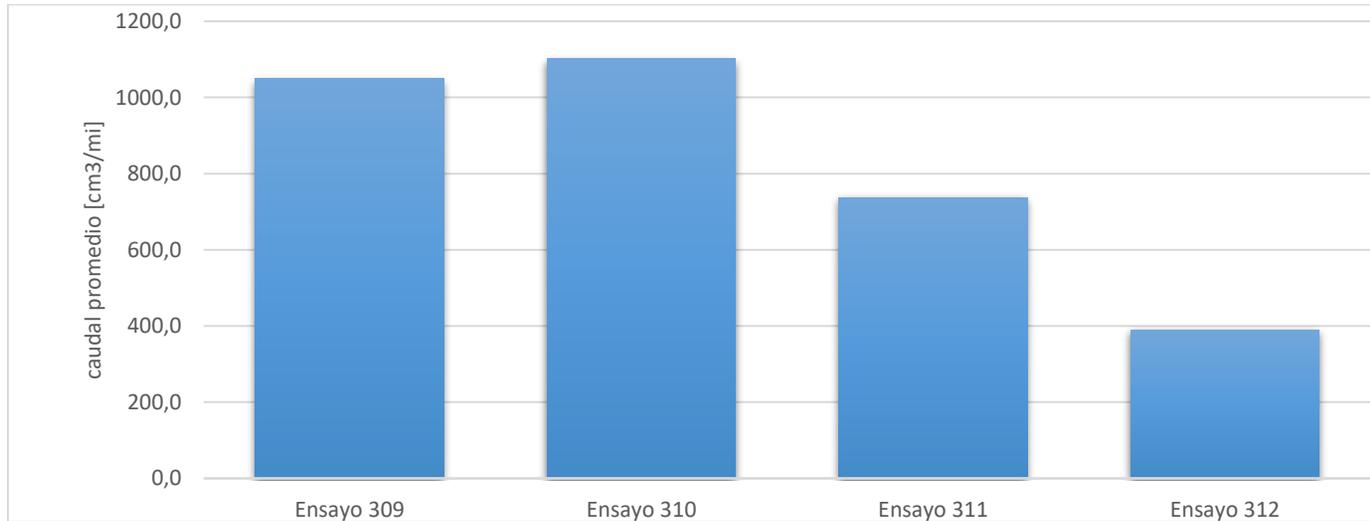
Ensayo 305		Ensayo 306		Ensayo 307		Ensayo 308	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6	m [kg]	3,6
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
646,0		496,0		364,0		38,0	
628,0		500,0		346,0		50,0	
632,0		491,0		353,0		16,0	
650,0		485,0		379,0		57,0	
639,0		490,0		340,0		43,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	639,0	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	492,4	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>356,4</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>40,8</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	5,8	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>15,5</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>15,6</b>



Grafica 77. Caudal promedio generado para la tabla 77.

Tabla 78. Caudal promedio con D variable con valor de m= 5,4 kg

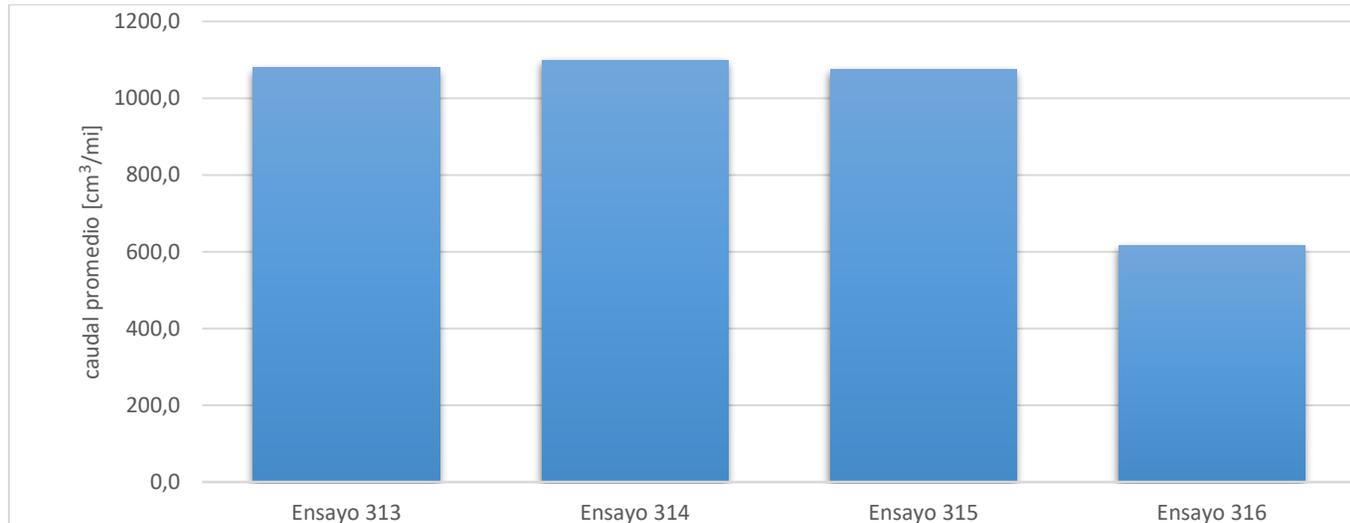
Ensayo 309		Ensayo 310		Ensayo 311		Ensayo 312	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4	m [kg]	5,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1042,0		1104,0		716,0		368,0	
1035,0		1107,0		750,0		394,0	
1066,0		1102,0		734,0		404,0	
1053,0		1100,0		729,0		387,0	
1050,0		1096,0		759,0		397,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1049,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1101,8	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>737,6</b>	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	<b>390,0</b>
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	11,7	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>17,1</b>	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	<b>13,7</b>



Grafica 78. Caudal promedio generado para la tabla 78.

Tabla 79. Caudal promedio con D variable con valor de m= 8,9 kg

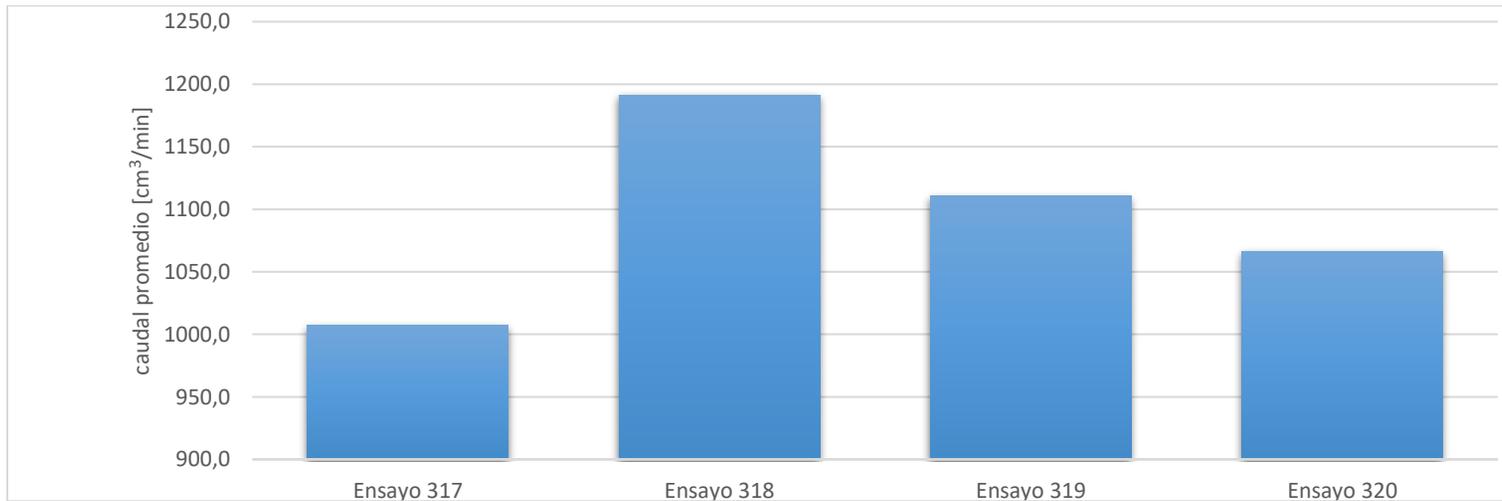
Ensayo 313		Ensayo 314		Ensayo 315		Ensayo 316	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9	m [kg]	8,9
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1084,0		1104,0		1060,0		634,0	
1080,0		1095,0		1094,0		600,0	
1069,0		1102,0		1083,0		612,0	
1090,0		1095,0		1071,0		627,0	
1075,0		1097,0		1063,0		605,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1079,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1098,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1074,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	615,6
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	8,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	4,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	14,5



Grafica 79. Caudal promedio generado para la tabla 79.

