



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA
DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS
VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL
RÍO CHONTA CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Claudia Fiorella Riojas Ortiz.

Asesor:

Ing. Luis Vásquez Ramírez

Cajamarca – Perú
2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Claudia Fiorella Riojas Ortiz**, denominada:

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA

M. CS. ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
ASESOR

DR. ING. ORLANDO AGUILAR ALIAGA
**JURADO
PRESIDENTE**

M. CS. ING. ROGER CERQUÍN QUISPE
JURADO

M. CS. ING. IRENE RAVINES AZAÑERO
JURADO

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este trabajo de investigación a mi creador, Dios todopoderoso, dueño y señor de todo lo que hago y soy.

En segundo lugar, a mis padres Daniel Riojas Segobia y Jessica Ortiz Ruiz, y hermanos, que con sus consejos y esfuerzo desmedido han sido un apoyo y ejemplo fundamental a lo largo de toda mi vida, enseñándome principios y valores que una persona íntegra debe seguir para ser de beneficio a la sociedad.

Finalmente, a mis familiares y amigos, que me han ayudado y alentado a lo largo de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por rodearme de personas que supieron guiarme y alentarme a lo largo de este trabajo de investigación y a los docentes de la facultad de Ingeniería, que fueron parte de mi formación profesional y académica, en especial al Ing. Luis Vásquez Ramírez, asesor de esta tesis, al Tec. Víctor Cuzco Minchán, responsable del laboratorio de Hidráulica y del gabinete de topografía y al Dr. Orlando Aguilar Aliaga, director de la carrera de Ingeniería Civil.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Realidad problemática	18
1.2. Formulación del problema.....	20
1.3. Justificación	20
1.4. Limitaciones.....	21
1.5. Delimitaciones	21
1.6. Objetivos.....	21
1.6.1. <i>Objetivo General</i>	21
1.6.2. <i>Objetivos Específicos</i>	21
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.2. Bases Teóricas	25
2.2.1. <i>Medición de Caudales</i>	25
2.2.2. <i>Instrumentos de la medición de caudales</i>	26
2.2.2.1. <i>Vertederos</i>	27

2.2.3.	<i>Descarga de un vertedero</i>	29
2.2.3.1.	<i>Correntómetros (Molinetes)</i>	45
2.2.3.2.	<i>Otros métodos (Métodos Indirectos)</i>	53
	<i>Definición de términos básicos</i>	55
	<i>Carga Hidráulica o Tirante (H)</i>	55
	<i>Coeficiente de descarga (C)</i>	55
	<i>Aforo</i>	55
	<i>Caudal</i>	56
	<i>Hidrometría</i>	56
	<i>Perfil de Creager</i>	56
	<i>Vertedero</i>	56
	<i>Vertedero de canal lateral</i>	56
	<i>Vertedero de cresta ancha</i>	56
	<i>USBR</i>	57
2.3.	<i>Hipótesis</i>	58
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA		58
3.1.	<i>Operacionalización de variables</i>	58
3.1.1.	<i>Variables independientes</i>	58
3.1.2.	<i>Variables dependientes</i>	59
3.2.	<i>Diseño de investigación</i>	59
3.3.	<i>Unidad de estudio</i>	59
3.4.	<i>Población</i>	60
3.5.	<i>Muestra</i>	60
3.6.	<i>Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos</i>	60
3.6.1.	<i>Procedimiento de recolección de datos</i>	61

3.7.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	104
3.7.1.	<i>Procedimiento de análisis de datos</i>	105
3.7.1.1.	<i>Elección de Vertederos a analizar</i>	105
3.7.1.2.	<i>Forma de cresta</i>	106
3.7.1.3.	<i>Pendiente aguas arriba de cada vertedero</i>	107
3.7.1.4.	<i>Caudal</i>	108
3.7.1.5.	<i>Compatibilización:</i>	120
CAPÍTULO 4.	RESULTADOS	121
4.1.	COEFICIENTE DE DESCARGA	121
4.1.1.	<i>Bases Teóricas – Fórmula de Francis</i>	121
4.1.2.	<i>Modelamiento Físico de las estructuras</i>	121
4.1.2.1.	<i>Vertedero Tartar</i>	122
4.1.2.2.	<i>Vertedero Salto Sky</i>	125
4.1.3.	<i>Calibración final modelo – prototipo</i>	128
4.1.3.1.	<i>Coefficiente de descarga en el Modelo</i>	128
4.1.3.2.	<i>Coefficiente de descarga en el Prototipo</i>	128
4.1.3.3.	<i>Calibración final</i>	129
CAPÍTULO 5.	DISCUSIÓN	130
5.1.	Coefficiente de descarga	130
5.2.	Comparación del Caudal experimental vs. Caudal Teórico	131
5.2.1.	<i>Vertedero Tartar</i>	131
5.2.2.	<i>Vertedero Salto Sky</i>	132
CONCLUSIONES		133
RECOMENDACIONES		134
REFERENCIAS		135
ANEXOS		139

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Para vertederos de pared gruesa con descarga ahogada (ϵ_2)</i>	35
<i>Tabla 2. Radios y diámetros para el diseño del vertedero WES</i>	40
<i>Tabla 3. Constantes k y n para diferentes pendientes del paramento</i>	41
<i>Tabla 4. Relación entre el ancho superficial y la separación entre puntos</i>	49
<i>Tabla 5. Variable independiente 1, niveles y tratamientos en estudio</i>	58
<i>Tabla 6. Variable independiente 2, niveles y tratamientos en estudio</i>	58
<i>Tabla 7. Operacionalización de variable dependiente 1</i>	59
<i>Tabla 8. Operacionalización de variable dependiente 2</i>	59
<i>Tabla 9. Recolección de Datos de las variables en estudio</i>	60
<i>Tabla 10. Características del Vertedero 1</i>	61
<i>Tabla 11. Características del vertedero 2</i>	62
<i>Tabla 12. Características del vertedero 3</i>	63
<i>Tabla 13. Características del vertedero 4</i>	64
<i>Tabla 14. Características del vertedero 5</i>	65
<i>Tabla 15. Características del vertedero 6</i>	66
<i>Tabla 16. Características del vertedero 7</i>	66
<i>Tabla 17. Distancia desde Cajamarca</i>	70
<i>Tabla 18. Distancia desde Cajamarca</i>	71
<i>Tabla 19. Distancia desde Cajamarca</i>	72
<i>Tabla 20. Distancia desde Cajamarca</i>	73
<i>Tabla 21. Modo sin prisma (sin reflector)</i>	75
<i>Tabla 22. Características de Porta prisma</i>	76
<i>Tabla 23. Cuadro de Estaciones (Datum – WGS 84)</i>	80
<i>Tabla 24. Descripción general de los tipos de puntos tomados en el vertedero 3 y 7</i>	89

<i>Tabla 25. Datos técnicos del correntómetro.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 26. Análisis de datos de las variables en estudio</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 27. Tipo de vertederos en el río Chonta, tramo Otuzco – Baños del Inca.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 28. Vertederos Seleccionados</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 29. Nivelación geométrica múltiple – Vertedero Tartar grande.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 30. Cálculo del caudal mediante correntómetro - aforo 1- Tartar.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 31. Nivelación geométrica múltiple – Vertedero Tartar grande 2</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 32. Cálculo del caudal mediante correntómetro - aforo 2 – Tartar.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 33. Nivelación geométrica múltiple – Vertedero Salto Sky</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 34. Cálculo del caudal mediante correntómetro – aforo 3 – Salto Sky.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 35. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Tartar - Observación (1 - 6).....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 36. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Tartar - Observación (7-14).....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 37. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Tartar - Observación (15-20).....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 38. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Salto Sky - Observación (1 - 7).....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 39. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Salto Sky - Observación (8 - 15).....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 40. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Salto Sky - Observación (16-20).....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 41. Escalas de traslación modelo prototipo y viceversa</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 42. Resultados obtenidos en el Modelo (Tartar).....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 43. Coeficiente de descarga en el Prototipo (Tartar)</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 44. P/H vs. Coeficiente de descarga (Tartar)</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 45. Resultados obtenidos en el Modelo (Salto Sky)</i>	<i>125</i>

<i>Tabla 46. Coeficiente de descarga en el Prototipo (Salto Sky).....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 47. P/H vs. Coeficiente de descarga (Salto Sky).....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 48. Coeficiente de descarga según Modelo (Tartar).....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 49. Coeficiente de descarga según Modelo (Salto Sky)</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 50. Coeficiente de descarga en el prototipo (Tartar).....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 51. Coeficiente de descarga en el prototipo (Salto Sky).....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 52. Coeficiente de descarga Modelo vs. Prototipo (Tartar).....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 53. Coeficiente de descarga Modelo vs. Prototipo (Salto Sky)</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 54. Caudal experimental vs. Caudal teórico (Tartar)</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 55. Caudal experimental vs. Caudal teórico (Salto Sky).....</i>	<i>132</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Distribución espacial de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en Cajamarca y en cuencas vecinas.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2. De izquierda a derecha, vertedero de pared delgada, de pared gruesa y vertedero de pared gruesa tipo cimacio (aliviadero).....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. Comparación de coeficientes de descarga Teóricos vs. Experimentales de acuerdo a los caudales para un aliviadero en descarga libre.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4. Vertedero rectangular</i>	<i>27</i>
<i>Figura 5. Vertedero de pared delgada (a) y vertedero de pared gruesa (b).....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 6. Elementos característicos de un vertedero</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Vertedero Rectangular de Cresta aguda sin contracciones.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 8. Relación de espesor de cresta y carga hidráulica en vertederos.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 9. Vertedor de cresta circular y talud inclinado, aguas abajo.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 10. Vertedor de cresta circular y talud vertical, aguas abajo</i>	<i>36</i>
<i>Figura 11. Vertedor de cresta elíptica y talud inclinado, aguas abajo.....</i>	<i>37</i>

<i>Figura 12. Perfil de Creager.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13. Perfil de Creager.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14. Formas estándar del vertedero WES (Waterways Experiment Station).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15. Formas estándar del vertedero WES (Waterways Experiment Station).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 16. Coeficiente de descarga para las crestas de cimacio en pared vertical.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 17. Coeficiente de descarga para cargas diferentes de las del proyecto.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18. Coeficiente de descarga para una cresta de vertedero con paramento de aguas arriba inclinado.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 19. Relación de coeficiente de descarga debido al efecto del lavadero</i>	<i>44</i>
<i>Figura 20. Relación de coeficiente debida al efecto del agua de descarga</i>	<i>44</i>
<i>Figura 21. Molinete de eje vertical (Americano).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 22. Molinetes de eje horizontal (Europeos).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 23. Calculo del área en una sección</i>	<i>51</i>
<i>Figura 24. Ubicación y posición de los limnímetros.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 25. Limnígrafos de flotador</i>	<i>54</i>
<i>Figura 26. Tipos de limnígrafos.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 27. Ubicación de los vertederos del río Chonta.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 28. Perú. Localización geográfica del departamento de Cajamarca.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 29. Ubicación del Departamento de Cajamarca y sus Provincias.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 30. Ubicación de la Provincia de Cajamarca y sus Distritos.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 31. Ubicación del Vertedero 3.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 32. Croquis de acceso a la Zona del Vertedero 3</i>	<i>71</i>
<i>Figura 33. Ubicación del Vertedero 7.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 34. Croquis de acceso a la Zona del Vertedero 7</i>	<i>73</i>
<i>Figura 35. Estación total Trimble M3.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 36. Trípode de Madera FS 24.....</i>	<i>75</i>

<i>Figura 37. Prisma Trimble para estación Total.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 38. Jalón Porta prisma CLS11</i>	<i>77</i>
<i>Figura 39. GPS Garmin etrex y GPS Garmin map 62S.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 40. Wincha de 5m.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 41. Cámara fotográfica</i>	<i>97</i>
<i>Figura 42. Cronómetro.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 43. Nivelación geométrica múltiple.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 44. Mira o estadía</i>	<i>101</i>
<i>Figura 45. Trípode de aluminio FS 23 y FS 20.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 46. Nivel de ingeniero</i>	<i>102</i>
<i>Figura 47. Pack Correntómetro Flowatch.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 48. Tipos de hélice.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 49. Medidas de modelo del vertedero 3.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 50. Medidas de modelo del vertedero 7</i>	<i>106</i>
<i>Figura 51. Pendiente del río Chonta - Aguas arriba del vertedero 3 -Tartar Grande</i>	<i>107</i>
<i>Figura 52. Pendiente del río Chonta – Aguas arriba del vertedero 7 – Salto Sky</i>	<i>108</i>
<i>Figura 53. Diagrama de la Sección del Río – Aforo 1 - Tartar</i>	<i>109</i>
<i>Figura 54. Diagrama de la Sección del Río Chonta - Aforo 2 - Tartar</i>	<i>111</i>
<i>Figura 55. Diagrama de la Sección del Río Chonta – Aforo 3 – Salto Sky</i>	<i>112</i>
<i>Figura 56. P/H vs. Coeficiente de descarga (Tartar)</i>	<i>124</i>
<i>Figura 57. P/H vs. Coeficiente de descarga (Salto Sky).....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 58. Coeficiente de descarga (Tartar).....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 59. Coeficiente de descarga (Salto Sky)</i>	<i>130</i>
<i>Figura 60. Caudal experimental vs. Caudal teórico (Tartar)</i>	<i>131</i>
<i>Figura 61. Caudal experimental vs. Caudal teórico (Salto Sky).....</i>	<i>132</i>

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1. Primer vertedero visitado</i>	<i>62</i>
<i>Fotografía 2. Perfil del Primer vertedero</i>	<i>62</i>
<i>Fotografía 3. Segundo vertedero de perfil.....</i>	<i>63</i>
<i>Fotografía 4. Segundo vertedero vista frontal</i>	<i>63</i>
<i>Fotografía 5. Tercer vertedero vista isométrica</i>	<i>64</i>
<i>Fotografía 6. Tercer vertedero vista frontal</i>	<i>64</i>
<i>Fotografía 7. Cuarto vertedero visitado.....</i>	<i>65</i>
<i>Fotografía 8. Quinto vertedero visitado</i>	<i>65</i>
<i>Fotografía 9. Sexto vertedero de perfil.....</i>	<i>66</i>
<i>Fotografía 10. Séptimo vertedero visitado – Salto Sky.....</i>	<i>67</i>
<i>Fotografía 11. Séptimo vertedero – Salto Sky (Mes de Febrero)</i>	<i>67</i>
<i>Fotografía 12. Estación E1 – Vertedero 3</i>	<i>79</i>
<i>Fotografía 13. Coordenadas GPS de E1 – Vertedero 3 – Tartar Grande</i>	<i>79</i>
<i>Fotografía 14. Estación E1 – Vertedero 7</i>	<i>80</i>
<i>Fotografía 15. Coordenadas GPS de E1 – Vertedero 7 – Salto Sky</i>	<i>80</i>
<i>Fotografía 16. Nivelación estación E1 – Vertedero 3</i>	<i>81</i>
<i>Fotografía 17. Nivelación estación E1 – Vertedero 7</i>	<i>81</i>
<i>Fotografía 18. Orientación E1- V3- Canal de concreto.....</i>	<i>82</i>
<i>Fotografía 19. Orientación E1- V7- muro de encausamiento.....</i>	<i>82</i>
<i>Fotografía 20. Puntos tomados para determinar la forma de la cresta del vertedero</i>	<i>83</i>
<i>Fotografía 21. Puntos tomados para determinar el eje y la forma de la cresta del vertedero</i>	<i>83</i>
<i>Fotografía 22. Puntos tomados en los muros de encausamiento.....</i>	<i>84</i>
<i>Fotografía 23. Puntos tomados en los alrededores.....</i>	<i>84</i>
<i>Fotografía 24. Puntos tomados en el eje del río.....</i>	<i>85</i>

<i>Fotografía 25. Puntos tomados para determinar la forma de la cresta del vertedero</i>	<i>85</i>
<i>Fotografía 26. Puntos tomados para determinar la forma de la cresta del vertedero</i>	<i>86</i>
<i>Fotografía 27. Puntos tomados para determinar la forma del vertedero.....</i>	<i>86</i>
<i>Fotografía 28. Puntos tomados para determinar la forma del vertedero.....</i>	<i>87</i>
<i>Fotografía 29. Puntos tomados para determinar la forma de la estructura</i>	<i>87</i>
<i>Fotografía 30. Puntos tomados para determinar la forma de la estructura</i>	<i>88</i>
<i>Fotografía 31. Puntos tomados en los muros de encausamiento.....</i>	<i>88</i>
<i>Fotografía 32. Puntos tomados en los alrededores.....</i>	<i>89</i>
<i>Fotografía 33. Puntos tomados en el eje del río.....</i>	<i>89</i>
<i>Fotografía 34. Medidas del canal de pendiente variable</i>	<i>90</i>
<i>Fotografía 35. Modelo de piedra de la cresta del vertedero 3</i>	<i>90</i>
<i>Fotografía 36. Modelo de piedra de la cresta del vertedero 7</i>	<i>91</i>
<i>Fotografía 37. Impermeabilización de modelo de vertedero 3.....</i>	<i>91</i>
<i>Fotografía 38. Impermeabilización de modelo de vertedero 7 (Primera capa)</i>	<i>91</i>
<i>Fotografía 39. Impermeabilización de modelo de vertedero 7 (Segunda capa).....</i>	<i>92</i>
<i>Fotografía 40. Ubicación del vertedero 7 en el canal de pendiente variable.....</i>	<i>92</i>
<i>Fotografía 41. Ubicación del vertedero 3 en el canal de pendiente variable.....</i>	<i>93</i>
<i>Fotografía 42. Pendiente aguas arriba del vertedero 3 y 7 en el canal de pendiente variable.....</i>	<i>93</i>
<i>Fotografía 43. Ajuste del tornillo del vernier para la lectura de la carga hidráulica</i>	<i>94</i>
<i>Fotografía 44. Ubicación del vernier para la lectura de la carga hidráulica.....</i>	<i>94</i>
<i>Fotografía 45. Aforo volumétrico volumen/ tiempo.....</i>	<i>95</i>
<i>Fotografía 46. Varilla graduada y manivela para regular la pendiente del canal.....</i>	<i>95</i>
<i>Fotografía 47. Bombas y válvula reguladora de caudal.....</i>	<i>96</i>
<i>Fotografía 48. Descarga a tanque de alimentación de recirculación</i>	<i>96</i>
<i>Fotografía 49. Alimentación de caudal por tubería hacia el canal de pendiente variable..</i>	<i>96</i>

<i>Fotografía 50. Vernier para medición de carga hidráulica</i>	<i>97</i>
<i>Fotografía 51. Depósito con volúmenes definidos.....</i>	<i>98</i>
<i>Fotografía 52. Cordel Marcado cada 0.50 m. y tensado en las estacas</i>	<i>98</i>
<i>Fotografía 53. Cordel Marcado cada 0.50 m. tendido en la sección del río.....</i>	<i>99</i>
<i>Fotografía 54. Estacionamiento del nivel de ingeniero en lugar estratégico.....</i>	<i>99</i>
<i>Fotografía 55. Ubicación del BM en una roca fija.....</i>	<i>100</i>
<i>Fotografía 56. Toma de puntos de la sección del río.....</i>	<i>100</i>
<i>Fotografía 57. Toma de velocidades con correntómetro en la sección del río.....</i>	<i>101</i>

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar el coeficiente de descarga para diferente carga hidráulica en dos vertederos de pared gruesa tipo cimacio del río Chonta Cajamarca, para lo cual se realizó el modelamiento hidráulico de estos, teniendo en cuenta escalas de traslación (geométricas, cinemáticas y dinámicas) del modelo al prototipo y a la inversa, se realizó el levantamiento topográfico de las dos estructuras para determinar la forma de la cresta (escala geométrica), también se realizaron tres aforos con correntómetro y tres medidas de la carga hidráulica al mismo tiempo (escala cinemática y dinámica), todo esto trasladado al canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte, en el cual se varía la carga hidráulica medida con un vernier instalado en dicho canal, para a la vez calcular el caudal mediante método volumétrico, se aplicó las escalas de traslación y analizar así el coeficiente de descarga en los dos vertederos, con estos datos se determinó ecuaciones para calcular los coeficientes de descarga en función de P/H (Altura de cresta de vertedero/Carga hidráulica) las cuales son las siguientes para el vertedero 3 - Tartar y para el vertedero 7 - Salto Sky, respectivamente, $C = 0.0016 \left(\frac{P}{H}\right)^2 + 0.0063 \left(\frac{P}{H}\right) + 1.7344$ y $C = 0.0001 \left(\frac{P}{H}\right)^2 + 0.186 \left(\frac{P}{H}\right) + 1.3976$, confirmando la hipótesis en su totalidad.