Tabla 80. Caudal promedio con D variable con valor de m= 12,4 kg

Ensayo 317		Ensayo 318		Ensayo 319		Ensayo 320	
tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00	tiempo de prueba [min]	1:00
M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5	M [kg]	9,5
L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1	L [mm]	248.1
m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4	m [kg]	12,4
<b>D [mm]</b>	<b>390</b>	<b>D [mm]</b>	<b>347,3</b>	<b>D [mm]</b>	<b>304,6</b>	<b>D [mm]</b>	<b>261,9</b>
caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]		caudal neto de agua [cm <sup>3</sup> /min]	
1010,0		1182,0		1104,0		1046,0	
1019,0		1200,0		1116,0		1086,0	
1000,0		1197,0		1123,0		1077,0	
994,0		1191,0		1100,0		1053,0	
1013,0		1186,0		1110,0		1070,0	
caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1007,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1191,2	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1110,6	caudal promedio [cm <sup>3</sup> /min]	1066,4
desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	10,1	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	7,5	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	9,2	desviación estándar [cm <sup>3</sup> /min]	16,6



Grafica 80. Caudal promedio generado para la tabla 80.

**6. A6 VALORES DE FUERZAS PARA LAS BOMBAS DIAFRAGMA CON CARGA Y EN VACÍO.**

bomba superior			
	fuerza con carga	fuerza en vacío	unid
1	2,690	2,495	kgf
2	2,385	2,515	kgf
3	2,585	2,380	kgf
4	2,520	2,515	kgf
5	2,825	2,440	kgf
promedio en carga		2,601	kgf
promedio en vacío		2,469	kgf

bomba inferior			
	fuerza con carga	fuerza en vacío	unid
1	2,945	2,230	kgf
2	2,615	2,090	kgf
3	2,875	2,105	kgf
4	2,615	2,365	kgf
5	2,735	2,170	kgf
promedio en carga		2,757	kgf
promedio en vacío		2,192	kgf

7. A7 TABLAS DE LA VENTAJA MECÁNICA DEL MECANISMO SEGÚN CONFIGURACIÓN

Para m = 12,4 kg y M = 9,5 kg				Para m = 8,9 kg y M = 9,5 kg				Para m = 5,4 kg y M = 9,5 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf	gravedad	g	9,81	N/kgf	gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	9,50	kg	masa de los contrapesos	M	9,50	kg	masa de los contrapesos	M	9,50	kg
masa del péndulo	m	12,40	kg	masa del péndulo	m	8,90	kg	masa del péndulo	m	5,40	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	121,64	N	FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	87,31	N	FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	52,97	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	93,20	N	FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	93,20	N	FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	93,20	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	0,77		ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	1,07		ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	1,76	

Para m = 3,6 kg y M = 9,5 kg				Para m = 1,8 kg y M = 9,5 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf	gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	9,50	kg	masa de los contrapesos	M	9,50	kg
masa del péndulo	m	3,60	kg	masa del péndulo	m	1,80	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	35,32	N	FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	17,66	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	93,20	N	FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	93,20	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	2,64		ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	5,28	

Para m = 12,4 kg y M = 7 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	7,00	kg
masa del péndulo	m	12,40	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	121,64	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	68,67	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	0,56	

Para m = 8,9 kg y M = 7 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	7,00	kg
masa del péndulo	m	8,90	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	87,31	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	68,67	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	0,79	

Para m = 5,4 kg y M = 7 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	7,00	kg
masa del péndulo	m	5,40	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	52,97	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	68,67	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	1,30	

Para m = 3,6 y M = 7 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	7,00	kg
masa del péndulo	m	3,60	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	35,32	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	68,67	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	1,94	

Para m = 1,8 kg y M = 7 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	7,00	kg
masa del péndulo	m	1,80	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	17,66	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	68,67	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	3,89	

Para $m = 12,4 \text{ kg}$ y $M = 4,6 \text{ kg}$			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	4,60	kg
masa del péndulo	m	12,40	kg
FUERZA DE ENTRADA	$F_{ent}$	121,64	N
FUERZA DE SALIDA	$F_{sal}$	45,13	N
ventaja mecánica	$V_m$	0,37	

Para $m = 8,9 \text{ kg}$ y $M = 4,6 \text{ kg}$			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	4,60	kg
masa del péndulo	m	8,90	kg
FUERZA DE ENTRADA	$F_{ent}$	87,31	N
FUERZA DE SALIDA	$F_{sal}$	45,13	N
ventaja mecánica	$V_m$	0,52	

Para $m = 5,4 \text{ kg}$ y $M = 4,6 \text{ kg}$			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	4,60	kg
masa del péndulo	m	5,40	kg
FUERZA DE ENTRADA	$F_{ent}$	52,97	N
FUERZA DE SALIDA	$F_{sal}$	45,13	N
ventaja mecánica	$V_m$	0,85	

Para $m = 3,6 \text{ kg}$ y $M = 4,6 \text{ kg}$			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	4,60	kg
masa del péndulo	m	3,60	kg
FUERZA DE ENTRADA	$F_{ent}$	35,32	N
FUERZA DE SALIDA	$F_{sal}$	45,13	N
ventaja mecánica	$V_m$	1,28	

Para $m = 1,8 \text{ kg}$ y $M = 4,6 \text{ kg}$			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	4,60	kg
masa del péndulo	m	1,80	kg
FUERZA DE ENTRADA	$F_{ent}$	17,66	N
FUERZA DE SALIDA	$F_{sal}$	45,13	N
ventaja mecánica	$V_m$	2,56	

Para m = 12,4 kg y M = 2,3 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	2,30	kg
masa del péndulo	m	12,40	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	121,64	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	22,56	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	0,19	

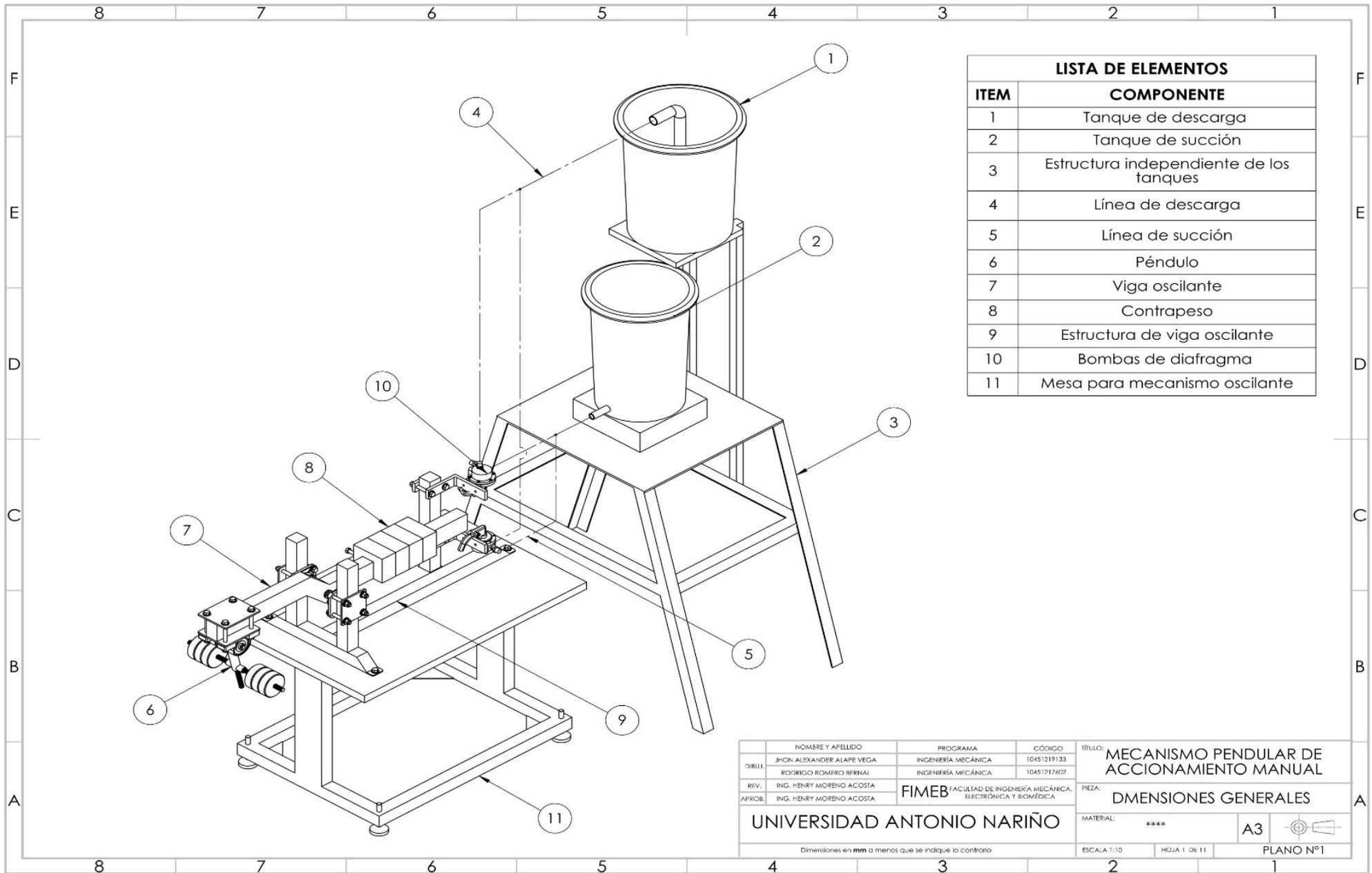
Para m = 8,9 kg y M = 2,3 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	2,30	kg
masa del péndulo	m	8,90	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	87,31	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	22,56	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	0,26	

Para m = 5,4 kg y M = 2,3 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	2,30	kg
masa del péndulo	m	5,40	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	52,97	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	22,56	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	0,43	

Para m = 3,6 kg y M = 2,3 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	2,30	kg
masa del péndulo	m	3,60	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	35,32	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	22,56	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	0,64	

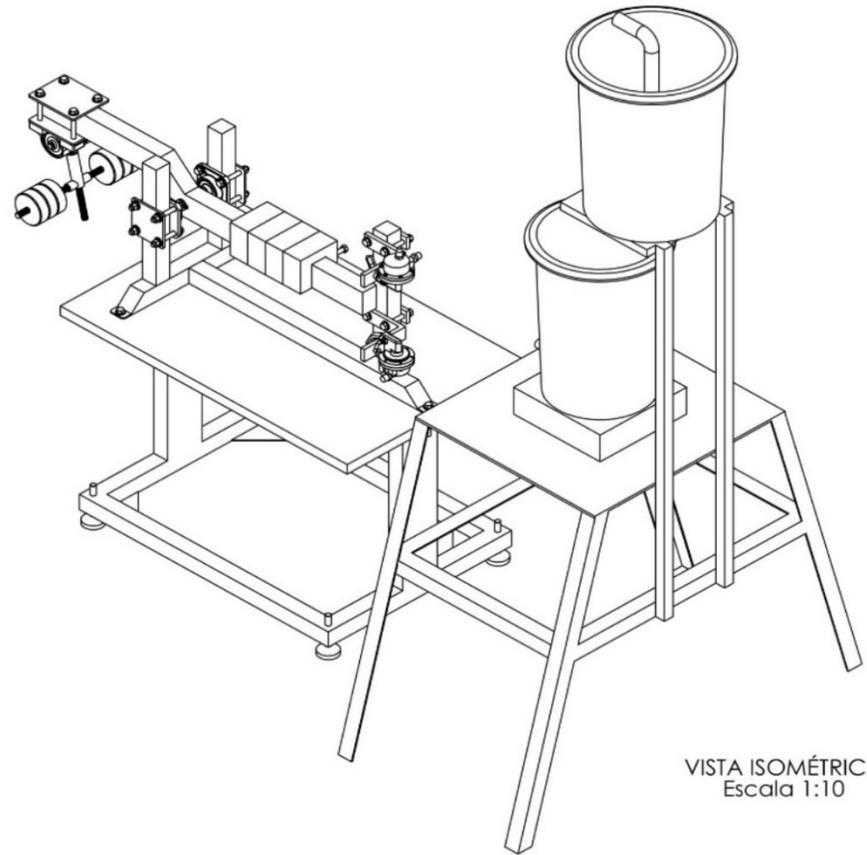
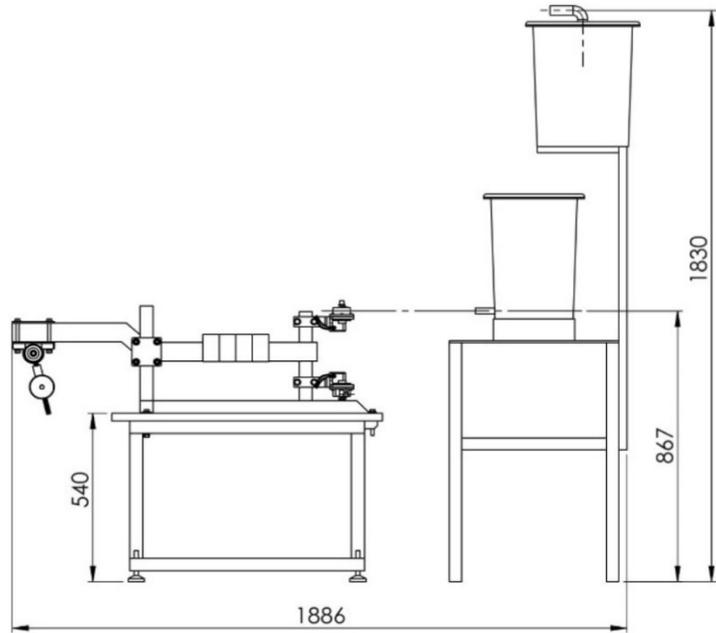
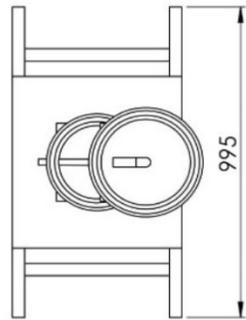
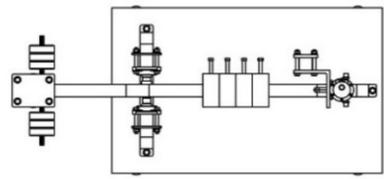
Para m = 1,8 kg y M = 2,3 kg			
gravedad	g	9,81	N/kgf
masa de los contrapesos	M	2,30	kg
masa del péndulo	m	1,80	kg
FUERZA DE ENTRADA	F <sub>ent</sub>	17,66	N
FUERZA DE SALIDA	F <sub>sal</sub>	22,56	N
ventaja mecánica	V <sub>m</sub>	1,28	

8. A8 PLANOS DEL MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL PARA UN SISTEMA DE BOMBEO DE 20 L/H DE AGUA.



LISTA DE ELEMENTOS	
ITEM	COMPONENTE
1	Tanque de descarga
2	Tanque de succión
3	Estructura independiente de los tanques
4	Línea de descarga
5	Línea de succión
6	Péndulo
7	Viga oscilante
8	Contrapeso
9	Estructura de viga oscilante
10	Bombas de diafragma
11	Mesa para mecanismo oscilante