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze the discharge coefficient for different hydraulic loads in two thick-walled dumps of the Chonta Cajamarca River, for which hydraulic modeling of these was carried out, taking into account translational scales (geometric, kinematic and dynamics) from the model to the prototype and vice versa, the topographic survey of the two structures was carried out to determine the shape of the ridge (geometric scale), three gauges were also made with current meter and three measurements of the hydraulic load at the same time (scale kinematics and dynamics), all this transferred to the channel of variable slope in the hydraulics laboratory of the Universidad Privada del Norte, in which the hydraulic load measured with a vernier installed in said channel is varied, to at the same time calculate the flow through volumetric method, the translation scales were applied and thus analyze the discharge coefficient. In the two landfills, with these data, equations were determined to calculate the discharge coefficients as a function of P / H (Height of landfill ridge / Hydraulic load) which are the following for landfill 3 - Tartar and for landfill 7 - Sky jump, respectively, $C = 0.0016 \left(\frac{P}{H}\right)^2 + 0.0063 \left(\frac{P}{H}\right) + 1.7344$ and $C = 0.0001 \left(\frac{P}{H}\right)^2 + 0.186 \left(\frac{P}{H}\right) + 1.3976$, the hypothesis is confirmed in its entirety.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El aumento en la demanda del agua en la sociedad y el progresivo incremento en costos de diseño, construcción, rehabilitación y mejoramiento de sistemas de aprovechamiento hidráulico, muestran la necesidad de usar el agua de una manera eficiente, es decir, sin desperdicio y con un ventajoso beneficio económico. Lo cual no se lograría sin la medición del agua necesaria (IMTA, 2001).

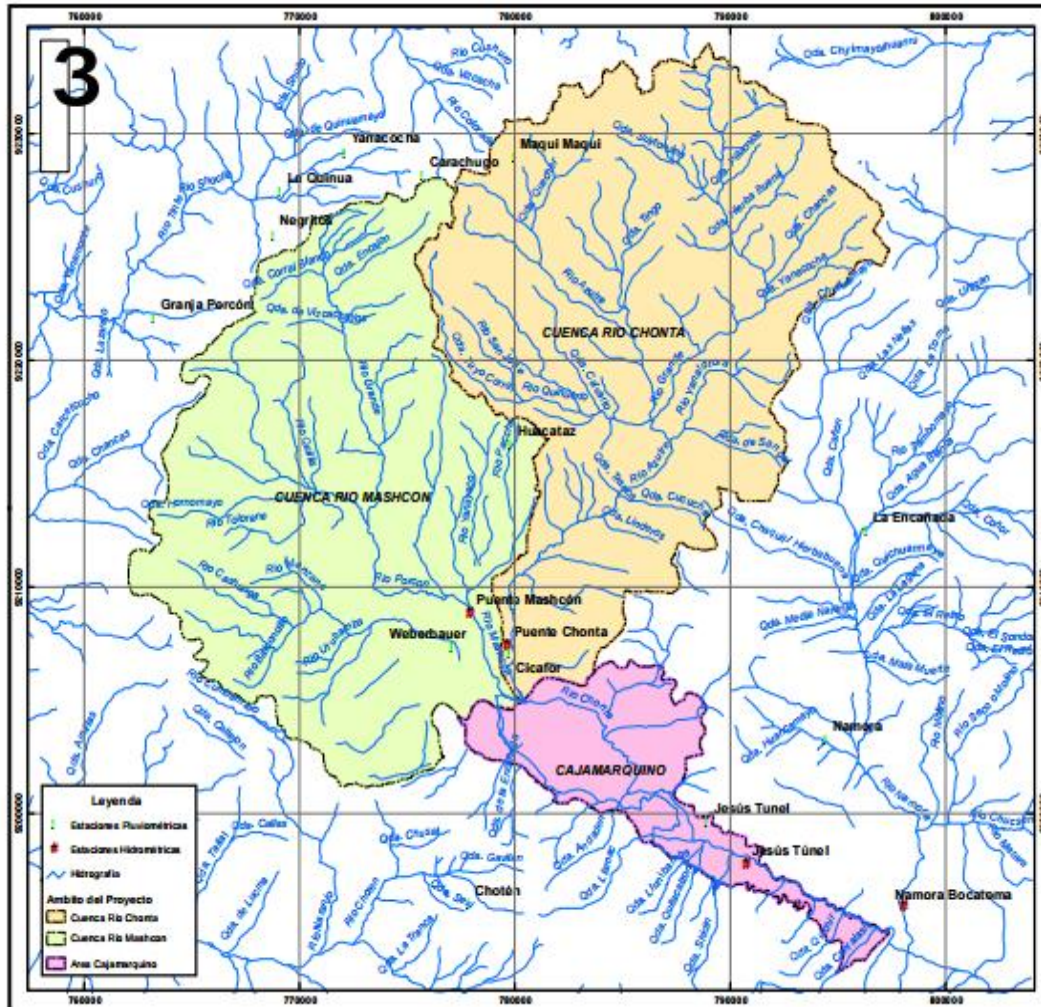
Una obra de toma para captación de agua superficial, es una estructura que permite captar el agua natural (denominada agua cruda) de un lago o un río en el que se ha sumergido (Briere & Pizarro, 2005).

Según la N.T.P. OS.010 (2006), el diseño de este tipo de obras deberá garantizar como mínimo la captación del caudal máximo diario, por lo cual, para todo diseño, construcción, rehabilitación y mejoramiento de este tipo de obras o estructuras, es necesario tener este tipo de información de las fuentes de recursos hídricos.

Según la Autoridad Nacional del Agua -ANA- (2010), en Cajamarca se cuenta con registros de caudales aforados en los ríos Mashcón, Chonta y en el río Cajamarquino a unos 8 km aguas abajo de la confluencia de los dos ríos anteriormente mencionados, estos datos proceden de estaciones del río Mashcón, río Chonta y Jesús Túnel, cuyas ubicaciones se aprecian en la Figura 1. No obstante, en su plan de gestión de recursos hídricos de las cuencas de Mashcón y Chonta, ha determinado la necesidad de medir los caudales de cada punto de muestreo, instalando estaciones hidrométricas, sin embargo, la instalación y mantenimiento de este tipo de estaciones, puede llegar a ser muy costosa.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (en adelante SENAMHI) (2013), el costo de una estación automática varía entre S/. 67,500 a S/. 97,500, con costos de instalación que llegan hasta los S/. 18,000, el costo de mantenimiento anual oscila aproximadamente, entre S/. 12,000 a 15,000, por lo que las autoridades pertinentes, no están dispuestas a invertir en tantas estaciones.

Figura 1. Distribución espacial de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en Cajamarca y en cuencas vecinas.



Fuente: ANA, 2010.

En esta investigación, se plantea una alternativa ante la falta de estaciones hidrométricas, emplear como materia de estudio estructuras de captaciones existentes en el río Chonta (vertederos de pared gruesa tipo cimacio), para determinar los caudales que pasan en estos puntos a través de la medida de cargas hidráulicas y de coeficientes de descarga (los cuales varían de acuerdo a la carga medida).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el análisis del coeficiente de descarga para diferente carga hidráulica en dos vertederos de pared gruesa tipo cimacio del río Chonta Cajamarca?

1.3. Justificación

- Justificación teórica.
Existen coeficientes de gasto (descarga) establecidos para diferentes tipos de vertederos, estudiados en la bibliografía, sin embargo estos coeficientes no siempre son exactos, tienen un cierto margen de variación, por lo que, en esta investigación se realiza un análisis del coeficiente de descarga para los casos específicos de dos vertederos de pared gruesa tipo cimacio, existentes en el río Chonta, determinando así datos más ajustados a la realidad.
- Justificación aplicativa o práctica.
Para todo diseño, construcción, rehabilitación y mejoramiento de obras o estructuras de captación, se debe tener información de registros de caudales en las fuentes de recursos hídricos, con ayuda de estos coeficientes de descarga se obtiene esta información para dos puntos específicos en el río Chonta.
- Justificación valorativa.
Al realizar dos modelos hidráulicos exactamente a escala de estructuras de captación existentes, los coeficientes de descarga encontrados, pueden ser empleados como alternativa para la determinación de caudales en el río Chonta, donde hace falta determinar esta información.
- Justificación académica.
Los procedimientos y resultados, obtenidos en la presente investigación pueden ser empleados como referencia para futuras investigaciones.

1.4. Limitaciones

Esta investigación tiene como limitación la complejidad de los fenómenos hidráulicos como expresión del mundo natural, y no es totalmente posible analizarlos y describirlos por lo que sólo podemos hacerlo parcialmente.

Sin embargo, Rocha, 2001, menciona que uno de los instrumentos más poderosos de que se dispone para tratar de conocer y comprender el comportamiento del agua en la naturaleza y su interacción con las estructuras se encuentra en la investigación mediante los modelos matemáticos y los modelos físicos, por lo que se empleará el método de modelamiento hidráulico de las estructuras mencionadas para entender dichos fenómenos y calcular los caudales.

En esta investigación, para el levantamiento topográfico es necesario estar en períodos de sequía para poder tener resultados exactos, además de prevenir riesgos, y para la evaluación de caudales se realiza en tiempo lluvias, es decir de caudales mayores en el río estudiado.

Delimitaciones

La investigación se desarrollará para un río en específico, en este caso para el Río Chonta – Cajamarca.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Analizar el coeficiente de descarga para diferente carga hidráulica en dos vertederos de pared gruesa tipo cimacio del río Chonta Cajamarca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar los vertederos de pared gruesa tipo cimacio del Río Chonta Cajamarca, tramo Otuzco – Baños del Inca
- Elaborar el modelamiento hidráulico de dos vertederos de pared gruesa tipo cimacio del río Chonta Cajamarca.
- Analizar el comportamiento del coeficiente de descarga en los dos modelos mediante gráficas y ecuaciones.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Existen estudios realizados por varios autores, acerca de modelamiento hidráulico en laboratorio, relacionados con el coeficiente de descarga en vertederos de pared gruesa tipo cimacio para determinar caudales.

Zamora, 2004, desarrolló operaciones experimentales de recojo de datos en laboratorio para encontrar los parámetros (velocidad y coeficientes de descarga) reales, utilizados para elaborar diagramas que muestran el comportamiento del flujo al pasar por estructuras de control como son las compuertas y los aliviaderos (Figura 2), para ello en su investigación emplea un canal de pendiente variable.

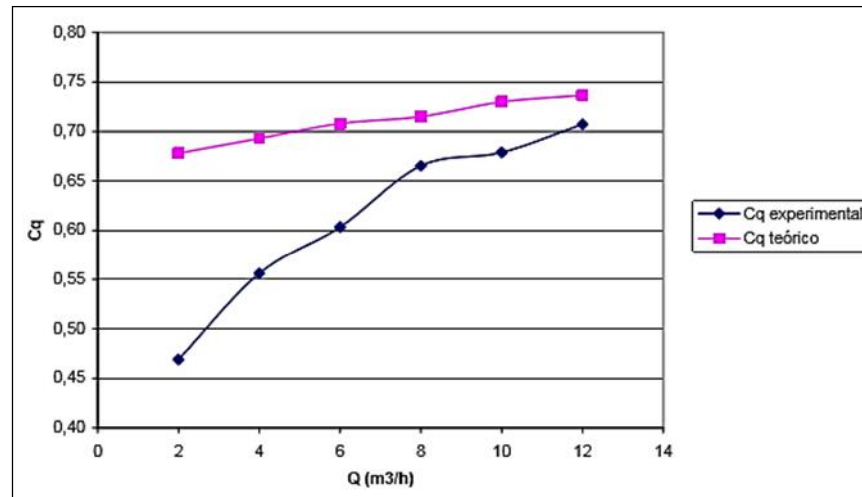
Figura 2. De izquierda a derecha, vertedero de pared delgada, de pared gruesa y vertedero de pared gruesa tipo cimacio (aliviadero)



Fuente: Zamora, 2004.

Al principio pretendía obtener las velocidades aguas abajo en condición de descarga libre, pero sólo se pudo hallar en el vertedero de pared gruesa (aliviadero), ya que en las otras estructuras la descarga encontraba irregularidades, luego procedió a hacer una corrección volumétrica del caudal ya que el caudalímetro no marcaba el caudal exacto. Por lo que indica que el mejor método para medir el caudal es el volumétrico. Como resultados obtuvo los diagramas de comportamiento de estas estructuras y las deducciones de estos, en el caso del aliviadero (vertedero de pared gruesa tipo cimacio), el resultado es el siguiente:

Figura 3. Comparación de coeficientes de descarga Teóricos vs. Experimentales de acuerdo a los caudales para un aliviadero en descarga libre



Fuente: Zamora, 2004.

En el caso del aliviadero o vertedero de pared gruesa, parece que este es diseñado para el mayor caudal, siendo el coeficiente para este caudal el que más se ajusta a la teoría. Los demás caudales empeoran sus coeficientes conforme son más bajos.

Gómez, 2012, enfatiza el estudio del funcionamiento de los vertederos de pared gruesa, detalla el principio de funcionamiento, diseño, construcción, instalación y el método de ensayo de vertederos de pared gruesa en el laboratorio de Hidráulica, indica que los vertederos de pared gruesa, son los más adecuados para efectuar aforos de caudales grandes, en tanto que aprovechan todo el ancho del cauce o canal, se obtuvo resultados entre 1,088 y 1,1368, en la determinación del coeficiente de descarga, los cuales indican que el caudal real observado es entre un 8,8% y 13,7% mayor al caudal encontrado con la ecuación teórica.

Recomienda que al realizar mediciones de caudal con vertederos de pared gruesa es importante que el flujo sobre la cresta sea aireado con caída libre y no presente escurrimientos en sus paredes, ya que éstos afectan la precisión de las fórmulas, además, cuando se proceda a tomar lecturas de carga H sobre el vertedero, se debe esperar a que se estabilice el flujo de agua en la sección de control en el canal hidrodinámico.

Para obtener medidas precisas además deberá ser leída a una distancia aguas arriba de la cresta no menor a cuatro veces la altura máxima de la carga hidráulica esperada sobre la cresta, evitando así el efecto de aceleración al acercarse al vacío, al tomar la lectura de altura en el tanque de aforo se debe esperar a que se estabilice el flujo para que la medida sea más precisa y para cargas H muy pequeñas, recomienda tomar volúmenes de aforo pequeños para que no se desestabilice el flujo.

Terrones, 2015, realizó una investigación en el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte, Cajamarca, en la cual utilizó modelos de vertederos tipo cimacio, los cuales fueron tallados en material de piedra y barnizados luego para evitar filtración de agua, en base a este antecedente, se realizaron los modelos a escala ajustada de este estudio de investigación.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Medición de Caudales

Independientemente del uso que se le dé al agua que fluye (generación de energía hidroeléctrica, uso poblacional, utilización en los sistemas de riego, etc.), resulta conveniente realizar la medición del caudal disponible (Villón, 2000).

La Hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo (INRENA-UCPSI, 2005).

- **Importancia:**

Las mediciones sirven para asegurar el mantenimiento de agua suministrada, descubrir anomalías, estimar y averiguar el origen de las pérdidas que se produzcan en la conducción y de esta forma controlar el desperdicio (Villón, 2000).

El régimen de caudales es un dato básico, indispensable, para todos los diseños hidráulicos y para muchas obras civiles en los que ellos son parte importante como las carreteras, puentes, acueductos, presas, entre otros (Rocha, 2001).

Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (En adelante IMTA) (2012) la medición de caudales es necesaria cuando se contemplan los aspectos de:

- **Distribución eficiente del agua:**

El aumento en la demanda del agua y el progresivo incremento en los costos de diseño, construcción, rehabilitación y mejoramiento de los sistemas de aprovechamiento hidráulico, muestran la necesidad de usar el agua eficientemente, esto significa, sin desperdicio y con un ventajoso beneficio económico.

Esto no se lograría sin la medición del agua empleada, la medición permite determinar cantidades de agua distribuida, descubrir incoherencias, hallar el origen de las pérdidas y calcular su costo.

- **Factores socioeconómicos:**

La medición del agua es un medio para establecer un patrón de distribución que permita enfrentar requerimientos reales o emitir bases legales o normas de operación y para la elaboración de un sistema tarifario.

Si las tarifas de riego se basan en gastos, entonces será necesario instalar medidores de gasto y mantener registros adecuados.

Si las tarifas se basan en volúmenes será necesario un dispositivo de medición volumétrica o totalizador o bien un dispositivo medidor de gasto asociado con un medidor de tiempo.

- **Factores ingenieriles:**

También con la medición del caudal se puede elaborar una base de datos para diseño, construcción, rehabilitación y mejoramiento de obras o estructuras de captación y distribución del recurso hídrico.

2.2.2. Instrumentos de la medición de caudales

Según Villón (2000), existen algunos métodos e instrumentos para la medición de caudales, entre los cuales, los más destacados son:

- El vertedero: Es el dispositivo más práctico y económico, siempre que se disponga de suficiente altura; fueron los primeros instrumentos desarrollados.
- El orificio, ya sea libre o sumergido, como las compuertas: Se usa para el control de entrega de agua a las parcelas.
- Aforadores, como Parshall, sin cuello, WSC, etc.: Son los instrumentos más comúnmente utilizados; sus ventajas más destacadas son las pérdidas pequeñas de altura, una exactitud razonable para una gama grande de caudales y la insensibilidad a la velocidad de aproximación.
- También se pueden emplear las compuertas y otros métodos indirectos.
- Aforos con correntómetro.
- Aforos volumétricos

En esta sección se da alcance teórico del método del correntómetro y de los vertederos, con el fin de emplearlos en las estructuras existentes del río Chonta.

2.2.2.1. Vertederos

Se llama vertedero a un dispositivo hidráulico que consiste en una escotadura a través de la cual se hace circular el caudal que se desea determinar (Villón, 2000).

El vertedero ha sido definido por Balloffet, citado por Rocha (2009), como “una abertura de contorno abierto, practicada en la pared de un depósito, o bien en una barrera colocada en un canal o río, y por la cual escurre o rebasa el líquido contenido en el depósito, o que circula por el río o canal”.

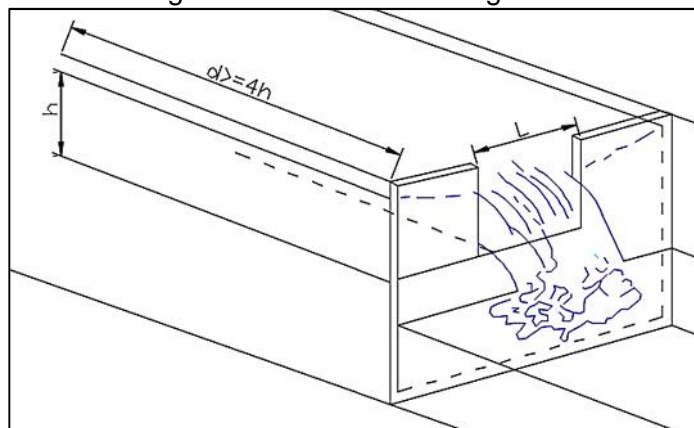
Es una estructura utilizada en los proyectos hidráulicos, ya sea como estructura de control de aprovechamiento hidráulicos o bien como estructura para medición de caudales en obras de saneamiento, su aplicación es muy difundida y una de las razones es porque permiten tener un adecuado control del caudal por encima de su cresta siendo necesario únicamente medir una variable que es el tirante sobre dicha cresta (Arreguín, 2000).

Según Gómez (2012), este método es el más sencillo y utilizado para medir el caudal de agua en canales abiertos. Puesto que son fáciles de fabricar o construir, y que para calcular el caudal simplemente es necesario conocer la carga de agua H que esté pasando por el vertedero en determinado momento, y utilizar la ecuación que corresponda según la sección del vertedero.

Esta altura debe medirse a una distancia aguas arriba tal, que no sea afectada por la depresión de la superficie del agua que se produce al aproximarse a la cresta.

En el siguiente dibujo, se indican las principales medidas del vertedero:

Figura 4. Vertedero rectangular



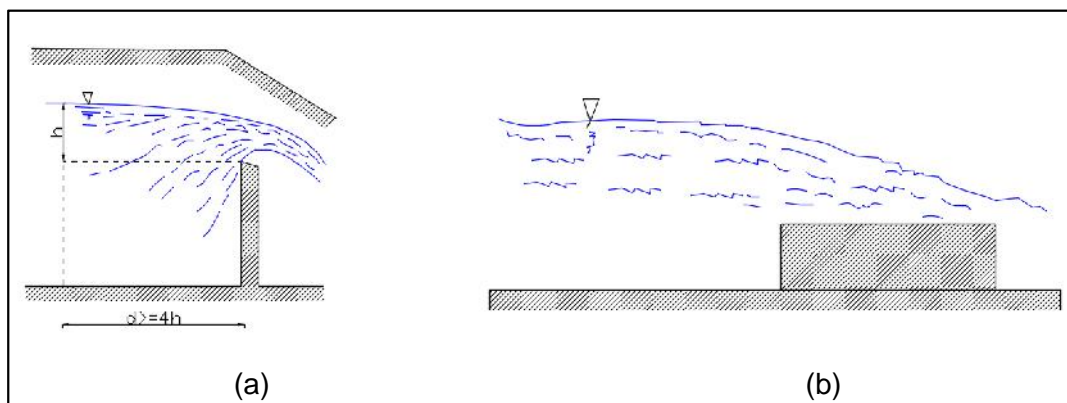
Fuente: Villón, 2000.

- h : carga sobre el vertedero, espesor del chorro medido sobre la cresta.
- L : longitud de cresta del vertedero (pared horizontal de la escotadura en contacto con el líquido)
- d : distancia donde se realiza la lectura de la carga, mayor o igual que $4h$.

Hay diferentes clases de vertederos según la forma que se obligue a adoptar a la sección de la vena líquida que circula por la escotadura, de modo que puede ser: rectangular, trapezoidal, triangular, circular o de cualquier otra sección curva (Villón, 2000).

Según Sotelo (2002), los vertederos pueden presentar diferentes formas según las finalidades a que se destine, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedor se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedor es de pared gruesa.

Figura 5. Vertedero de pared delgada (a) y vertedero de pared gruesa (b)



Fuente: Villón, 2000.

El punto o arista más bajo de la pared en contacto con la lámina vertiente, se conoce como cresta del vertedor; el desnivel entre la superficie libre, aguas arriba del vertedor y su cresta, se conoce como carga (Sotelo, 2002).

Ambos tipos pueden utilizarse como dispositivos de aforo en laboratorio o canales de pequeñas dimensiones, pero el segundo puede emplearse como obra de control o de excedencias en una presa y también aforo en canales grandes.

Los vertederos son utilizados, intensiva y satisfactoriamente en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres, así como en el control de flujo en galerías y canales, razón por la cual su estudio es de gran importancia (Gómez, 2012).

✓ **Elementos de un vertedero**

Según Martínez (2011), los elementos de un vertedero son:

- *Cresta*: Borde superior del vertedero.
- *Napa*: Vena líquida que fluye a través del vertedero.
- *Pared del Vertedero (P)*: Es la altura del vertedero.
- *Longitud del Vertedero (L)*: Es la longitud perpendicular del vertedero con respecto al flujo.
- *Carga sobre el Vertedero (H)*: Espesor del chorro medida entre la superficie libre aguas arriba del vertedero a distancia suficientemente grande ($>4H$) para que no se manifieste el abatimiento de la napa en la cresta.

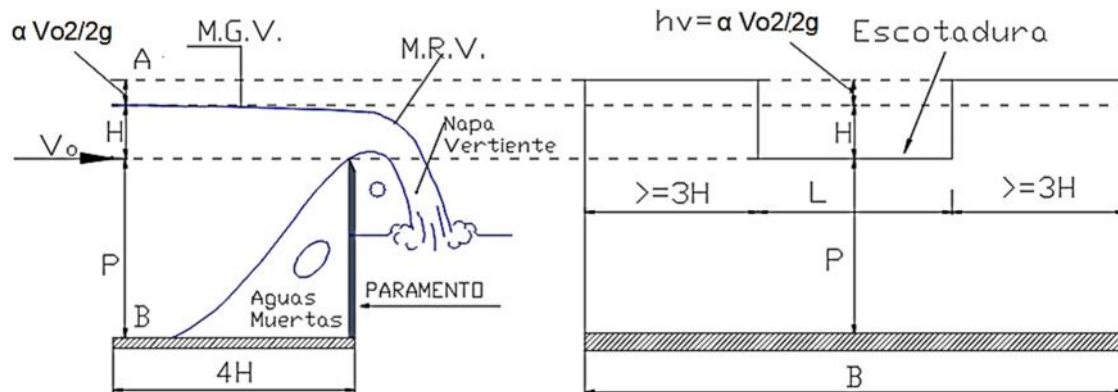
2.2.3. Descarga de un vertedero

Una de las funciones de los vertederos es la de medir caudales. Un vertedero da lugar a un chorro, es decir, a una napa vertiente, tal como se aprecia en la Figura 6. Sobre el vertedero, y en sus inmediaciones, hay un movimiento rápidamente variado (M. R. V.), que es un “remanso de depresión” originado en la transformación de energía potencial en energía cinética.

Hacia aguas arriba, en una sección AB, hay un movimiento gradualmente variado (M. G. V.). Se acepta que en la sección AB rige la ley hidrostática. Esta sección se encuentra a una cierta distancia del vertedero, que referencialmente se considera que es igual a $4H$, siendo H la carga sobre el vertedero. Obsérvese que inmediatamente aguas arriba del umbral del vertedero hay una zona de estancamiento o de aguas muertas.

Se denomina carga sobre el vertedero a la altura H con respecto a un plano horizontal que pasa por la cresta del vertedero, medida en la sección AB. En la Figura 6 se muestra la altura P del umbral del vertedero (paramento), que es la distancia entre el fondo y la cresta (Rocha, 2015).

Figura 6. Elementos característicos de un vertedero



Fuente: Rocha, 2015.

P: Es el umbral.
 α : Es el coeficiente de Coriolis.
H: Es la carga.
L: Es la longitud del vertedero.

B: Es el ancho del canal de aproximación.
 V_o : Es la velocidad de aproximación.
M.G.V: Movimiento Gradualmente Variado.
M.R.V: Movimiento Rápidamente Variado.

✓ **Finalidad de los vertederos**

Según Martínez (2011), las finalidades de los vertederos pueden ser científicas y prácticas:

- Finalidades Científicas: Pueden utilizarse como dispositivos de aforo o elementos de calibración de aforadores en laboratorios hidráulicos.
- Finalidades Prácticas: Se emplea en la medición de caudales de pequeños cursos de agua (canales de pequeñas dimensiones) y conductos libres, así como en obras de control o de excedencias en presas de embalse y también aforo de grandes canales.

Según Rocha (2009), un vertedero suele tener una de las dos finalidades siguientes:

- a) Medir caudales
- b) Permitir el rebose del líquido contenido en un reservorio o del que circula en un río o canal, estas funciones no son excluyentes.

Los vertederos resultan muy útiles para medir caudales. Los que tienen el objetivo exclusivo de medir, lo hacen por lo general con caudales relativamente pequeños.

Según Cahuana y Yugar (2009), los vertederos son los dispositivos más utilizados para medir el caudal en canales abiertos ya que ofrecen las siguientes ventajas en la medición del caudal:

- Se logra con ellos precisión en los aforos
- La construcción de la estructura es sencilla
- No son obstruidos por materiales que flotan en el agua
- La duración del dispositivo es relativamente larga

✓ **Clasificación de vertederos**

Existen diferentes tipos de vertederos. Pueden clasificarse por el tipo de cresta, por los niveles de aguas abajo, por su forma, por las condiciones laterales, por su inclinación con respecto a la corriente y otras circunstancias (Rocha, 2007).

Según la forma geométrica del contorno de apertura, pueden distinguirse vertederos rectangulares, trapeziales, triangulares, parabólicos, etc. Además, según el espesor de la pared del vertedero o, más precisamente, la forma en que la vena líquida toca la parte superior de la estructura, se clasifican en Vertederos de Pared Gruesa o Delgada (Arreguín, 2000).

Según Martínez (2011), los vertederos se clasifican de diferentes formas:

a. Por su geometría:

- Vertederos de forma rectangular.
- Vertederos de forma triangular.
- Vertederos de forma trapezoidal.
- Vertederos de forma circular, parabólica, etc.

b. Por su espesor de pared:

- Vertedero de pared delgada ($e \leq 2$ mm).
- Vertedero de pared gruesa ($e > 0.67 H$).

c. Por su tipo de Cresta:

- Vertedero de Cresta redondeada.
- Vertedero de Cresta tipo WES.
- Vertedero de Cresta tipo cimacio o Perfil de Creager.

d. Por su longitud de Cresta en relación al ancho del canal de acceso:

- Vertederos sin Contracciones laterales.
- Vertederos con Contracciones laterales.

e. Por su funcionamiento:

- Vertederos con velocidad de llegada.
- Vertederos sin velocidad de llegada.

f. Por la forma de Napa o lámina vertiente:

- Napa libre
- Napa Suprimida
- Napa adherente
- Napa Ahogada

Para esta investigación es necesario puntualizar las características que tienen los vertederos de pared gruesa, tipo cimacio, para ello lo diferenciaremos la clasificación por su espesor de pared y por el tipo de cresta:

Por su espesor de pared

Por su espesor de pared los vertederos se clasifican como:

Vertederos pared delgada o de cresta aguda

Chow, 1994, menciona que el vertedero de cresta delgada es la forma más simple de los vertederos de rebose y se caracteriza por tener un espesor ($e \leq 2$ mm).

Se han desarrollado muchas ecuaciones experimentales para el caudal sobre un vertedero de cresta delgada. La mayor parte de estas ecuaciones pueden expresarse de forma general:

$$Q = C.L.H^{1.5} \dots(1)$$

Donde C, es el coeficiente de descarga, L es la longitud efectiva de la cresta del vertedero y H es la altura medida por encima de la cresta excluida de la altura de velocidad.

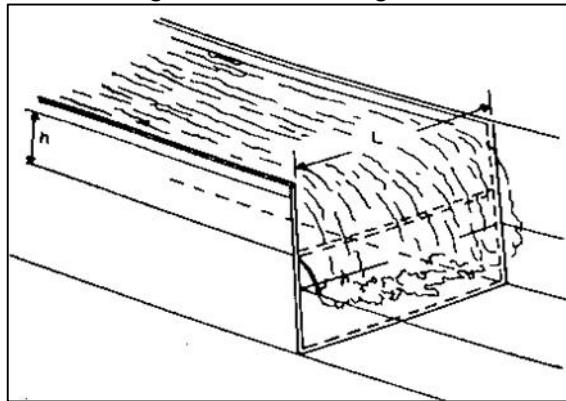
Experimentos han demostrado que el coeficiente C de la ecuación anterior, permanece casi constante para vertederos de cresta delgada en diferentes alturas si la napa se encuentra aireada.

Según Villón (2000), experimentalmente se han determinado ecuaciones para el cálculo de caudal que fluye por los vertederos, una de las secciones más comunes de los vertederos es la sección rectangular.

Según Francis, citado por Villón, 2000, encontró que para un vertedero rectangular de cresta aguda, sin contracciones (longitud de la cresta del vertedero es igual que el ancho del canal), como en el caso de la Figura 7, donde la ecuación del caudal es:

$$Q = 1,84 L h^{3/2} \dots (2)$$

Figura 7. Vertedero Rectangular de Cresta aguda sin contracciones



Fuente: Villón, 2000.

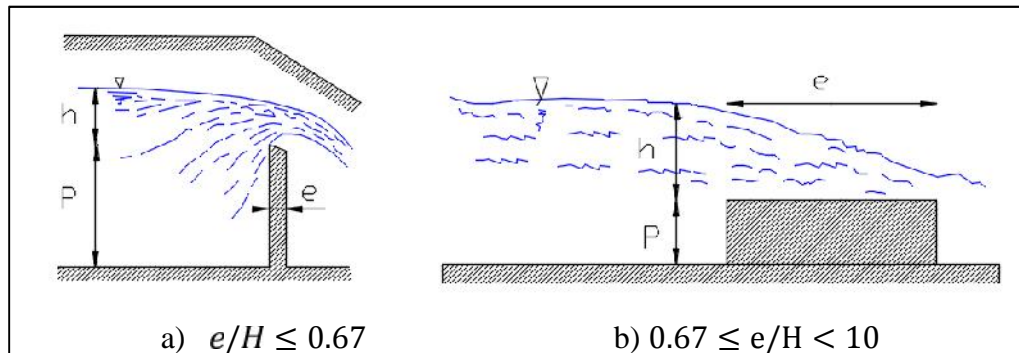
Vertedero de pared gruesa

Gómez, 2012, refiere que para que un vertedero se pueda clasificar como de pared gruesa, se debe verificar que la relación e/H esté en el rango de $0.67 \leq e/H < 10$.

Según López (2013), la mínima distancia a la cual se deben instalar los medidores de la carga hidráulica (H) para que no esté afectada por la declinación de la lámina de agua es $3.5 H$.

Los vertederos de pared ancha o gruesa tienen menor capacidad de descarga para igual carga de agua que los vertederos de pared delgada y su uso más frecuente es como estructuras de control de nivel.

Figura 8. Relación de espesor de cresta y carga hidráulica en vertederos



Fuente: López, 2013.

Consideraciones:

$e/H < 0.67$, el chorro se separa de la cresta y el funcionamiento es idéntico al del vertedero de pared delgada.

$e/H > 0.67$, funciona distinto ya que la lámina vertiente se adhiere a la cresta del vertedero.