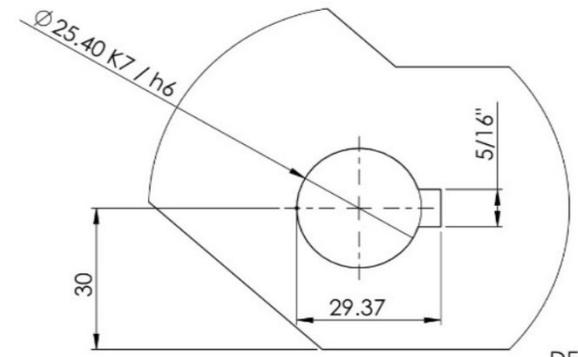
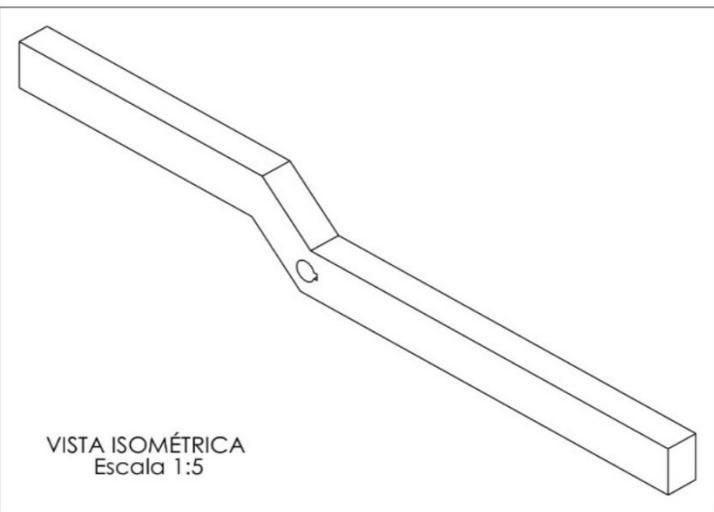
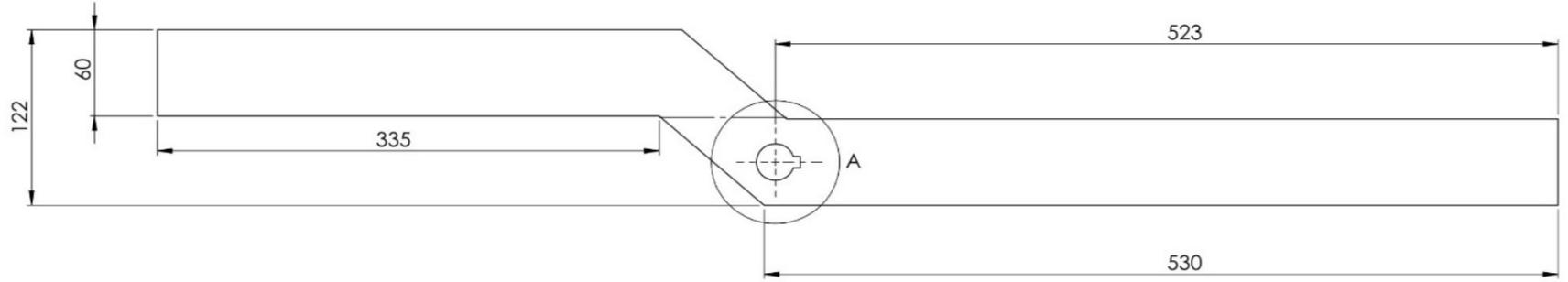
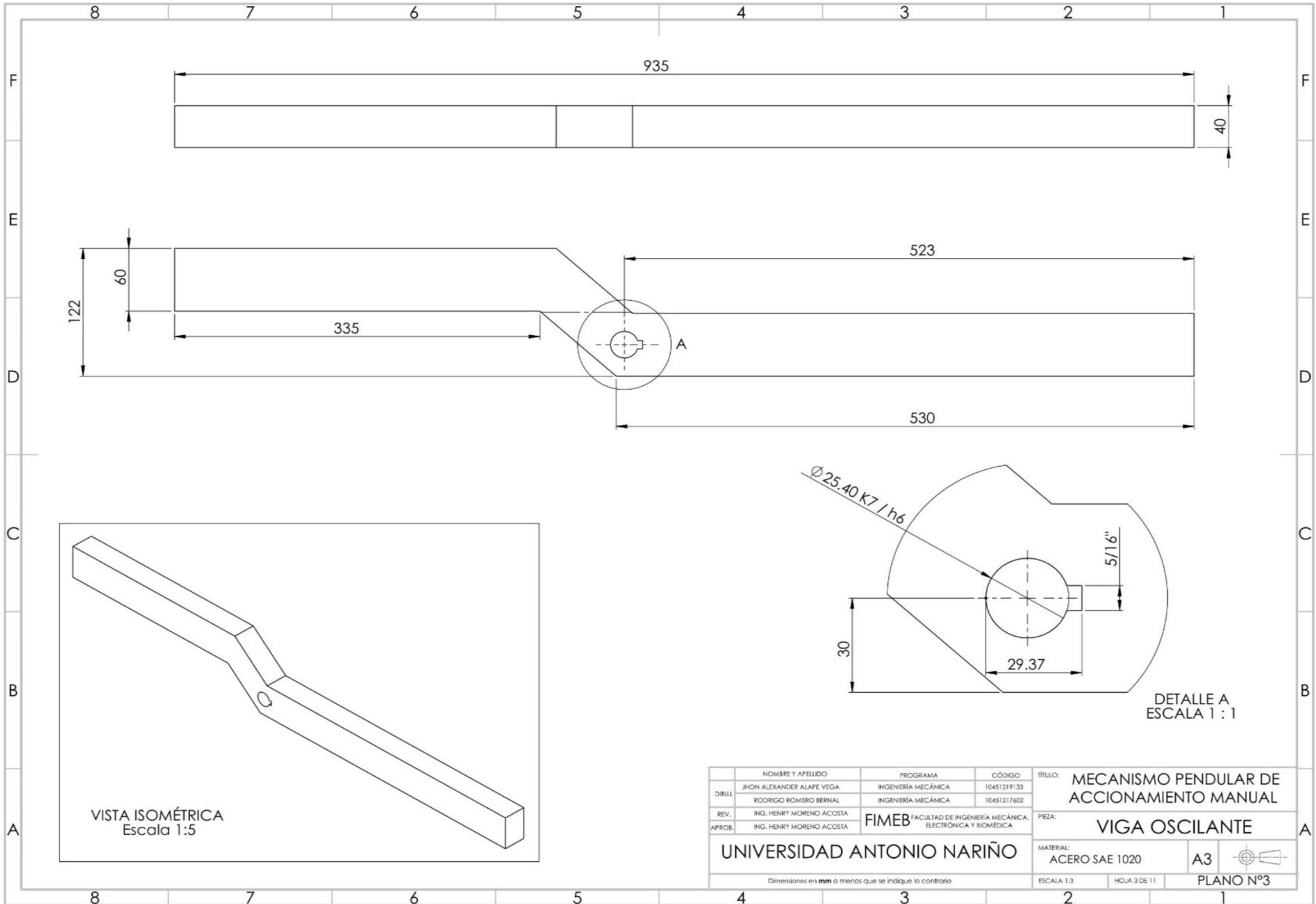
NOMBRE Y APELLIDO	PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:
DISEÑO: JHON ALEXANDER ALAPE VEGA	INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL
REV. RODRIGO ROMERO BERNAL	INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602	PIEZA: DIMENSIONES GENERALES
REV. ING. HENRY MORENO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		MATERIAL: ****
APROB. ING. HENRY MORENO ACOSTA	UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO		A3
Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario			ESCALA 1:10
			HOJA 1 DE 11
			PLANO Nº1



VISTA ISOMÉTRICA  
Escala 1:10

NOMBRE Y APELLIDO		PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:
DIBUJ. JHON ALEXANDER ALAPE VEGA		INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL
RODRIGO ROMERO BERNAL		INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602	
REV.	ING. HENRY MORENO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		PIEZA:
APROB.	ING. HENRY MORENO ACOSTA			DMENSIONES GENERALES
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO				MATERIAL: ****
Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario				ESCALA 1:15
				HOJA 2 DE 11
				PLANO Nº2



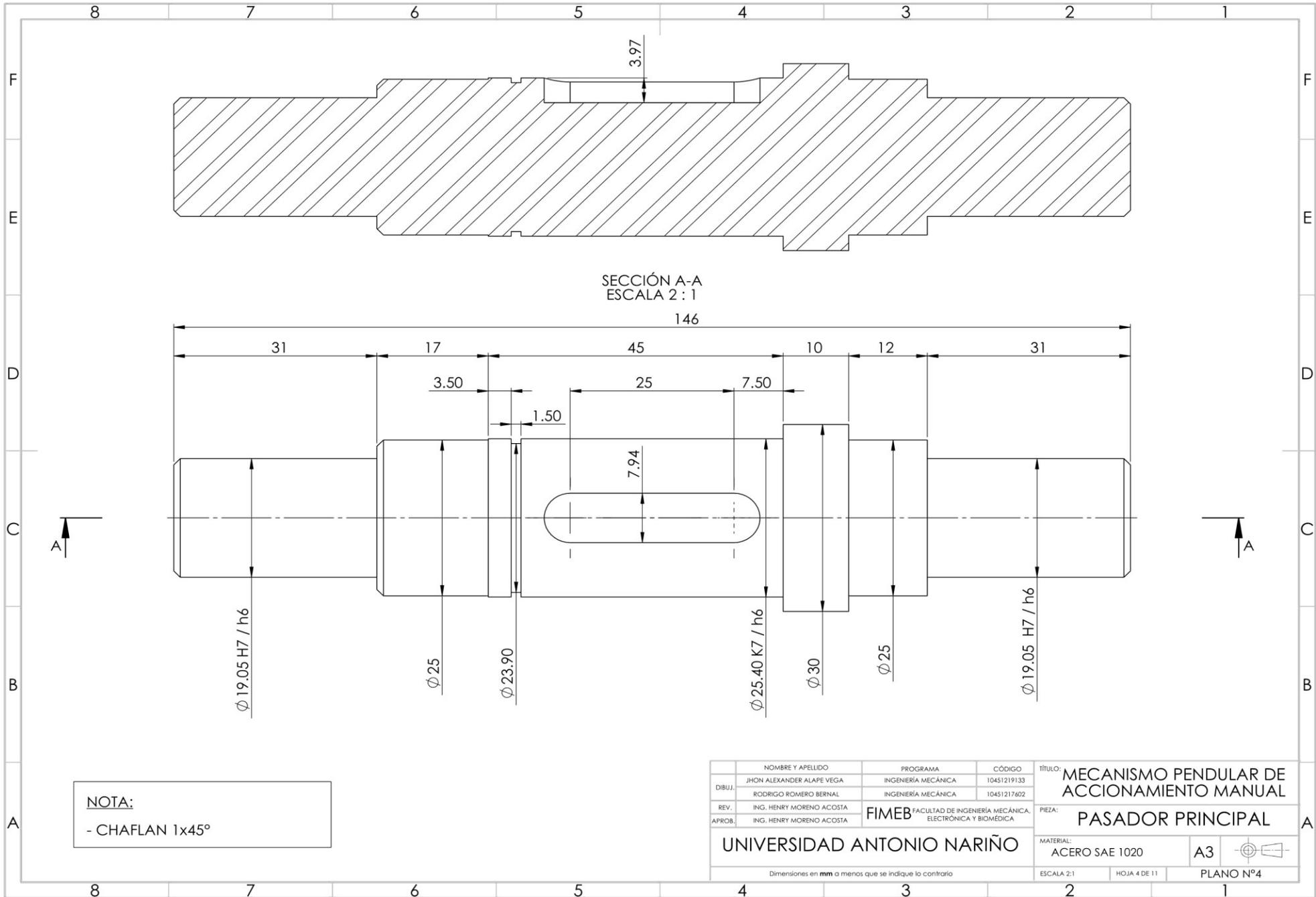


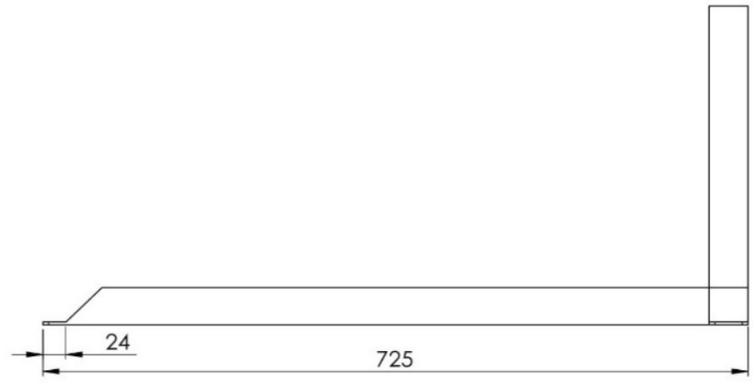
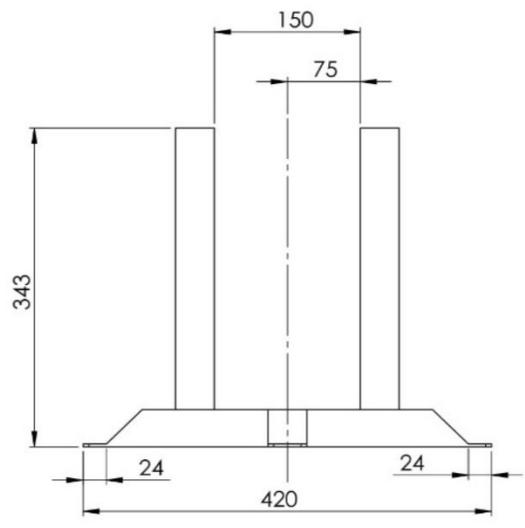
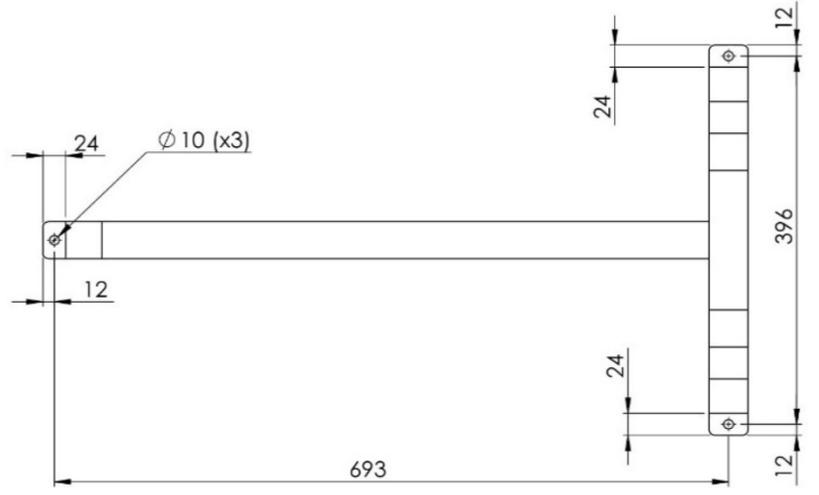
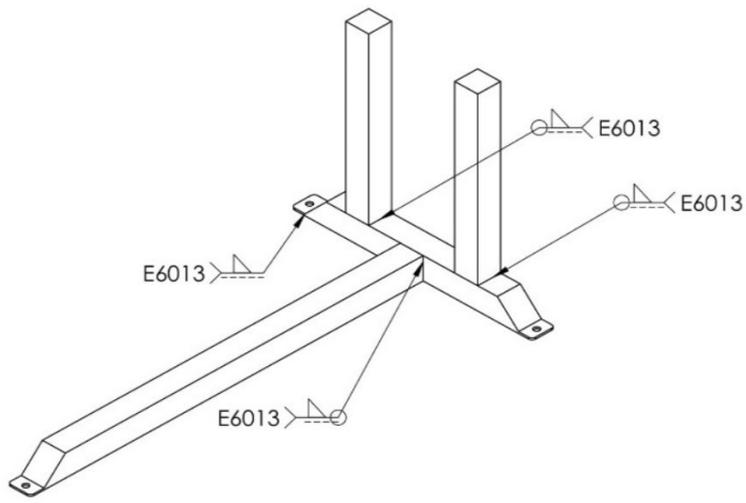
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

	NOMBRE Y APELLIDO	PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL
DIBUJ.	JHON ALEXANDER ALAPE VEGA	INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133	PIEZA:	VIGA OSCILANTE
REV.	RODRIGO ROMERO BERNAL	INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602	MATERIAL:	ACERO SAE 1020
APROB.	ING. HENRY MORENO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		ESCALA 1:3	HOJA 3 DE 11
	ING. HENRY MORENO ACOSTA			A3	PLANO N°3

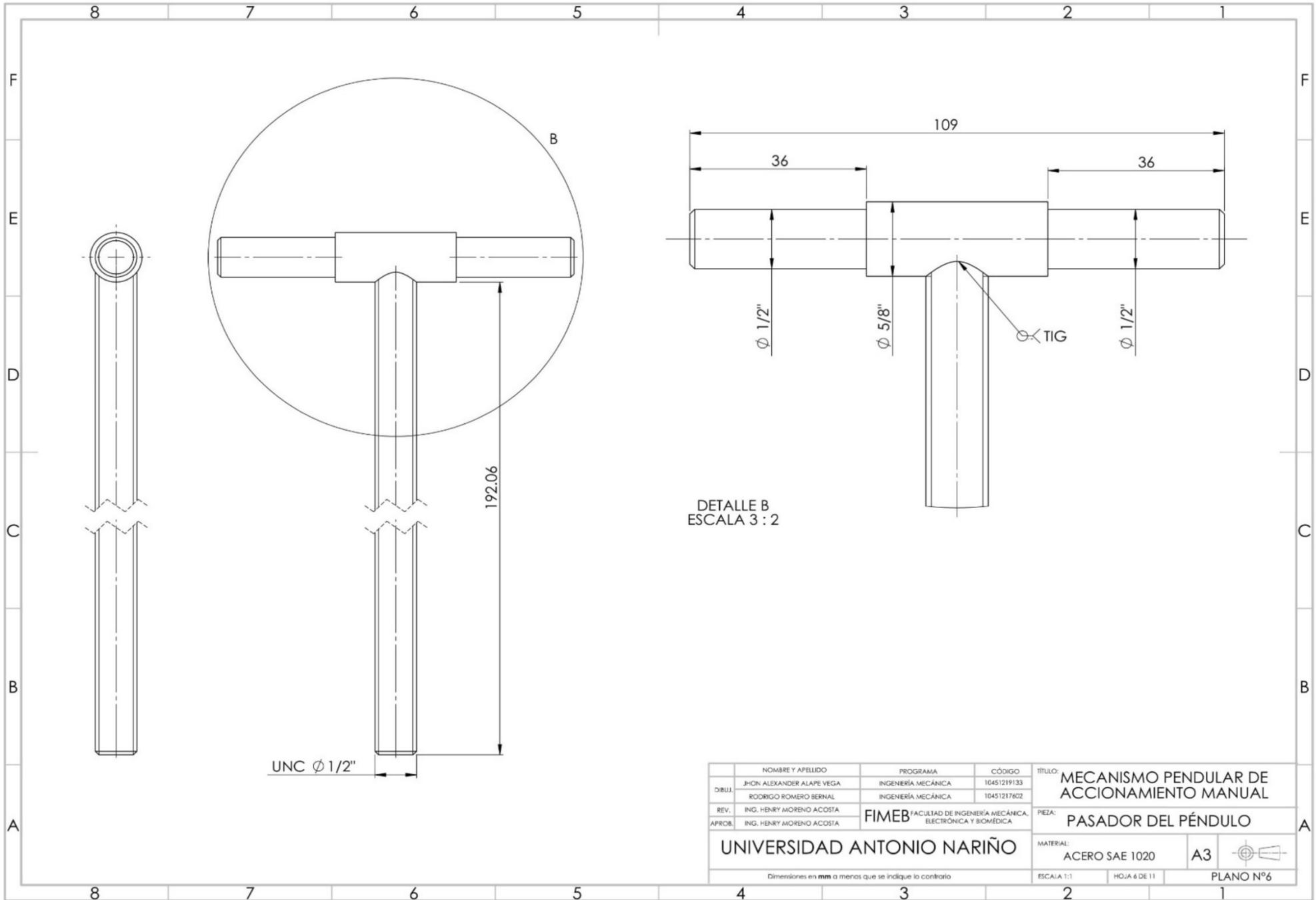
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario





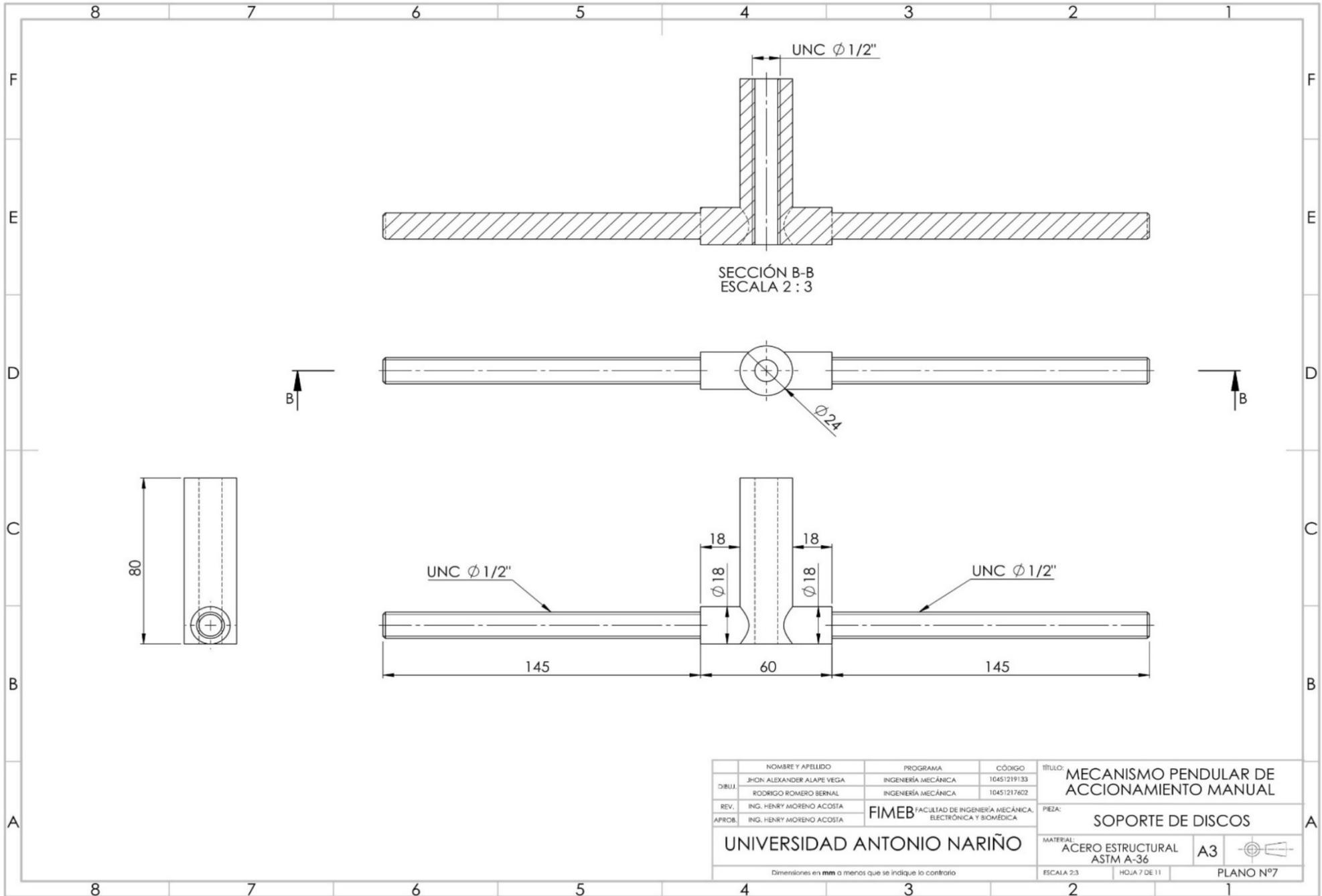
	NOMBRE Y APELLIDO	PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO: MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL
DIBUJ.	JHON ALEXANDER ALAPE VEGA	INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133	PREZA: ESTRUCTURA DE VIGA OSCILANTE
	RODRIGO ROMERO BERNAL	INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602	
REV.	ING. HENRY MORNO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		MATERIAL: TUBO CUADRADO ESTRUCTURAL 40mm x 40mm x 3mm
APROB.	ING. HENRY MORNO ACOSTA			
<b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>				A3
Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario				HOJA 5 DE 11
				PLANO N°5