$e/H > 10$, se considera que el funcionamiento es en canal.

Según Azevedo y Acosta, citado por López (2013), proponen que cuando el vertedero es rectangular y la relación $e/H > 0.67$:

$$Q = 1.71 L H^{3/2} \dots (3)$$

Sotelo, 2002, propone que el tratamiento sea como a un vertedero Bazin de pared delgada, tomando como referencia la siguiente ecuación:

$$Q = 0.623 \varepsilon_1 \varepsilon_2 L H^{3/2}, \text{ en sistema MKS... (4)}$$

Donde:

ε_1 = coeficiente de corrección para vertederos de pared ancha.

ε_2 = coeficiente de corrección para vertederos ahogados.

$$\varepsilon_1 = 0.7 + \frac{0.1}{e/H}; \text{ Si } 0.67 < e/H < 3 \dots (5)$$

$$\varepsilon_1 = 0.7 + \frac{0.1}{e/H}; \text{ Si } 3 < e/H < 10 \dots (6)$$

ε_2 = coeficiente de reducción, se utilizará cuando el funcionamiento hidráulico del vertedero es ahogado y dependerá de $\frac{H-h}{H}$.

Tabla 1. Para vertederos de pared gruesa con descarga ahogada (ε_2)

(H-h)/H	ε_2	(H-h)/H	ε_2
1.4	1.000	0.30	0.855
1.3	1.000	0.25	0.833
1.2	0.993	0.20	0.807
1.0	0.987	0.15	0.770
0.9	0.980	0.10	0.720
0.8	0.960	0.08	0.680
0.7	0.950	0.06	0.640
0.6	0.930	0.04	0.550
0.5	0.910	0.02	0.400
0.4	0.885	0.01	0.260

Fuente: Sotelo, 2002.

Por el tipo de Cresta

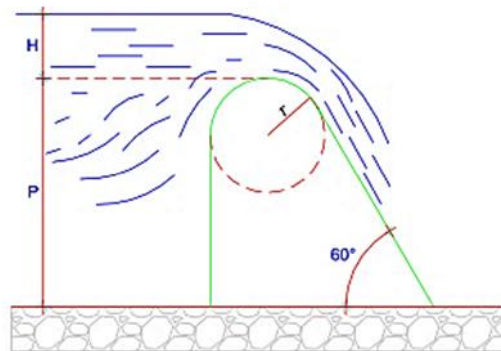
Por el tipo de Cresta los vertederos se clasifican como:

Vertedero de Cresta redondeada

Chow, 1994, señala que el perfil del vertedero de cresta redondeada se determinó de acuerdo con las características de la forma de la superficie inferior de la napa de flujo sobre el vertedero de cresta delgada.

Cuando la cresta del vertedero se redondea, el coeficiente de gasto C_d , aumenta considerablemente respecto del calculado para uno de pared gruesa, esto se da para una baja en la construcción del chorro sobre el vertedero, pues actúa sobre el vertedero, pues actúa sobre las partículas una aceleración centrífuga debido a la curvatura de las líneas de corriente.

Figura 9. Vertedor de cresta circular y talud inclinado, aguas abajo



Fuente: Sotelo, 2002.

Según Rehbock el coeficiente C_d , es:

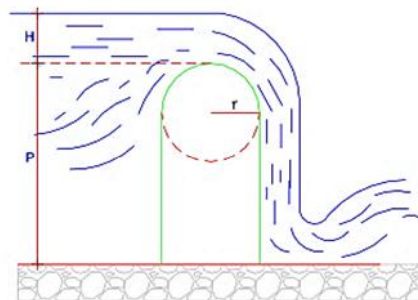
$$C_d = 0.312 + 0.09 \frac{H}{P} + \sqrt{0.30 - 0.01 \left(5 - \frac{H}{r}\right)^2} \dots (7)$$

Que sirve para:

$$\frac{H}{P} \leq (1, P > r > 0.2 \text{ m}) \dots (8)$$

$$\frac{H}{P} \leq \left(6 - \frac{2r}{P+3r}\right) \dots (9)$$

Figura 10. Vertedor de cresta circular y talud vertical, aguas abajo



Fuente: Sotelo, 2002.

Según Kramer el coeficiente C_d , es:

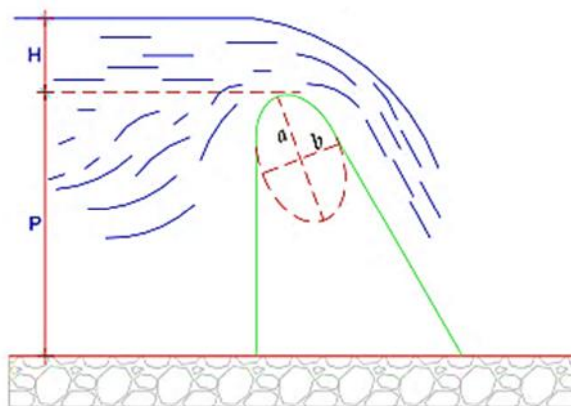
$$C_d = 1.02 - \frac{1.0}{\frac{H}{r} + 2.0} + \left[0.04 \left(\frac{H}{r} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] r/P \dots (10)$$

Lo cual sirve para:

$$\frac{H}{r} \leq 4.2 \quad \text{y} \quad \frac{H}{r} \leq 0.4 + \frac{0.3 P}{r} + 0.06\sqrt{r - 12.5} \dots (11)$$

Este tipo de vertederos es útil para compuertas cilíndricas con vertido superior.

Figura 11. Vertedor de cresta elíptica y talud inclinado, aguas abajo



Fuente: Sotelo, 2002.

Para este tipo de vertederos Kramer, propone incluir el radio en la ecuación anterior mediante la siguiente expresión:

$$r = \left(\frac{4.5}{\frac{2a}{b} + 1} + \frac{a}{2b} - 0.573 \right) b \dots (12)$$

Donde:

a, b son longitudes de los ejes de la elipse.

Se ha verificado estos valores para:

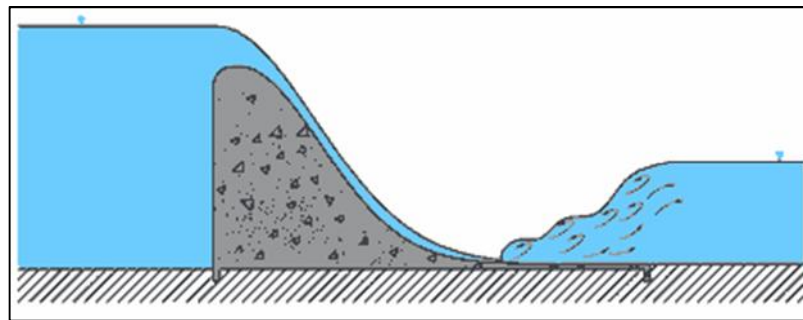
$$a = \frac{b}{2}; \quad a = b; \quad a = 2b; \quad a = 6b \dots (13)$$

Vertedero de Cresta tipo Creager (Cimacio)

Llamados también cimacios, se usan para evacuar caudales de creciente, pues la forma especial de su cresta permite la máxima descarga al comparado con otra forma de vertedores para igual altura de carga de agua.

Este vertedero cuyo ancho de cresta, es igual al ancho del canal está diseñado de modo que coincida con la forma de perfil inferior de la lámina vertiente, sobre un vertedero de pared delgada hipotético (Gómez, 2012).

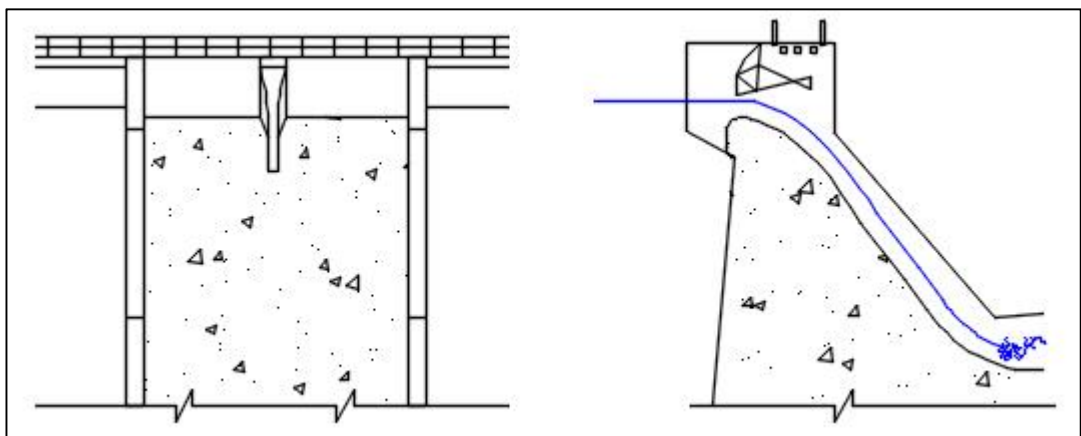
Figura 12. Perfil de Creager



Fuente: Villón, 2000.

Este tipo de vertedero es el más usado sobretodo en presas de concreto de suficiente longitud de corona.

Figura 13. Perfil de Creager



Fuente: Gómez, 2012.

La descarga sobre la cresta de un cimacio se calcula con la fórmula de Francis en vertedores:

$$Q = C H^{3/2} \dots (14)$$

Donde:

Q: Gasto de diseño, m³ /s.

C: Coeficiente del vertedor, descarga directa C= 1.45, cimacio C= 2.0.

L: Longitud de la cresta, m.

H: Carga de diseño, m.

(Arreguín, 2000)

La forma usual de la pared vertedora, consistente en una cara vertical o inclinada del paramento de aguas arriba y está constituido por una cresta de control de curva, la cresta tiene esta forma con el fin de que la superficie del agua no produzca vacíos al escurrir, provocando el fenómeno de cavitación, para esto, debe tener aproximadamente la forma de la superficie inferior de la lámina vertiente de un vertedor de cresta delgada.

Los cimacios han resultado una solución satisfactoria cuando necesitamos de una estructura para controlar y regular los derrames de un vaso almacenador (embalse), o para regular el caudal que vierte sobre el mismo, es así, que se han convertido, al pasar de los años en parte de las denominadas obras de excedencias en proyectos hidráulicos; tales como: tomas de agua, represas, hidroeléctricas, etc.

Debido a su eficiencia, este vertedero es la que se usa en la mayor parte de estructuras de control. El desarrollo del vertedero de cresta de moldadura (tipo cimacio o Creager) consta de cresta que sigue muy de cerca el perfil de la superficie interior de una lámina ventilada que circule sobre un vertedor rectangular de pared delgada (Chow, 1994).

✓ Diseño hidráulico de cimacios

Según la Unidad Técnica Especializada, Coussa (2011), en pequeñas obras de captación, el cimacio deberá ser recto en planta y perpendicular al eje del canal de descarga. La sección del cimacio deberá tener la forma de un perfil tipo "Creager" para evitar el desarrollo de presiones negativas en la cresta.

Se buscará que el canal de descarga tenga una pendiente mayor a la crítica y con descarga libre en su base.

Los vertedores de cimacio tienen una sección en forma de “S”. La curva superior del cimacio, de un vertedor de cresta delgada, se ajusta rigurosamente al perfil de la superficie inferior de una lámina de agua con ventilación y constituye la forma ideal para obtener óptimas descargas.

La forma de esta sección depende de la descarga, de la inclinación del paramento de aguas arriba de la sección vertedora sobre el piso del canal de llegada.

Un vertedor de cimacio, para fines de diseño hidráulico, se considera como vertedor de pared delgada donde la cresta se ajusta a la forma de la vena líquida de salida (Chow, 1994).

Vertedero de Cresta tipo WES

La U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 1952, ha desarrollado varias formas estándar, representadas por la ecuación:

$$X^n = KH_d^{n-1}Y \dots (15)$$

Donde:

X e Y= coordenadas del perfil de la cresta (m).

H_d= altura de diseño excluida la carga de velocidad de aproximación del flujo (m).

K, n = constantes que dependen de la pendiente del paramento de aguas arriba del azud.

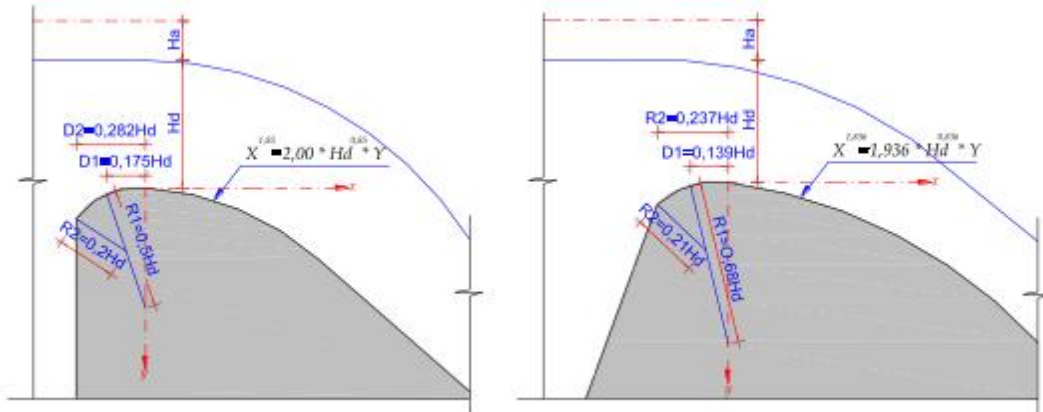
Las secciones están constituidas además por una curva circular compuesta hacia aguas arriba, con los radios expresados en función de la altura de diseño.

Tabla 2. Radios y diámetros para el diseño del vertedero WES

PARAMENTO	R1	R2	D1	D2
Vertical	0.5*H _d	0.2*H _d	0.175*H _d	0.282*H _d
Relación 3:1	0.68*H _d	0.21*H _d	0.139*H _d	0.237*H _d
Relación 3:2	0.48*H _d	0.22*H _d	0.115*H _d	0.214*H _d
Relación 3:3	0.45*H _d	-	0.119*H _d	-

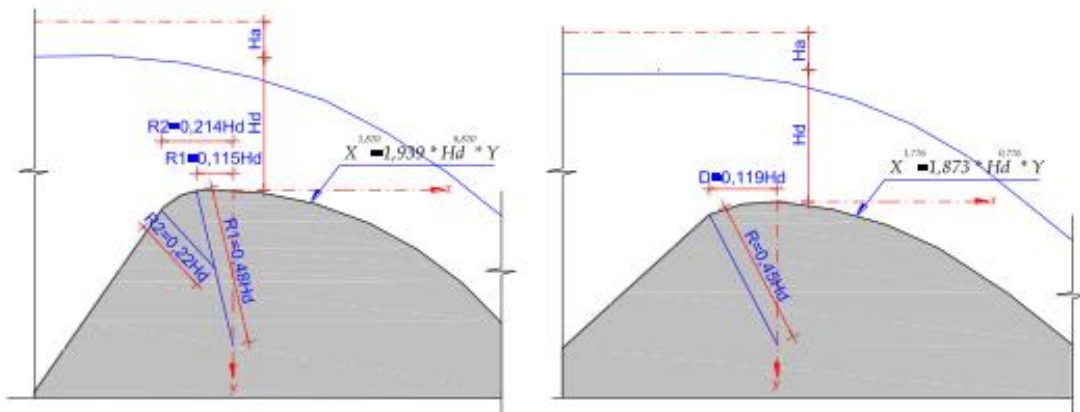
Fuente: U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 1952.

Figura 14. Formas estándar del vertedero WES (Waterways Experiment Station)



Fuente: U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 1952.

Figura 15. Formas estándar del vertedero WES (Waterways Experiment Station)



Fuente: U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 1952.

Tabla 3. Constantes k y n para diferentes pendientes del paramento

Pendiente paramento (V:H)	K	n
Vertical	2.00	1.85
3:1	1.936	1.836
3:2	1.939	1.810
3:3	1.873	1.776

Fuente: U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 1952.

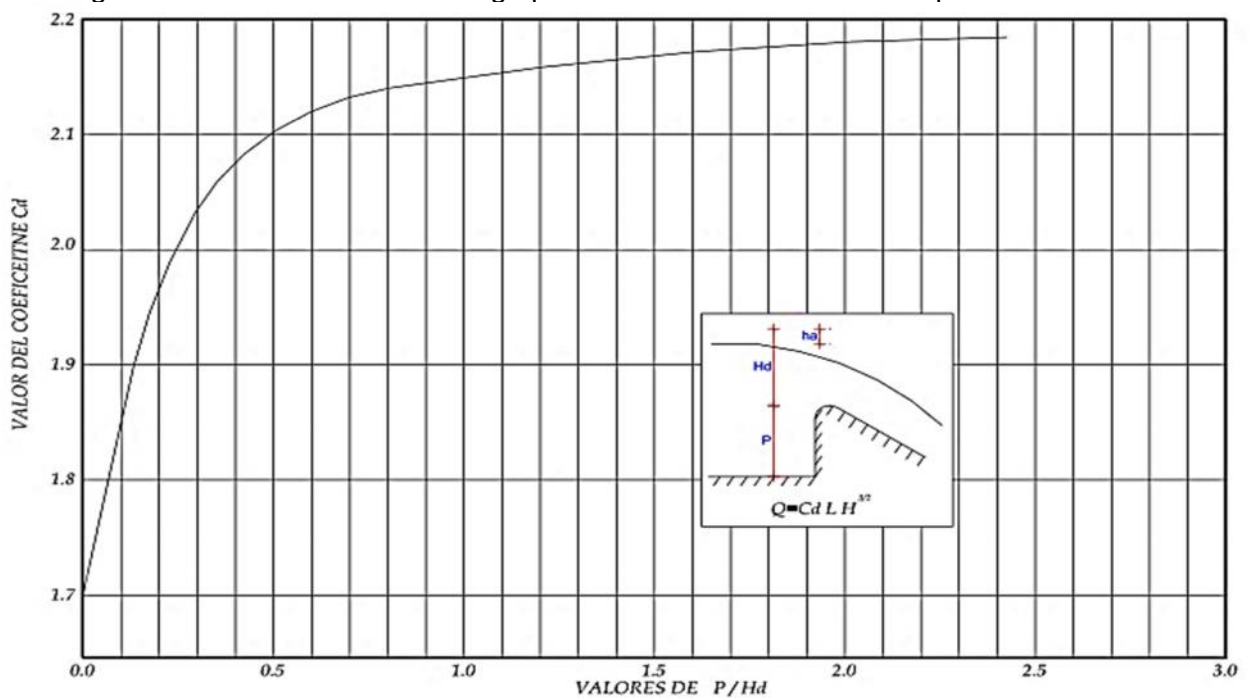
Si $0 \leq \frac{P}{H} < 0.5$, se tiene que: $C_d = -2.025 \left(\frac{P}{H_0}\right)^2 + 1.8 \left(\frac{P}{H_0}\right) + 1.704...$ (16)

Si $0.6 \leq \frac{P}{H} < 2.5$, se tiene que: $C_d = -0.034 \left(\frac{P}{H_0}\right)^2 + 0.145 \left(\frac{P}{H_0}\right) + 2.031...$ (17)

Si $\frac{P}{H} \geq 2.5$, se tiene que: $C_d = 2.18...$ (18)

Estos coeficientes son válidos si la carga sobre el vertedero (H_e) corresponde a la carga de diseño (H_0) del cimacio.

Figura 16. Coeficiente de descarga para las crestas de cimacio en pared vertical

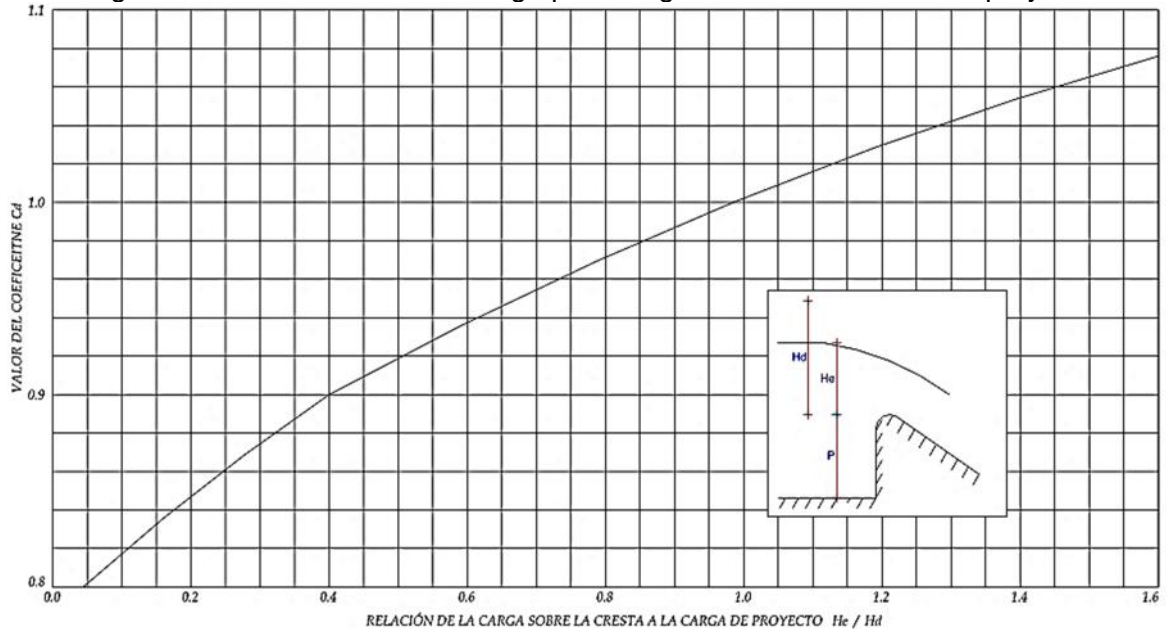


Fuente: United States Bureau of Reclamation, 1987.

La corrección del factor C_d se puede determinar mediante la ecuación:

$$C_1 = 0.212 \left(\frac{H}{H_0}\right)^{2/3} + 0.788 \dots (19)$$

Figura 17. Coeficiente de descarga para cargas diferentes de las del proyecto



Fuente: United States Bureau of Reclamation, 1987.

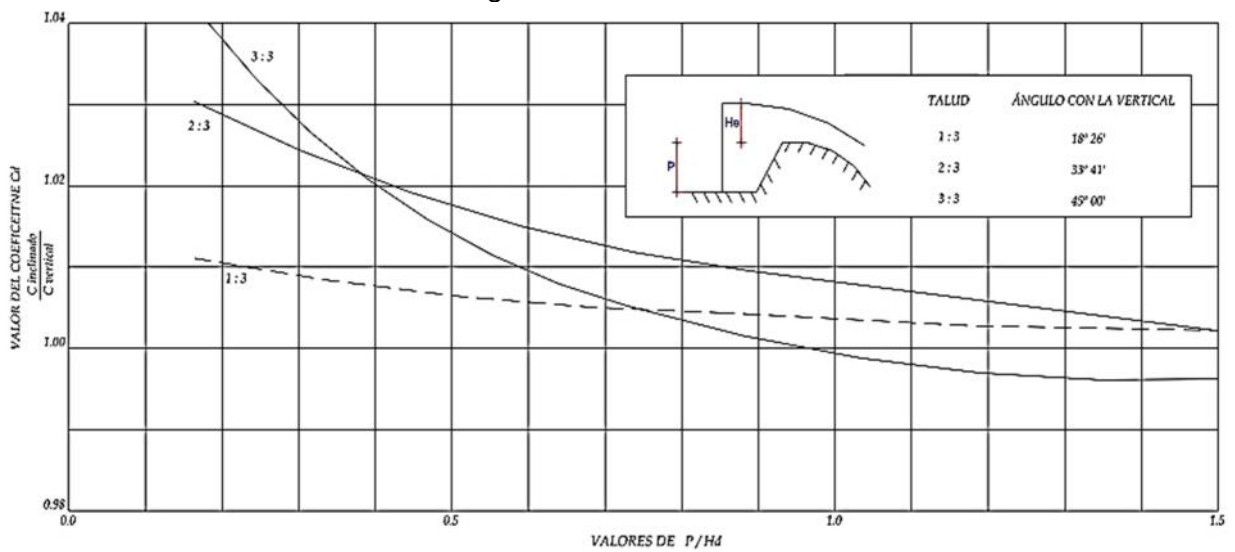
Se tienen además, otros factores de corrección:

C_2 = Por efectos del talud del paramento aguas arriba. Figura 16.

C_3 = Por efectos de elevación del piso aguas abajo del dique. Figura 17.

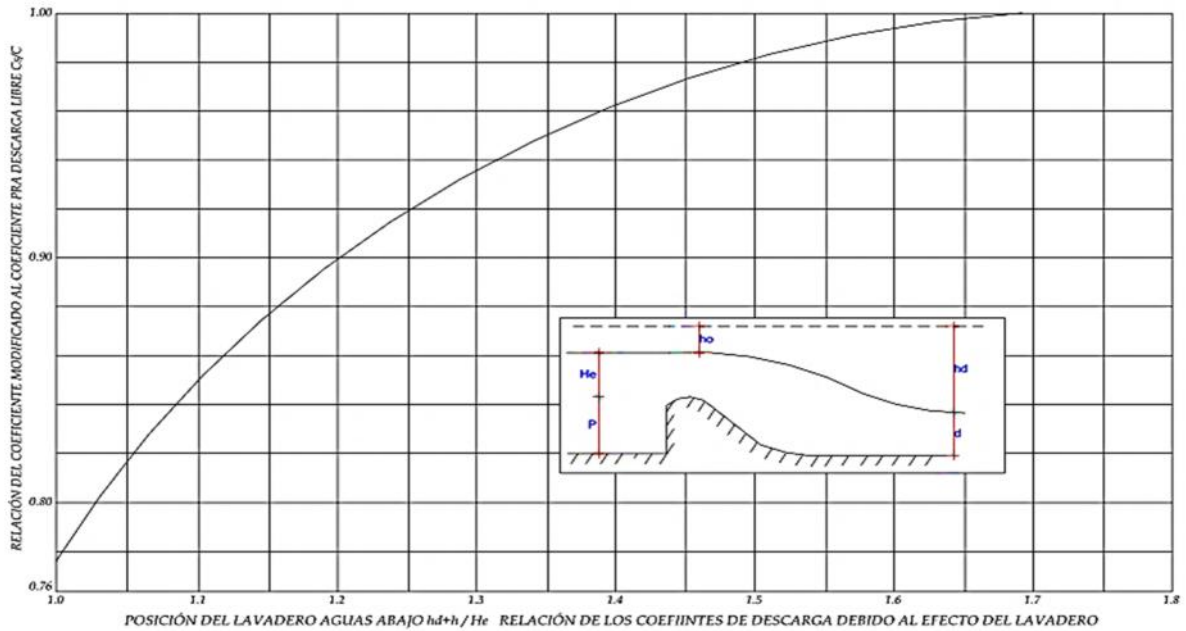
C_4 = Por sumergencia. Figura 18.

Figura 18. Coeficiente de descarga para una cresta de vertedero con paramento de aguas arriba inclinado



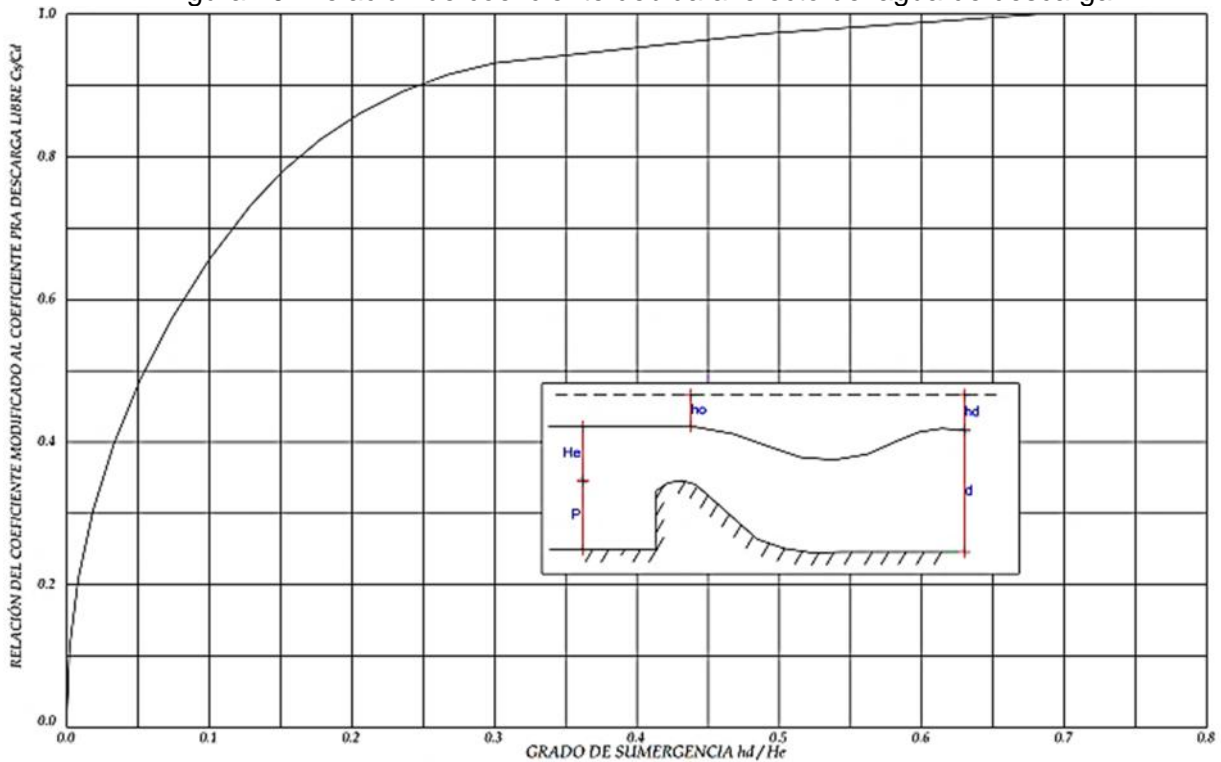
Fuente: United States Bureau of Reclamation, 1987.

Figura 19. Relación de coeficiente de descarga debido al efecto del lavadero



Fuente: (United States Bureau of Reclamation, 1987)

Figura 20. Relación de coeficiente debida al efecto del agua de descarga



Fuente: United States Bureau of Reclamation, 1987.

2.2.3.1. Correntómetros (Molinetes)

Villón, 2002, menciona que el molinete o correntómetro es un instrumento que tiene una hélice o rueda de cazoletas, que gira al introducirla en una corriente de agua. Estos aparatos miden la velocidad en un punto dado del curso del río.

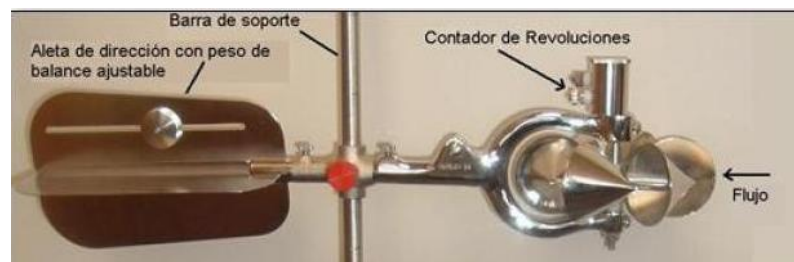
✓ Tipos de correntómetros

Existen 3 tipos de molinetes:

Correntómetros de eje vertical

De eje vertical (Figura 21), sin hélice, donde el elemento móvil son pequeñas copas (como en un anemómetro).

Figura 21. Molinete de eje vertical (Americano)

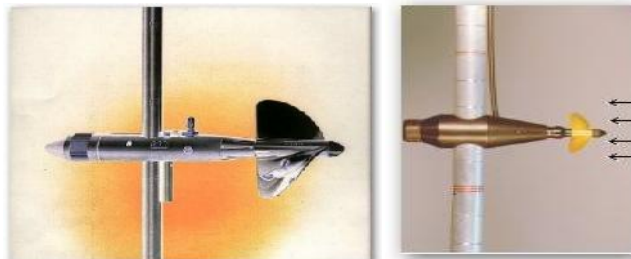


Fuente: Gómez, 2011.

Correntómetros de eje horizontal

De eje horizontal, el elemento móvil es una hélice, como los correntómetros OTT que pueden verse en la Figura 22.

Figura 22. Molinetes de eje horizontal (Europeos)



Fuente: Gómez, 2011.

Los molinetes, son vendidos con un certificado de calibración, sobre el que se indica la fórmula que debe utilizarse para calcular las velocidades, a partir del número de vueltas por segundo de la hélice determinada, la cual, puede ponerse bajo la forma:

$$V = a * N + b \dots(20)$$

Donde:

V = velocidad de la corriente, en m/s

N = número de vueltas (revoluciones) de la hélice por segundo a = paso real de la hélice, en m

b = velocidad llamada de frotamiento, en m/s.

(Villón, 2002)

Correntómetro electromagnético

Es un instrumento utilizado para medir velocidad y dirección de flujo en diferentes aplicaciones, por ejemplo: Investigación en laboratorios, medición de campo en aguas dulces y saladas hasta 10m de profundidad, medición de turbulencias hasta 10Hz y en respuesta dinámica y aplicaciones en aguas contaminadas donde por obstrucción no funcionan los molinetes (Gómez, 2011).

La medición con molinete o correntómetro se basa en el conteo del número de revoluciones que da una hélice colocada en el sentido de flujo, las cuales son proporcionales a la velocidad del flujo. El número de revoluciones se da a conocer a través de señales sonoras, visuales o por contadores eléctricos (Villón, 2002).

✓ **Condiciones de la sección de aforo con correntómetros:**

- La ubicación ideal de una sección es aquella donde:
 - Los filetes líquidos son paralelos entre sí.
 - Las velocidades sean suficientes, para una buena utilización del correntómetro.
 - Las velocidades son constantes para una misma altura de la escala limnimétrica.
- La primera condición exige:

- Un recorrido rectilíneo entre dos riberas o márgenes francas. Un lecho estable.
- Un perfil transversal relativamente constante, según el perfil en longitud.

✓ **Cálculo del caudal con correntómetro**

Las mediciones con un aforador pueden hacerse desde un puente, un carrito suspendido de un cable aéreo o un bote, o bien, si la corriente es poco profunda y bastante pequeña, vadeándola.

Se toma primeramente un punto de referencia inicial permanente y después se marcan distancias, generalmente de 1.50 a 3.0m, a lo largo del puente o del cable aéreo o de una línea especial tendida transversalmente al canal.

En corrientes pequeñas y poco profundas, en que el aforo se hace por vadeo, se tiende a veces una cinta de tela transversalmente a la corriente desde el punto inicial. Luego se hacen sondeos u aforos con el medidor de corriente, aforos para determinar las profundidades y las velocidades medias verticales que pasen por puntos bien elegidos a lo largo de la sección transversal del canal.

Estos puntos deberán situarse en los cambios bruscos de velocidad o del perfil del fondo.

Cuando las condiciones son bastante uniformes se acostumbra hacer las mediciones en puntos igualmente distanciados. Por lo general, es necesario hacer una o dos mediciones cerca de ambas márgenes del canal. Al elegir los puntos se deberá procurar que el promedio de las velocidades tomadas en dos verticales adyacentes dé aproximadamente la velocidad media entre ellas y además que el promedio de las profundidades en puntos adyacentes sea aproximadamente la profundidad media entre ellos. La velocidad media en una vertical se obtiene por uno de los métodos siguientes:

1. Curvas de variación vertical de la velocidad.
2. Velocidad a 0.6 de la profundidad.
3. El promedio de las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad.

4. Integración, es decir, moviendo el medidor lentamente a velocidad uniforme desde la superficie libre hasta el fondo del canal y volviendo nuevamente a dicha superficie y observando el tiempo y el número de revoluciones. Este método no se recomienda a observadores sin experiencia.
5. Una medición de la velocidad cerca de la superficie libre de la corriente, a la cual se aplica un coeficiente (0.80 a 0.95, siendo el promedio 0.85) para reducirla a la velocidad media. A veces se recurre a este método aproximado cuando la corriente es demasiado rápida para hacer medidas a las profundidades requeridas por cualquiera de los métodos anteriores (Vera, 2000-2001).