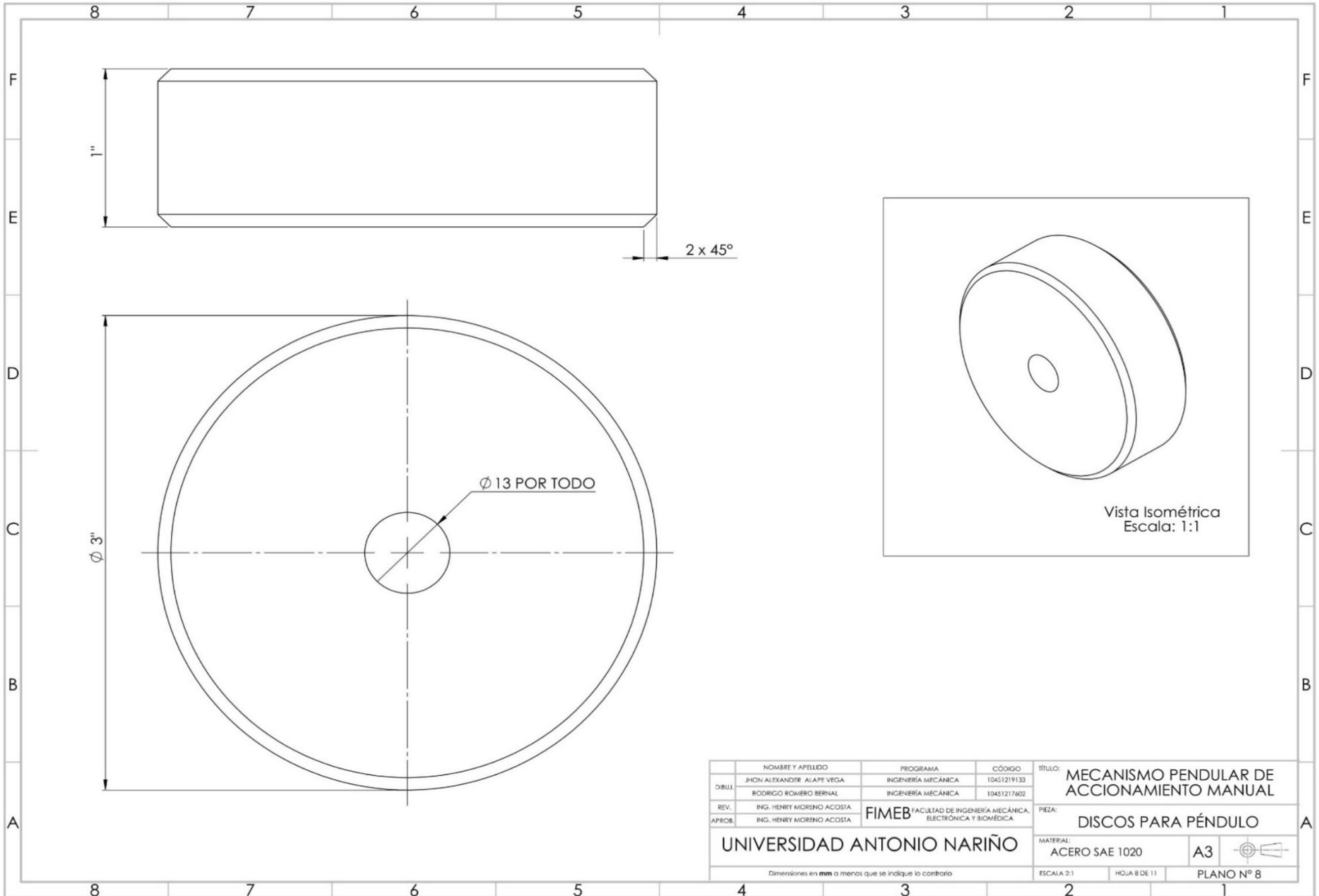
DETALLE B  
ESCALA 3 : 2

NOMBRE Y APELLIDO		PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:
DIBUJ. JHON ALEXANDER ALAPE VEGA		INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL
RODRIGO ROMERO BERNAL		INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602	
REV.	ING. HENRY MORENO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		PIEZA:
APROB.	ING. HENRY MORENO ACOSTA		PASADOR DEL PÉNDULO	
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO				MATERIAL:
				ACERO SAE 1020
Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario				ESCALA 1:1
				HOJA 6 DE 11
				PLANO N°6



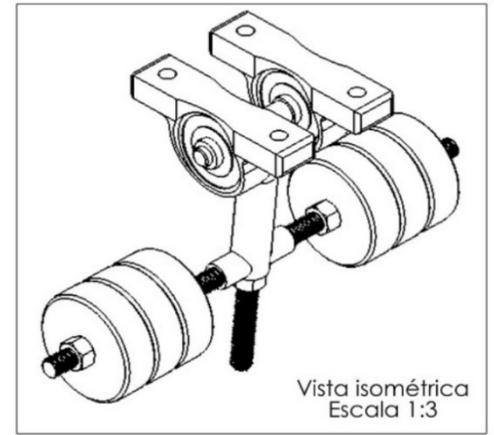
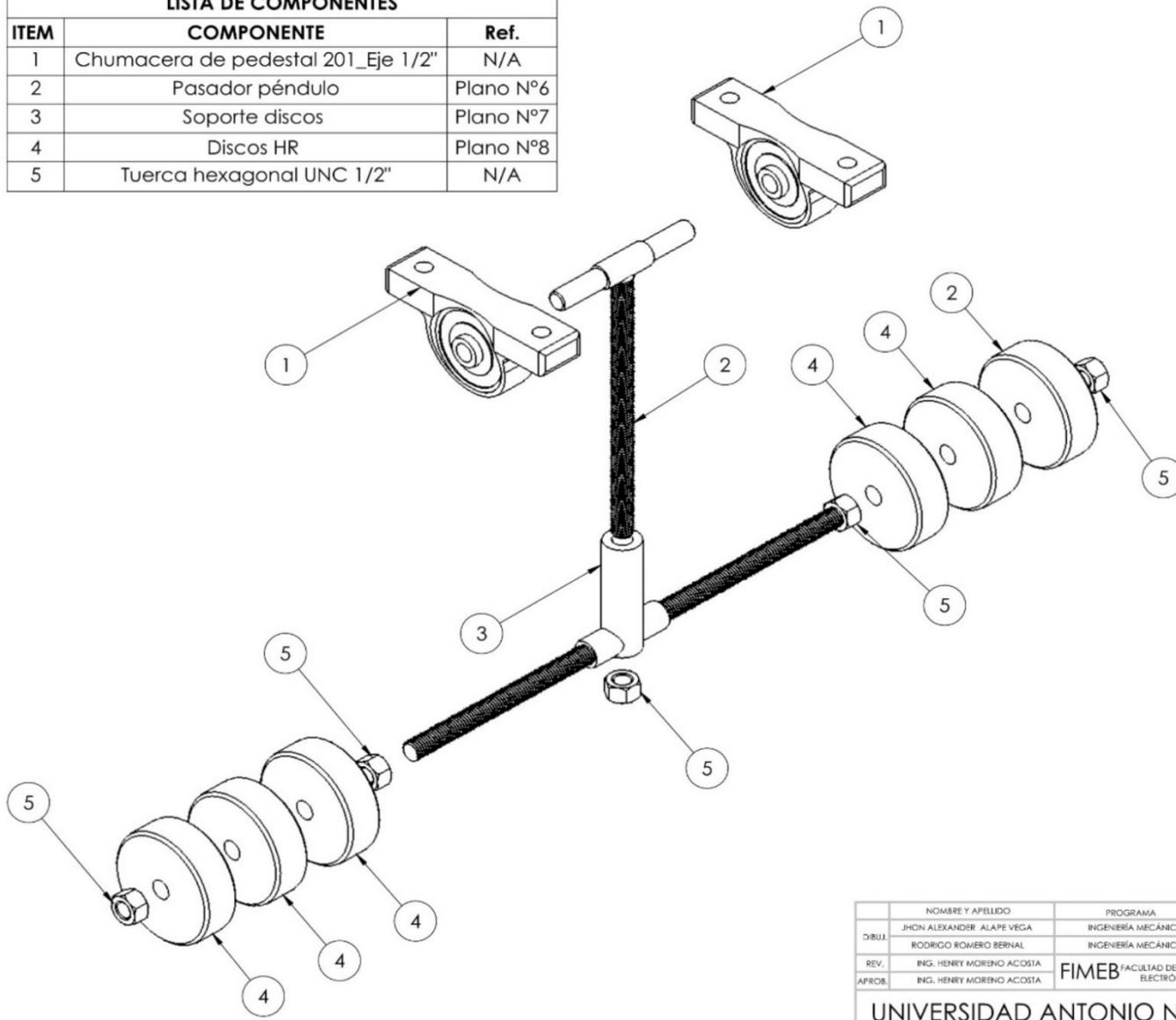


NOMBRE Y APELLIDO		PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL	
DIBUJ.: JHON ALEXANDER ALAPE VEGA		INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133			
RODRIGO ROMERO BERNAL		INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602			
REV. ING. HENRY MORENO ACOSTA		FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		PIEZA:	SOPORTE DE DISCOS	
APROB. ING. HENRY MORENO ACOSTA		UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO		MATERIAL:	ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36	A3
Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario				ESCALA 2:3	HOJA 7 DE 11	PLANO N°7