La medición del caudal por el método de exploración del campo de velocidades o área– velocidad es el más extendido.

Se apoya sobre el hecho que la velocidad del flujo no es uniforme en la sección transversal del curso de agua, por lo cual es necesario explorar el campo de las velocidades realizando medidas en diferentes puntos de la sección.

La profundidad del río en la sección transversal se mide en verticales; al mismo tiempo que se mide la profundidad, se hacen mediciones de la velocidad en uno o más puntos de la vertical. La medición del ancho, de la profundidad y de la velocidad permite calcular el caudal correspondiente a cada sub-área de la sección transversal. La suma de los caudales de estos segmentos representa el caudal total.

Gómez, 2011, menciona que para poder determinar el caudal circulante en una sección de control de una estación hidrométrica es necesario conocer la velocidad del flujo, por ellos se considera la existencia de una línea imaginaria de medición de velocidades, la cual es perpendicular a la línea de corriente.

Dicha línea por regla general tiene que ser seccionada en intervalos iguales para lo cual existe una relación entre el ancho superficial del río y la separación entre puntos de medición.

Dependiendo del método utilizado para la determinación del caudal, se determinan las velocidades promedio en cada una de las verticales.

Tabla 4. Relación entre el ancho superficial y la separación entre puntos

ANCHO SUPERFICIAL (m)	DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE MEDICIÓN (m)
Menos de 10 m	Porcentaje de 10% - 15%
10 – 20	Ancho superficial 1
20 – 40	2
40 – 60	3
60 – 80	4
80 – 100	5
100 – 150	6
150 – 200	10
Más de 200	15

Fuente: Gómez, 2011.

En un río el caudal (a) se calcula utilizando las mediciones de las velocidades (v) y de las profundidades en una sección transversal de área A, y se define como:

$$Q = \int_A^f V * dA \dots(21)$$

La integral se aproxima sumando los caudales incrementales calculados para cada medición i, i = 1,2,..., n, de las velocidad V_i y profundidad d_i . Las mediciones representan valores promedio a lo largo de un ancho w_1 de la corriente, luego el caudal se calcula como:

$$Q = \int_{i+1}^n V_i * w_1 * d_i \dots(22)$$

Existen diferentes tipos de métodos para conocer el caudal de una corriente sea un río o canal. Mencionamos los más conocidos:

MÉTODOS ARITMÉTICOS

Son métodos mucho más rápidos que los gráficos y son especialmente más útiles para la evaluación hecha sobre el terreno.

- **Método de la Sección Media**

Para este método, es necesario considerar una sección de control, lo cual se dividen en un cierto número de franjas las mismas que se encuentran limitada por las líneas

de medición. Si V_1 es la velocidad media en la primera línea de medición y V_2 la velocidad media en la segunda línea de medición.

Independientemente del método que se haya utilizado para determinar estos valores (0.6, 0.2-0.8, 0.2 – 0.6 – 0.8), y siendo d_1 y d_2 las profundidades totales de las respectivas líneas de medición, y B la distancia horizontal entre ellas. Entonces el caudal del tramo 1 – 2 será igual a:

$$q_{1,2} = \frac{V_1+V_2}{2} * \left(\frac{d_1+d_2}{2} * B\right) \dots(23)$$

Donde:

V_1, V_2 : Promedio de las velocidades en cada línea de Medición.

d_1, d_2 : Profundidades de las líneas de medición.

B : Distancia entre las líneas de medición.

$q_{1,2}$: Caudal parcial en el tramo 1 – 2.

$$Q = \sum q_{(n,n+1) \dots n} \dots(24)$$

La ecuación que se muestra anteriormente es utilizada por cada una de los tramos en que se divide la sección de control. Por lo tanto el caudal total será la sumatoria de todos los caudales parciales de cada uno de los tramos es decir:

Q = Caudal total (m^3 / seg) que discurre por la sección transversal.

(Gómez, 2011)

✓ Cálculo de la sección transversal

Cálculo del área promedio del tramo:

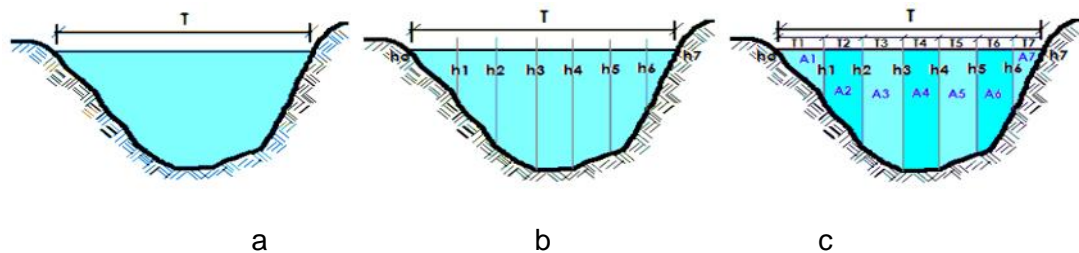
- Calcular el área en la sección A (AA)
- Calcular el área en la sección B (AB)
- Calcular el área promedio:

$$A = \frac{A_A+A_B}{2} \dots(25)$$

Cálculo del área en una sección

Para calcular el área en cualquiera de las secciones, hacer lo siguiente:

Figura 23. Cálculo del área en una sección



Fuente: Aparicio, 1992.

- Medir el espejo de agua (T) (Figura 23 a).
- Dividir (T), en cinco o diez partes (midiendo cada 0.20, 0.30, 0.50, etc.), y en cada extremo medir su profundidad (Figura 23b).
- Calcular el área para cada tramo, usando el método del trapecio (Figura 23c).

$$A_1 = \left(\frac{h_0 + h_1}{2} \right) * T_1 \dots (26)$$

- Calcular el área total de una sección:

$$A_A = \sum A_i \dots (27)$$

✓ Método de aforo con correntómetro (velocidad directa)

Según Gómez (2011), existen tres métodos de Aforo con Correntómetro según a la profundidad promedio del tirante de la sección del río y según la exactitud requerida, las cuales son:

Método de un punto o método de los 6/10

Este método es aplicable cuando no es posible hacer mediciones profundas. Es el más sencillo y consiste en determinar la velocidad utilizando el correntómetro, para lo cual debe ubicarse a 0.6 de la distancia del tirante por debajo de la superficie de agua, es decir, la velocidad media coincide con la velocidad a 0.6H, de la profundidad.

$$V_m = V_{0.6} \dots(28)$$

Donde:

V_m = Velocidad Media

H = Profundidad Total

La práctica ha demostrado que este método presenta buenos resultados si el tirante tiene profundidades entre los 0.10 y 0.75 metro. Para valores de tirante superiores a los mencionados anteriormente se recomienda utilizar el método de los dos puntos.

Método de los Dos Puntos

Este método es más exacto que el método anterior. La medición de las velocidades se realiza a los 0.20 y a los 0.80 de la profundidad y el promedio aritmético de ambos se considera como la velocidad media vertical. Como se mencionó antes, este método es aplicable para tirantes que son superiores a 0.75 m.

$$V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \dots(29)$$

Donde:

V_m = Velocidad Media

H = Profundidad Total

Método de los Tres Puntos

Este método es aplicable para profundidades de tirantes mayores a 0.75 metros y cuando la velocidad del flujo es alterada por existencia de objetos en el cauce. Las velocidades son determinadas a 0.20, 0.60 y 0.80 de la profundidad. La determinación de la velocidad media vertical se obtiene promediando primero la velocidad a 0.20 y 0.80 y este resultado se promedia con la velocidad obtenida a 0.60 en el caso que se quiera dar igual peso a las observaciones, se emplea la media aritmética de la observación.

$$V_A = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \dots(30)$$

$$V_m = \frac{V_A + V_{0.6}}{2} \dots(31)$$

Donde:

V_m = Velocidad Media

H = Profundidad Total

En el caso que se desea obtener más precisión en la observación se realiza observaciones a 0.20, 0.40, 0.60, y 0.80 de la profundidad del tirante (Gómez, 2011).

2.2.3.2. Otros métodos (Métodos Indirectos)

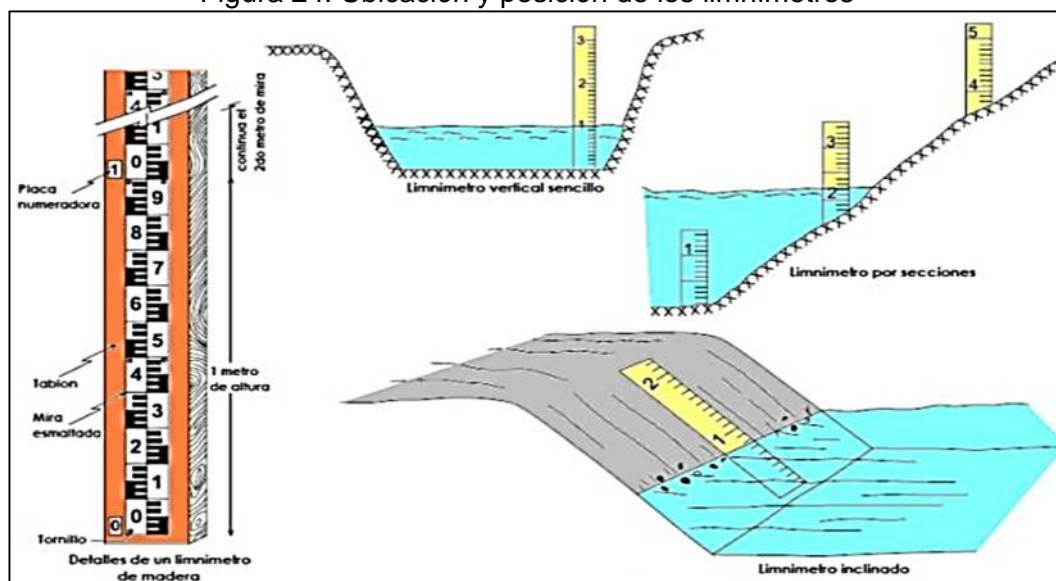
Según Cahuana y Yugar (2009), este tipo de medición de caudales se realiza mediante una regla limnimétrica y/o limnógrafo, los cuales miden las alturas de agua en el tiempo.

✓ Limnómetros

Los limnómetros son escalas graduadas en centímetros firmemente sujetados en el lecho y dentro de una sección de control; están destinados a la observación directa del nivel de agua de los ríos por un operario que acude diariamente a tomar nota de la altura del agua.

Los limnómetros más comunes son los de madera que son colocados normalmente en la orilla de los ríos, de tal manera que el cero de la escala coincida con el fondo del cauce.

Figura 24. Ubicación y posición de los limnómetros

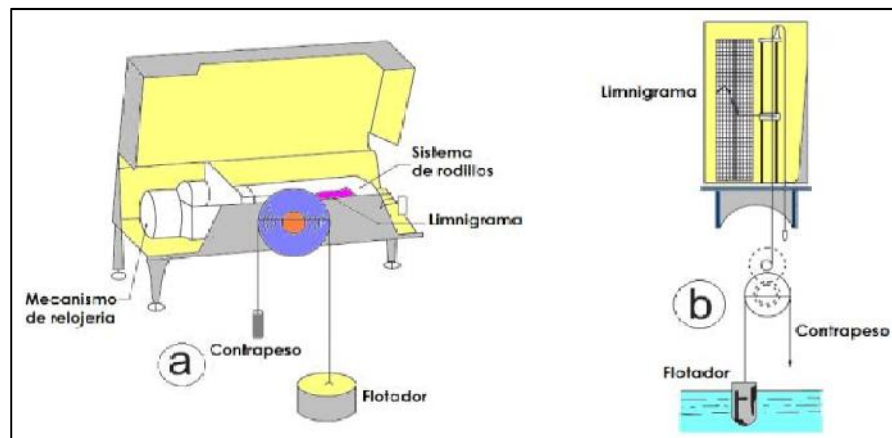


Fuente: Cahuana y Yugar, 2009.

✓ **Limnógrafos**

Los limnógrafos son aparatos que registran continuamente las variaciones del nivel del agua. Son dos los sistemas fundamentales de funcionamiento de estos aparatos: uno basado en el registro del movimiento de un flotador y otro basado en el registro de la variación de la presión del agua.

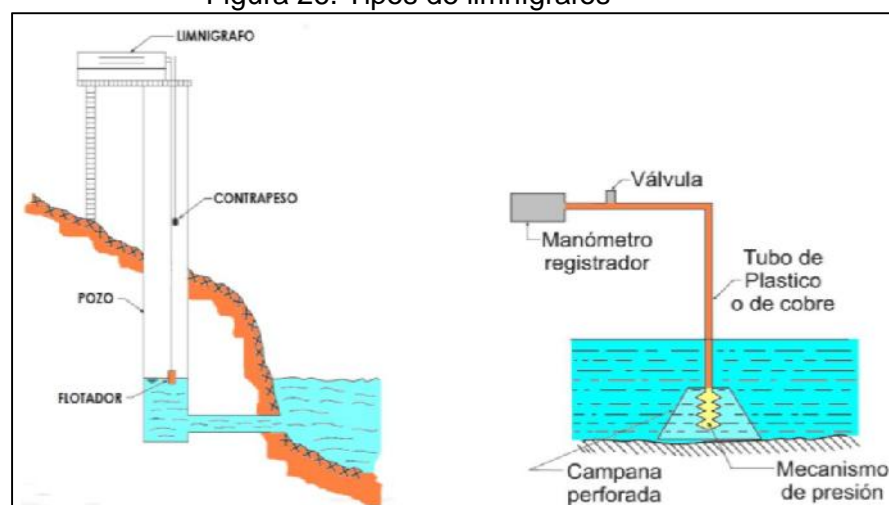
Figura 25. Limnógrafos de flotador



Fuente: Cahuana y Yugar, 2009.

Un aparato registrador tipo flotador requiere de un pozo amortiguador que sirve para proteger el flotador y los cables de contrapeso de los residuos flotantes y de las olas superficiales de la corriente (Figura 26.a).

Figura 26. Tipos de limnógrafos



(a)

(b)

Fuente: Cahuana y Yugar, 2009.

En el caso de los limnógrafos de presión (Figura 26.b), las fluctuaciones del nivel del agua ejercen variaciones de presión sobre diversos mecanismos instalados en el fondo del cauce, según el modelo del aparato, esas variaciones son transmitidas a un manómetro comunicado con el tambor del limnógrafo en el que se registran gráficamente.

Este tipo de aparatos no requieren pozo amortiguador y se emplean en ríos con orillas muy tendidas. Toda instalación de limnógrafo exige una instalación de limnómetro para referencia.

Definición de términos básicos

Carga Hidráulica o Tirante (H)

Espesor del chorro medida entre la superficie libre aguas arriba del vertedero a una distancia suficientemente grande (entre 3.5 a 4 veces el espesor de chorro máximo sobre la cresta del vertedero) para que no se manifieste el abatimiento de la napa en la cresta.

Altura alcanzada por el agua, la cual se considera desde la cota de la cresta o solera del vertedero. En rigor, debe utilizarse como carga efectiva sobre el vertedero la suma de Bernoulli de aguas arriba sobre el nivel de la corona:

$$H = h + \frac{V^2}{2g} \dots (32)$$

En la práctica el valor del término cinético $V^2/2g$ no se toma en cuenta; aunque solo tiene validez cuando la altura de barrera es muy grande con respecto a la carga.

Coeficiente de descarga (C)

Los valores de los coeficientes de descarga (C) dependen fundamentalmente de la forma del vertedor, es decir, adquieren valores diferentes cuando el borde aguas arriba es recto o bien está redondeado (IMTA, 2012).

Aforo

Conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado. Su objetivo es correlacionar el nivel de agua con el caudal o gasto para obtener la curva de descarga o calibración (Cahuana y Yugar, 2009).

Caudal

El Gasto o caudal, volumen de agua que pasa por determinada sección transversal del cauce del río en un intervalo de tiempo y se expresa en m³/s o Litro/s (Cahuana y Yugar, 2009).

Hidrometría

En forma clásica, se define la Hidrometría como la parte de la Hidrología que tiene por objeto medir el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo dentro de una sección transversal de flujo (Gómez, 2012).

Ciencia que trata de la medición y análisis del agua incluyendo métodos, técnicas e instrumentos utilizados en hidrología (Vera, 2002).

Perfil de Creager

Forma de vertedero desarrollada a partir de una extensión matemática de los datos originales de Bazin en 1886 – 1888 (Creager, 1917 citado por Chanson, 2002).

Vertedero

Presa pequeña en un río utilizada para elevar el nivel del agua aguas arriba. Vertederos de medición se construyen a lo largo de las corrientes con el propósito de medir el flujo (Chanson, 2002).

Vertedero de canal lateral

Un vertedero de canal lateral consiste en un vertedero abierto (a lo largo del lado de un canal) que descarga en un canal que corre a lo largo del pie del vertedero y moviendo el flujo hacia fuera en dirección paralela a la cresta del vertedero (Chanson, 2002).

Vertedero de cresta ancha

Un vertedero de cresta larga plana se conoce como un vertedero de cresta ancha cuando la relación entre la longitud de la cresta con respecto a la cabeza aguas arriba es mayor que 1.5 a 3. Si la cresta es lo suficientemente larga, la distribución de presiones a lo largo de esta es hidrostática; la profundidad del flujo es igual a

la profundidad crítica de flujo $d_c = (q^2/g)^{1/3}$... (33) y el vertedero puede utilizarse como un medidor de profundidad crítica (Chanson, 2002).

USBR

Oficina de Reclamación de los Estados Unidos (por su sigla en inglés, *United States Bureau of Reclamation*) (Chanson, 2002).

2.3. Hipótesis

El coeficiente de descarga en los dos vertederos de pared gruesa tipo cimacio del río Chonta presenta tendencia ascendente, es decir, aumentan cuando el valor de P/H aumenta.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

3.1.1. Variables independientes

- ✓ Forma de la cresta de Vertedero (V1, V2)
- ✓ Carga Hidráulica (H)

Tabla 5. Variable independiente 1, niveles y tratamientos en estudio

VARIABLE 1	NIVELES	TRATAMIENTOS	CÓDIGO
Forma de cresta de Vertedero	Vertedero Tartar Grande	Modelamiento Hidráulico -Levantamiento Topográfico en campo de crestas para hacer modelos a escala en laboratorio	LT-GT-VTG
	Vertedero Salto Sky		LT-GT-VSS

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 6. Variable independiente 2, niveles y tratamientos en estudio

VARIABLE 2	NIVELES	TRATAMIENTOS	CÓDIGO
Carga Hidráulica (H)	Vertedero Tartar Grande	Modelamiento Hidráulico – Medir carga hidráulica en campo y realizar el aforo con correntómetro en el mismo tiempo	NM-GT-UPNC:VTG VCC-GT-UPNC:VTG
	Vertedero Salto Sky		NM-GT-UPNC:VSS VCC-GT-UPNC:VSS

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2. Variables dependientes

- ✓ Coeficiente de descarga (C)
- ✓ Caudal (Q)

Tabla 7. Operacionalización de variable dependiente 1

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	ÍNDICE
Coeficiente de descarga	Coeficiente adimensional que sirve para la determinación de caudales en función de la carga hidráulica.	No aplica	Adimensional

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8. Operacionalización de variable dependiente 2

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	ÍNDICE
Caudal	El Gasto o caudal, volumen de agua que pasa por determinada sección transversal del cauce del río o canal en un intervalo de tiempo.	Volumen	Metro cúbico (m ³) Litro (L)
		Tiempo	Segundos (s)

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Diseño de investigación

Tiene diseño experimental, ya que se manipula una o más variables independientes, para evaluar lo que sucede en una o más variables dependientes y las unidades de estudio son asignadas al azar.

3.3. Unidad de estudio

Vertedero de pared gruesa tipo cimacio del río Chonta – Cajamarca.

3.4. Población

Vertederos de pared gruesa tipo cimacio del río Chonta – Cajamarca, tramo Otuzco – Baños del Inca.

3.5. Muestra

Vertederos de pared gruesa tipo cimacio del río Chonta – Cajamarca, tramo Otuzco – Baños del Inca.

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos corresponden al modelamiento hidráulico para dos de los vertederos del río Chonta – Cajamarca, para mejor ilustración, se presenta la tabla siguiente:

Tabla 9. Recolección de Datos de las variables en estudio

Variables	Recolección de Datos		
	Fuente	Técnica	Instrumentos
Forma de Vertedero	Visita de campo a los vertederos del río Chonta – Tramo Otuzco Baños del Inca	Observación directa cualitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara Fotográfica • GPS • Bases teóricas del tipo de vertedero
Forma de cresta y Pendiente aguas arriba del Vertedero	Levantamiento topográfico de los vertederos seleccionados	Observación directa cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Estación Total • Trípode de madera • Prisma • Porta prisma • GPS • Wincha
Caudal	Aforo del río Chonta aguas arriba de cada vertedero	Observación directa cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Correntómetro • Mira • Nivel de Ingeniero • Ficha de observación
Coefficiente de Descarga	Modelamiento Hidráulico en laboratorio LH-UPNC	Observación directa cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Canal de pendiente variable • Vernier • Ficha de observación

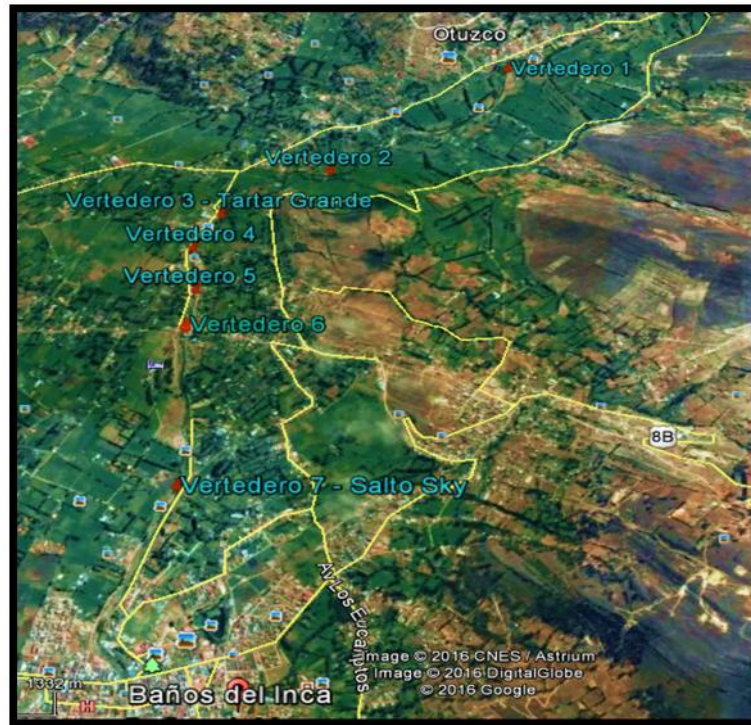
Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1. Procedimiento de recolección de datos

✓ Visita de campo a los vertederos del río Chonta

Como primera parte se realizó el reconocimiento del área de trabajo el río Chonta, tramo Otuzco – Baños del Inca, el recorrido se realizó a pie, lo cual sirve como ayuda para determinar la forma de cresta de cada uno de los vertederos existentes a lo largo de dicho tramo, para seleccionar los vertederos del tipo a analizar en esta investigación (vertederos de pared gruesa tipo cimacio).

Figura 27. Ubicación de los vertederos del río Chonta



Fuente: Google Earth, 2016.

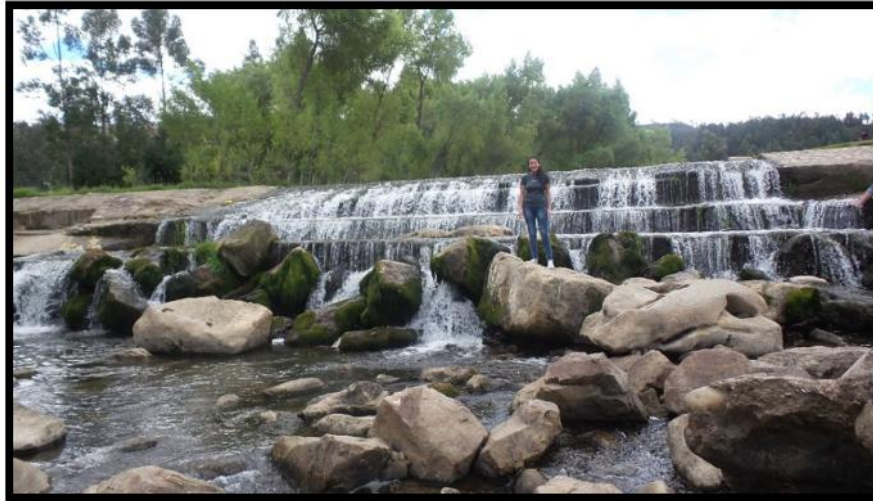
Vertedero 1

Tabla 10. Características del Vertedero 1

VERTEDERO 1	
Coordenadas Este	781125
Coordenadas Norte	9211507
Altura	2714
Referencia	Otuzco
Descripción	El tipo de vertedero es de pared gruesa de forma rectangular.

Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 1. Primer vertedero visitado



Fotografía 2. Perfil del Primer vertedero



Vertedero 2

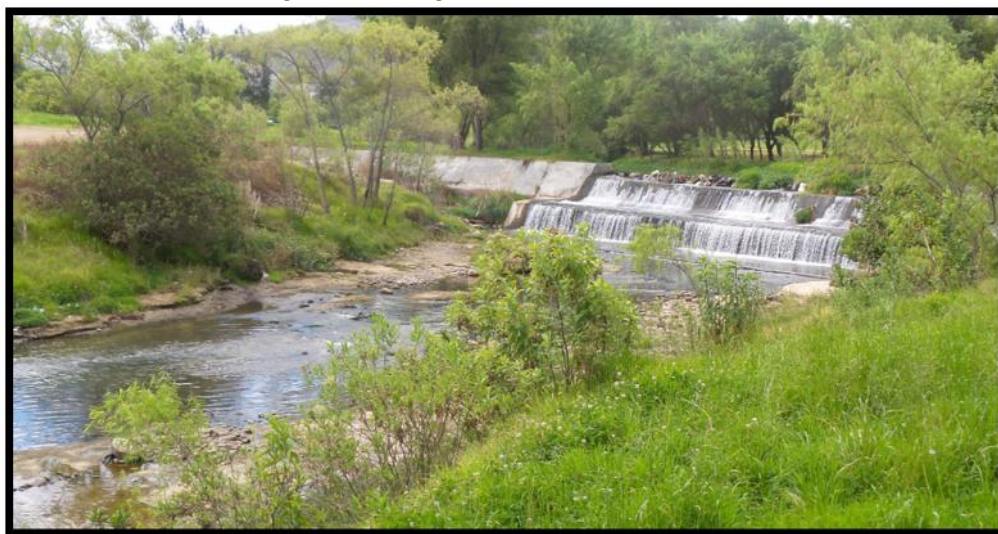
Tabla 11. Características del vertedero 2

VERTEDERO 2	
Coordenadas Este	780255
Coordenadas Norte	9210572
Altitud	2707
Referencia	Otuzco
Descripción	El tipo de vertedero es de pared gruesa de forma rectangular.
Fuente: Elaboración Propia.	

Fotografía 3. Segundo vertedero de perfil



Fotografía 4. Segundo vertedero vista frontal



Vertedero 3

Tabla 12. Características del vertedero 3

VERTEDERO 3	
Coordenadas Este	779745
Coordenadas Norte	9210170
Altitud	2700
Referencia	Tartar Grande, puente colgante
Descripción	El tipo de vertedero es de pared gruesa de Tipo cimacio.

Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 5. Tercer vertedero vista isométrica



Fotografía 6. Tercer vertedero vista frontal



Vertedero 4

Tabla 13. Características del vertedero 4

VERTEDERO 4	
Coordenadas Este	779618
Coordenadas Norte	9209904
Altitud	2696
Referencia	Tartar Chico
Descripción	El tipo de vertedero es de pared gruesa de cresta redondeada, presenta dientes en el estanque de amortiguamiento.

Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 7. Cuarto vertedero visitado



Vertedero 5

Tabla 14. Características del vertedero 5

VERTEDERO 5	
Coordenadas Este	779693
Coordenadas Norte	9209605
Altitud	2695
Referencia	Tartar Chico
Descripción	Vertedero de pared gruesa de cresta redondeada, de 20 m de ancho, cuenta con una poza disipadora.

Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 8. Quinto vertedero visitado



Vertedero 6

Tabla 15. Características del vertedero 6

VERTEDERO 6	
Coordenadas Este	779980
Coordenadas Norte	9205280
Altitud	2692
Referencia	Viaducto
Descripción	El tipo de vertedero es de pared gruesa de forma rectangular.

Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 9. Sexto vertedero de perfil



Vertedero 7

Tabla 16. Características del vertedero 7

VERTEDERO 7	
Coordenadas Este	779902
Coordenadas Norte	9208329
Altitud	2689
Referencia	Salto Sky, frente al Club Los Incas
Descripción	El tipo de vertedero es de pared gruesa de tipo cimacio con dissipador de energía.

Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 10. Séptimo vertedero visitado – Salto Sky



Fotografía 11. Séptimo vertedero – Salto Sky (Mes de Febrero)



Fuente: Calua et. al., 2015.

✓ **Levantamiento Topográfico de los vertederos a analizar**

Se realiza el levantamiento topográfico para obtener las medidas exactas de las dos estructuras de captación reales (prototipos), elegidas en el análisis de la visita de campo.

Generalidades

Ubicación de los vertederos

Departamento : Cajamarca
Provincia : Cajamarca
Distrito : Baños del Inca
Centro Poblado : Otuzco
Altitud : 2700 msnm

Macro-localización de los vertederos

Figura 28. Perú. Localización geográfica del departamento de Cajamarca



Fuente: Google, 2016.

Figura 29. Ubicación del Departamento de Cajamarca y sus Provincias



Fuente: Google, 2016.

Figura 30. Ubicación de la Provincia de Cajamarca y sus Distritos



Fuente: Google, 2016.

Micro-localización del vertedero 3

Figura 31. Ubicación del Vertedero 3



Fuente: Google Earth, 2016.

Acceso al vertedero 3 – Tartar Grande

Para llegar al vertedero 3, partiendo el cruce de la Av. Hoyos Rubio y la Av. Vía de Evitamiento Norte de la ciudad de Cajamarca, existen las siguientes rutas:

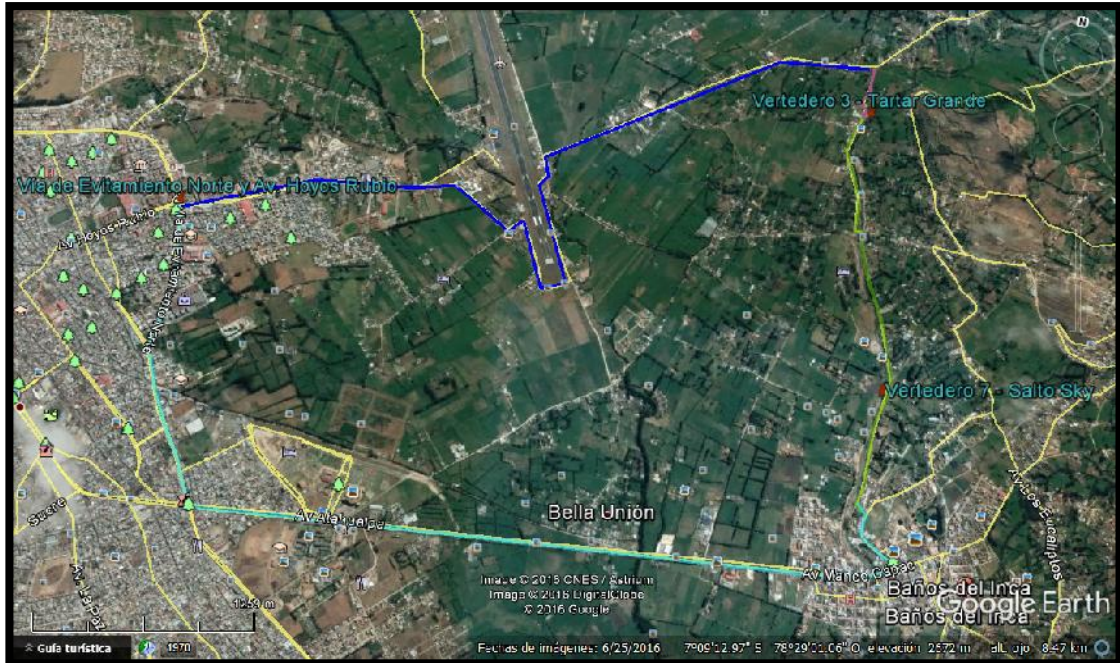
La primera ruta: En auto, mediante la carretera asfaltada hacia el centro poblado de Otuzco, hasta el desvío a Baños del Inca, 6.2 Km, desde ahí hasta el vertedero 3 existe una distancia de 420 m, mediante carretera asfaltada. Se detalla a continuación, mediante el siguiente cuadro:

Tabla 17. Distancia desde Cajamarca

Desde	Hasta	Distancia (Km)	Tiempo (hora: min)	Tipo de vía	Estado
Cruce de Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento Norte	Por la Av. Hoyos Rubio hasta la carretera a Otuzco	6.200	00:20	Carretera Asfaltada	Bueno
Desvío carretera Otuzco – Baños del Inca	Vertedero 3	0.420	00:05	Carretera Asfaltada	Bueno
Total tramo terrestre		6.320	00:25		

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 32. Croquis de acceso a la Zona del Vertedero 3



Fuente: Google Earth, 2016.

La segunda ruta: En auto, mediante la carretera asfaltada Vía de Evitamiento Norte hacia Baños del Inca, hasta el desvío a Otuzco, 6.6 Km, desde ahí hasta el vertedero 3 existe una distancia de 2.72 Km, mediante carretera asfaltada. Se detalla a continuación, mediante el siguiente cuadro:

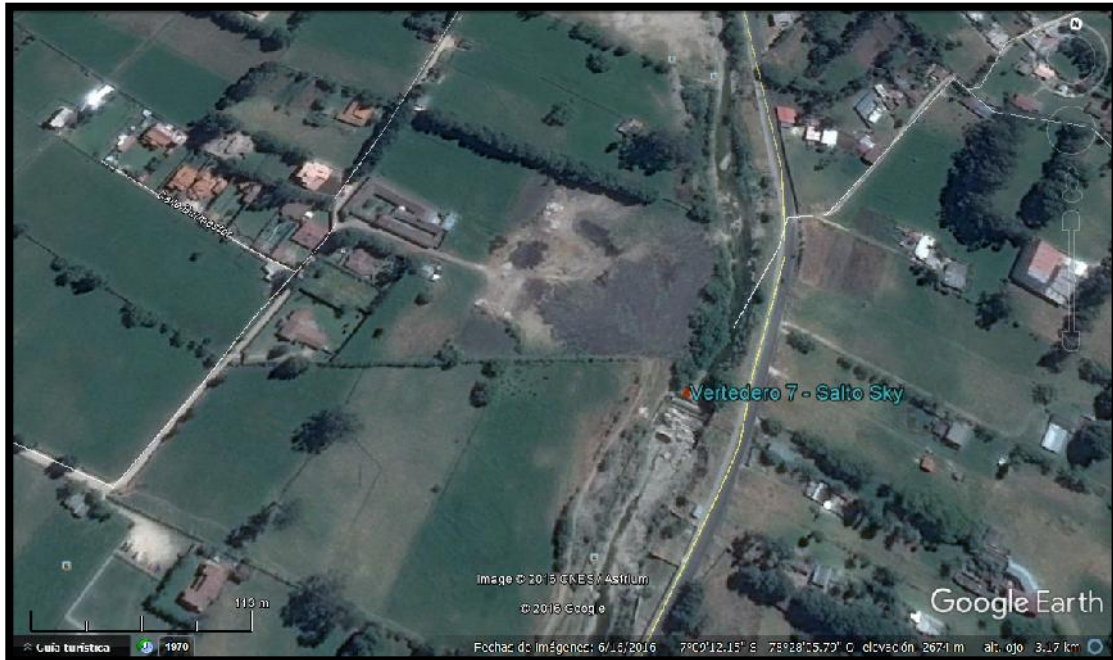
Tabla 18. Distancia desde Cajamarca

Desde	Hasta	Distancia (Km)	Tiempo (hora: min)	Tipo de vía	Estado
Cruce de Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento Norte	Por la Vía de Evitamiento Norte hacia la carretera Baños del Inca	6.600	00:25	Carretera Asfaltada	Bueno
Desvío carretera Baños del Inca - Otuzco	Vertedero 3	2.72	00:20	Carretera Asfaltada	Bueno
Total tramo terrestre		9.320	00:45		

Fuente: Elaboración Propia.