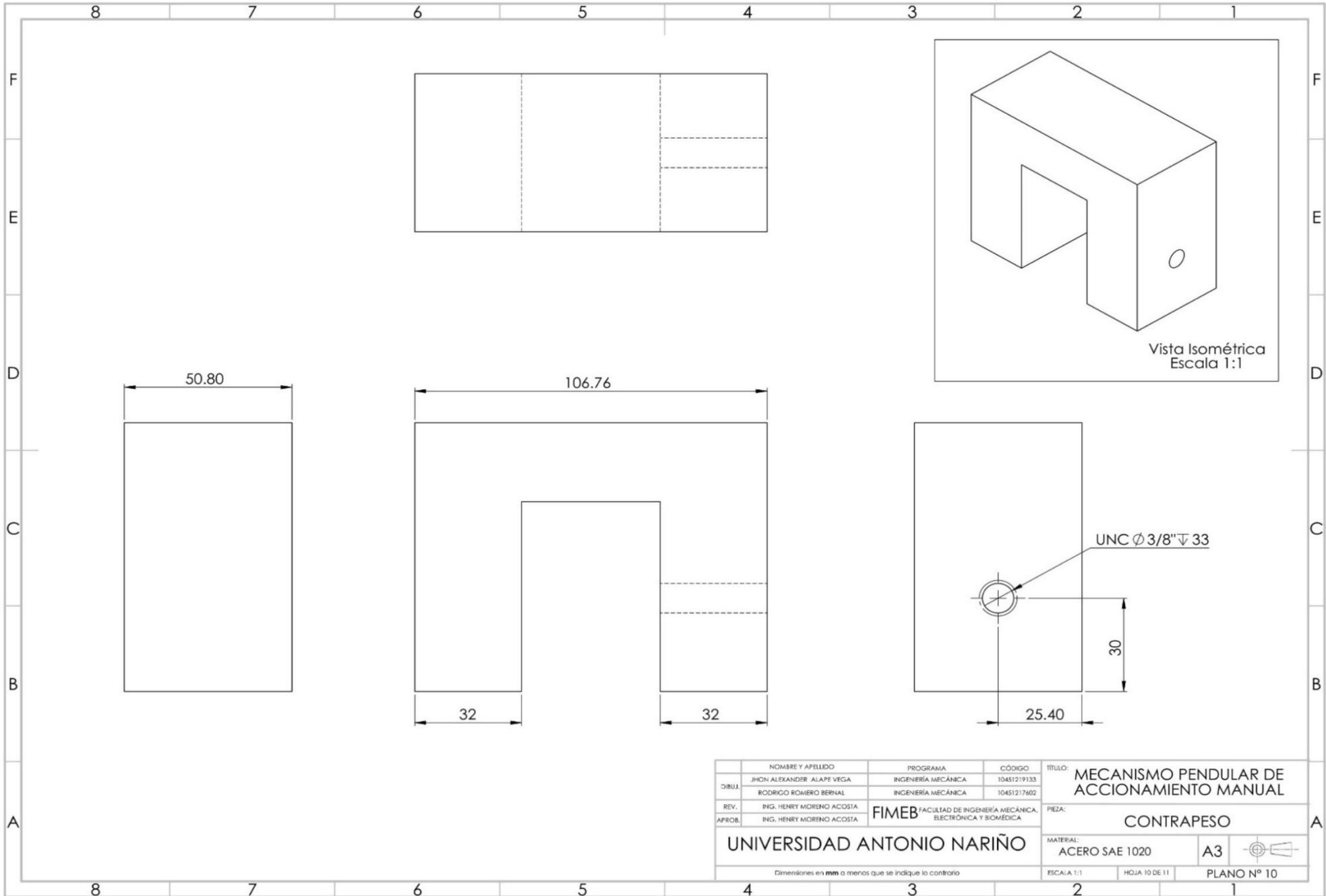


	NOMBRE Y APELLIDO	PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL
DIBUJ.	JHON ALEXANDER ALAPE VEGA	INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133		
	RODRIGO ROMERO BERNAL	INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602		
REV.	ING. HENRY MORENO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		PIEZA:	DISCOS PARA PÉNDULO
APROB.	ING. HENRY MORENO ACOSTA				
<b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>				MATERIAL:	ACERO SAE 1020
<small>Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario</small>				ESCALA 2:1	HOJA 8 DE 11
					PLANO N° 8

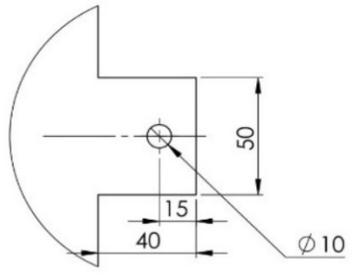
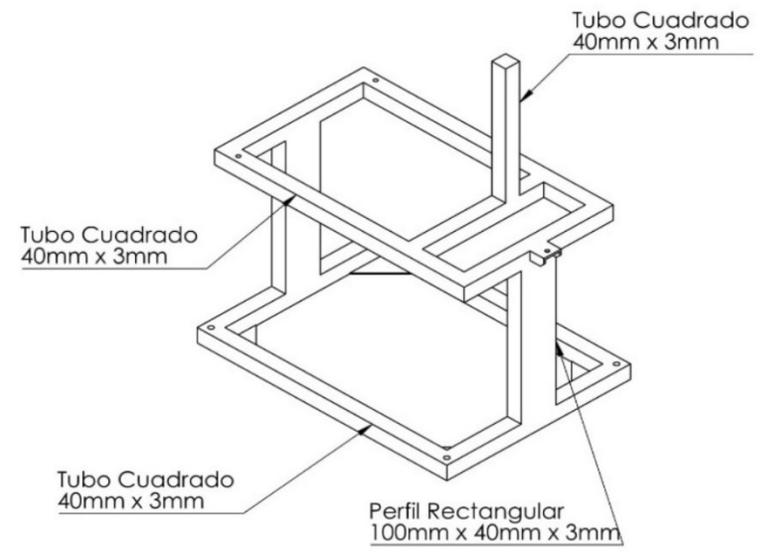
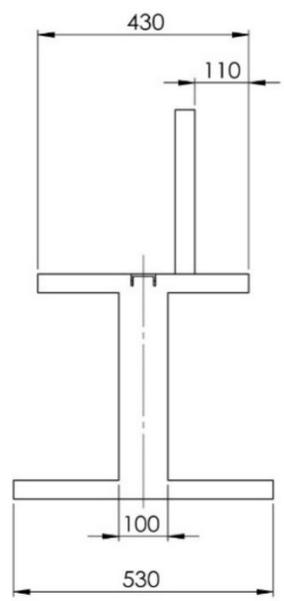
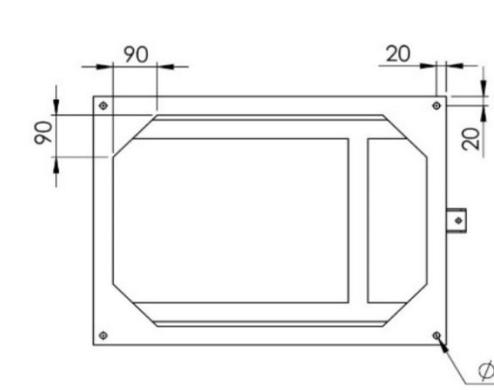
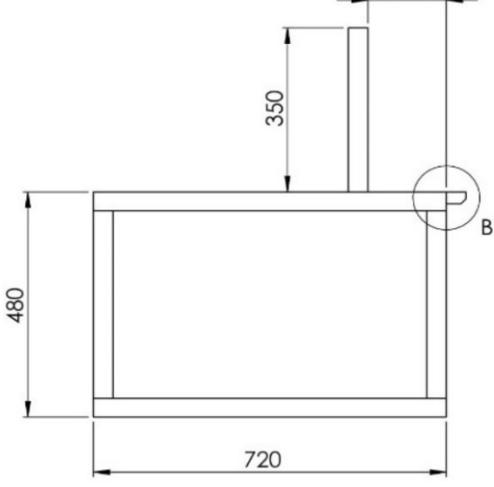
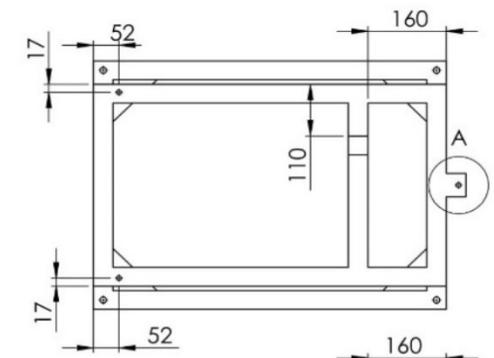
LISTA DE COMPONENTES		
ITEM	COMPONENTE	Ref.
1	Chumacera de pedestal 201_Eje 1/2"	N/A
2	Pasador péndulo	Plano N°6
3	Soporte discos	Plano N°7
4	Discos HR	Plano N°8
5	Tuerca hexagonal UNC 1/2"	N/A



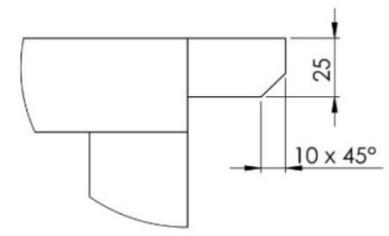
NOMBRE Y APELLIDO		PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:
JHON ALEXANDER ALAPE VEGA		INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL
DIBUJ.		RODRIGO ROMERO BERNAL	INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602
REV.		ING. HENRY MORENO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA	MONT. GENERAL DEL PÉNDULO
APROB.		ING. HENRY MORENO ACOSTA		MATERIAL: .....
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO				A3
Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario				ESCALA 2:5
				HOJA 9 DE 11
				PLANO N° 9



NOMBRE Y APELLIDO		PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL	
DIBUJ.	JHON ALEXANDER ALAPE VEGA	INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133			
	RODRIGO ROMERO BERNAL	INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602			
REV.	ING. HENRY MORENO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		PIEZA:	CONTRAPESO	
APROB.	ING. HENRY MORENO ACOSTA	UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO		MATERIAL:	ACERO SAE 1020	A3
Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario				ESCALA 1:1	HOJA 10 DE 11	PLANO N° 10



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

NOMBRE Y APELLIDO		PROGRAMA	CÓDIGO	TÍTULO:
DIBUJ.: JHON ALEXANDER ALAPE VEGA		INGENIERÍA MECÁNICA	10451219133	MECANISMO PENDULAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL
RODRIGO ROMERO BERNAL		INGENIERÍA MECÁNICA	10451217602	
REV.	ING. HENRY MORENO ACOSTA	FIMEB FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA		PIEZA:
APROB.	ING. HENRY MORENO ACOSTA			MESA DE SOPORTE
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO				MATERIAL:
Dimensiones en mm a menos que se indique lo contrario				ACERO ESTRUCTURAL ASTM A500
ESCALA 1:10		HOJA 11 DE 11	A3	PLANO N°11