Micro-localización del vertedero 7

Figura 33. Ubicación del Vertedero 7



Fuente: (Google Earth, 2016)

Acceso al vertedero 7 – Salto Sky

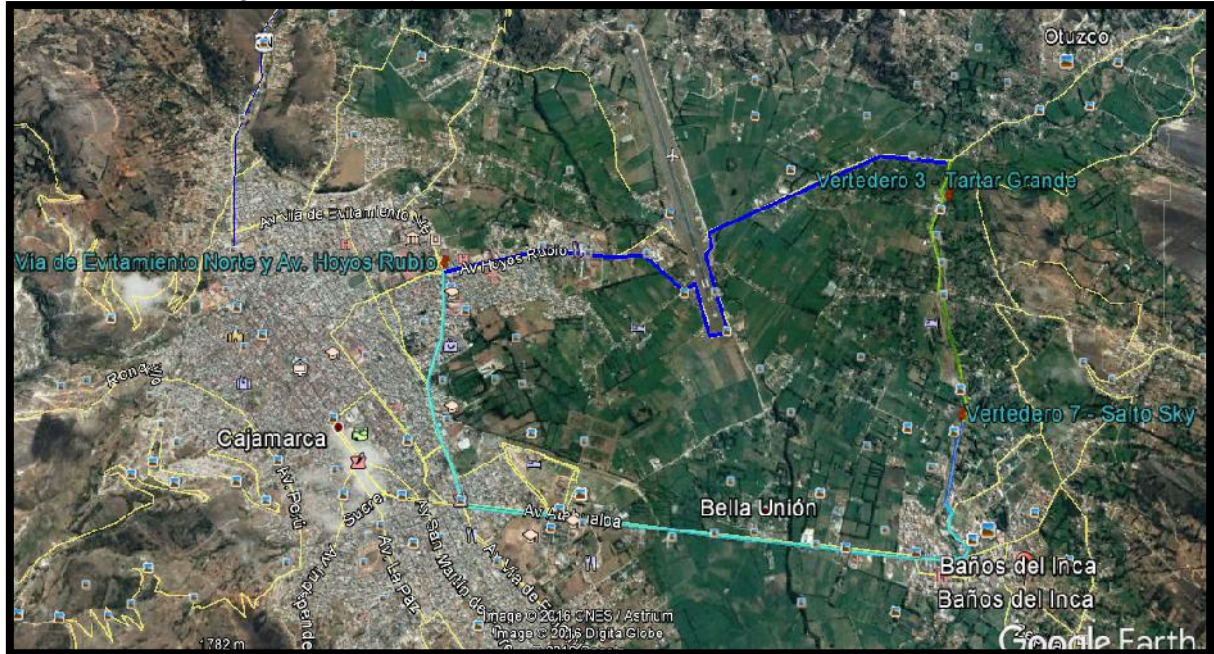
Para llegar al vertedero 7, partiendo el cruce de la Av. Hoyos Rubio y la Av. Vía de Evitamiento Norte de la ciudad de Cajamarca, existen las siguientes rutas:

La primera ruta: En auto, mediante la carretera asfaltada hacia el centro poblado de Otuzco, hasta el desvío a Baños del Inca, 6.2 Km, desde ahí hasta el vertedero 7 existe una distancia de 2.36 Km, mediante carretera asfaltada. Se detalla a continuación, mediante el siguiente cuadro:

Tabla 19. Distancia desde Cajamarca

Desde	Hasta	Distancia (Km)	Tiempo (hora: min)	Tipo de vía	Estado
Cruce de Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento Norte	Por la Av. Hoyos Rubio hasta la carretera a Otuzco	6.200	00:20	Carretera Asfaltada	Bueno
Desvío carretera Otuzco – Baños del Inca	Vertedero 7	2.360	00:15	Carretera Asfaltada	Bueno
Total tramo terrestre		8.560	00:35		

Figura 34. Croquis de acceso a la Zona del Vertedero 7



Fuente: (Google Earth, 2016)

La segunda ruta: En auto, mediante la carretera asfaltada Vía de Evitamiento Norte hacia Baños del Inca, hasta el desvío a Otuzco, 6.6 Km, desde ahí hasta el vertedero 7 existe una distancia de 760 m, mediante carretera asfaltada. Se detalla a continuación, mediante el siguiente cuadro:

Tabla 20. Distancia desde Cajamarca

Desde	Hasta	Distancia (Km)	Tiempo (hora: min)	Tipo de vía	Estado
Cruce de Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento Norte	Por la Vía de Evitamiento Norte hacia la carretera Baños del Inca	6.600	00:25	Carretera Asfaltada	Bueno
Desvío carretera Baños del Inca - Otuzco	Vertedero 7	0.760	00:05	Carretera Asfaltada	Bueno
Total tramo terrestre		7.560	00:30		

Instrumentos

Estación total (Trimble M3)

Principales características

Sistema de diseño compacto, robusto y liviano.

Tecnología mecánica confiable y segura.

Software de campo Trimble Access y módulos opcionales de flujo de trabajo incorporados.

Pantalla táctil QVGA de colores intensos

Disponibile con plomada óptica o plomada láser

Figura 35. Estación total Trimble M3



Fuente: Geotronics, 2013.

Medición de distancias

Alcance con prismas especificados

En buenas condiciones

Con diana reflectante 5 cm x 5 cm

1", 2", 3", 5" 1,5 m a 270 m
 5" W 1,5 m a 300 m

Con un solo prisma 6,25 cm

1", 2", 3", 5" 1,5 m a 3.000 m
 5" W 1,5 m a 5.000 m

Modo sin prisma (sin reflector)

Tabla 21. Modo sin prisma (sin reflector)

1", 2", 3", 5"	Buenas	Normales	Difíciles
KGC (18%)	350 m	250 m	200 m
KGC (90%)	500 m	400 m	250 m
5"W	Buenas	Normales	Difíciles
KGC (18%)	280 m	250 m	200 m
KGC (90%)	500 m	400 m	300 m

Certificación

Certificación FCC Clase B Parte 15, Marca CE de conformidad. C-Tick.

Seguridad láser IEC 60825-1 am2:2007

1", 2", 3", 5" Modo Prisma: Láser Clase 1

1", 2", 3", 5" Sin prisma/Puntero láser: Láser Clase 3R

5" W Modo sin prisma / Prisma: Láser Clase 1

5" W IPuntero láser: Láser Clase 2

Plomada láser: Láser Clase 2

(Geotronics, 2013)

Trípode de madera (FS 24)

Figura 36. Trípode de Madera FS 24



Fuente: Geodesical, 2016.

Características:

- Trípode para teodolitos y estaciones totales
- Hecho en Madera y con sistema de cogida Clip Negros en patas.
- Con Bandolera
- Diámetro de la placa superior 140 mm

Especificaciones:

- Cabeza Plana.
- Extensible de 105 hasta 170 cm
- Peso 6,5 kg

Prisma

Figura 37. Prisma Trimble para estación Total



Fuente: Geotop, 2016.

- Prisma circular con soporte de metal negro, constante de 0 y -30.
- Prisma profesional para usos extremos

Porta prisma

Tabla 22. Características de Porta prisma

Ítem	NLS35
Longitud completa	2150mm
Longitud mínima	1300mm
Empacado	10PCS/CTN
Tipo de junta	TJ/SJ/LJ Opcional

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 38. Jalón Porta prisma CLS11



Fuente: SOUTH, 2016.

GPS

Se emplearon dos tipos de GPS de marca Garmin, modelo GPS map 62s y modelo etrex.

Figura 39. GPS Garmin etrex y GPS Garmin map 62S



Fuente: Neotechbangadesh, 2016.

Desempeño físico

- Dimensiones físicas: 2,4 "x 6,3" x 1,4 "(6,1 x 16,0 x 3,6 cm)
- Tamaño de la pantalla, ancho x alto: 1,43" x 2,15 "(3,6 x 5,5 cm); 2.6 "diag. (6,6 cm)
- Resolución de la pantalla, ancho x alto: 160 x 240 píxeles
- Tipo de pantalla: transreflectiva, 65-K de color TFT
- Peso: 7.9 oz (223 g) con baterías
- Batería: 2 baterías AA (no incluidas); Recomienda NiMH o litio

- Duración de la batería: 20 horas
- de calificación de agua: IPX7
- Receptor de alta sensibilidad: Sí
- Interfaz: USB de alta velocidad y NMEA 0183 compatible
- altímetro barométrico
- Brújula electrónica: Sí (con compensación de inclinación de 3 ejes)
- Transferencia de unidad a unidad (acciones de datos de forma inalámbrica con unidades similares): Sí

Cartografía y Memoria

- Mapa base: Sí
- Posibilidad de agregar mapas: Sí
- Memoria: 1,7 GB
- Admite tarjetas de datos: Tarjeta microSD™ (no incluida)
- interés personalizables (posibilidad de agregar puntos de interés adicionales): Sí
- waypoints / favoritos / ubicaciones: 2000
- Rutas: 200
- track log: 10.000 puntos, 200 tracks guardados

Funciones al aire libre

- Creación automática de rutas (giro a giro en carretera): Sí (con mapas opcionales para los caminos detallados)
- Modo geocaching: Sí (sin papel)
- mapas personalizados compatibles: Sí
- Calendario de caza / pesca: Sí
- Información astronómica: Sí
- Predicción de mareas: Sí

(Neotechbangadesh, 2016)

Wincha

Figura 40. Wincha de 5m



Fuente: Geodeticsac, 2016.

Georeferenciación

Determinación de coordenadas UTM, de cada estación

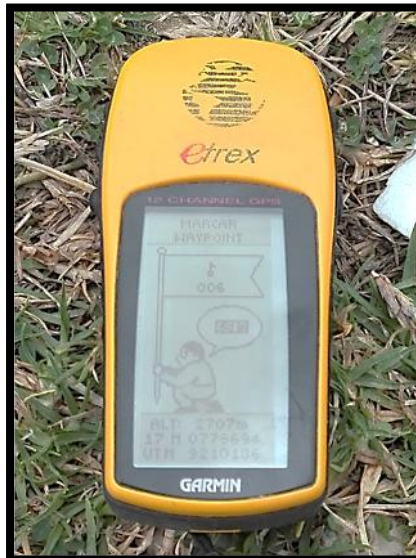
- Para comenzar se realizó la configuración del GPS, empleando el sistema **WGS84**: Sistema geodésico mundial que data de 1984.
- Luego se determinó la ubicación de las estaciones, en cada uno de los levantamientos.

Vertedero 3

Fotografía 12. Estación E1 – Vertedero 3



Fotografía 13. Coordenadas GPS de E1 – Vertedero 3 – Tartar Grande



Vertedero 7

Fotografía 14. Estación E1 – Vertedero 7



Fotografía 15. Coordenadas GPS de E1 – Vertedero 7 – Salto Sky



Tabla 23. Cuadro de Estaciones (Datum – WGS 84)

CÓDIGO	ESTE	NORTE	COTA	OBSERVACIÓN
E1- V3	779694	9210106	2707	Al costado izquierdo del río con vista hacia el vertedero en una estaca de acero
E1- V7	779904	9208329	2672	Al costado izquierdo del río con vista hacia el vertedero en una roca

Fuente: Elaboración Propia.

- Se estacionó el trípode y se colocó la estación, bien nivelada mediante el nivel circular y el nivel horizontal.

Fotografía 16. Nivelación estación E1 – Vertedero 3



Fotografía 17. Nivelación estación E1 – Vertedero 7



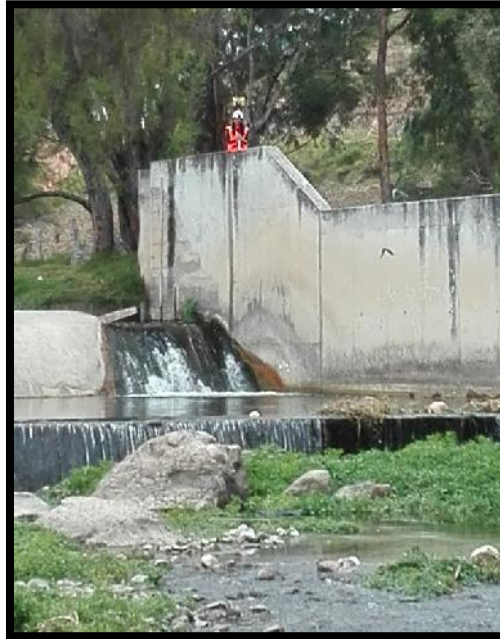
Se tomaron las coordenadas UTM de la estación con ayuda del GPS y la medida de la altura de la estación con una wincha, con estos datos se configuró en la estación total.

Orientación

Vertedero 3

- Enseguida, se configura y se toma referencia de la orientación con ayuda del prisma.

Fotografía 18. Orientación E1- V3- Canal de concreto



Vertedero 7

Fotografía 19. Orientación E1- V7- muro de encausamiento



Radiación de puntos

Luego comenzamos a radiar todos los puntos alcanzables, teniendo en cuenta los puntos importantes para determinar la forma del vertedero, y todos los puntos de desnivel para lograr tener más precisión con respecto a las curvas de nivel.

Vertedero 3

Fotografía 20. Puntos tomados para determinar la forma de la cresta del vertedero



Fotografía 21. Puntos tomados para determinar el eje y la forma de la cresta del vertedero



Fotografía 22. Puntos tomados en los muros de encausamiento



Fotografía 23. Puntos tomados en los alrededores



Fotografía 24. Puntos tomados en el eje del río



Vertedero 7

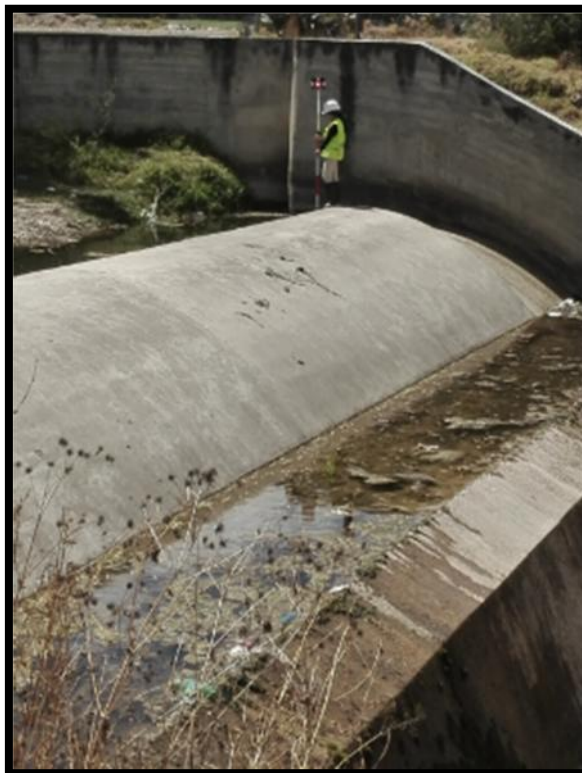
Fotografía 25. Puntos tomados para determinar la forma de la cresta del vertedero



Fotografía 26. Puntos tomados para determinar la forma de la cresta del vertedero



Fotografía 27. Puntos tomados para determinar la forma del vertedero



Fotografía 28. Puntos tomados para determinar la forma del vertedero



Fotografía 29. Puntos tomados para determinar la forma de la estructura



Fotografía 30. Puntos tomados para determinar la forma de la estructura



Fotografía 31. Puntos tomados en los muros de encausamiento



Fotografía 32. Puntos tomados en los alrededores



Fotografía 33. Puntos tomados en el eje del río



Tabla 24. Descripción general de los tipos de puntos tomados en el vertedero 3 y 7

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
EST-E1	Estación, EST- (E1, E2, E3, E4, E5)
ORT-C.E.	Orientación canal existente
PASTO	Puntos de rellenos, donde existen cambios de nivel
RIO	Sección del río, eje del río
CONCR	Vertedero, estructura de concreto
CRESTA	Cresta de vertedero 3
CANAL	Canal de captación existente

Fuente: Elaboración Propia.

✓ **Modelamiento Hidráulico en el canal de pendiente variable**

Medición del ancho del canal de pendiente variable

Luego se realizan mediciones del ancho del canal de pendiente variable de la Universidad Privada del Norte para determinar la escala a utilizar.

Fotografía 34. Medidas del canal de pendiente variable

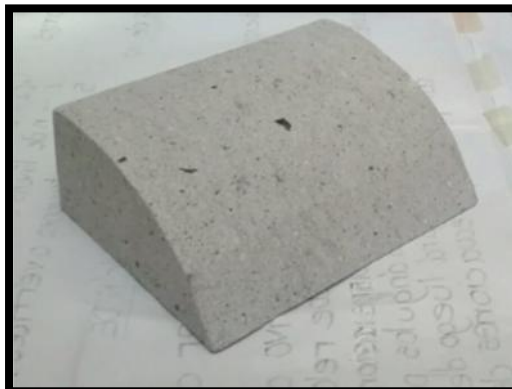


Obteniendo una medida de ancho de canal de $B = 24.9\text{cm}$

Modelos en Piedra

Como siguiente paso se realizan los modelos en escala adecuada al canal de pendiente variable, en material de piedra granito volcánica, realizado por los picapedreros del km 17 de la carretera a Bambamarca.

Fotografía 35. Modelo de piedra de la cresta del vertedero 3



Fotografía 36. Modelo de piedra de la cresta del vertedero 7



Se impermeabilizan los modelos realizados, con dos capas de barniz.

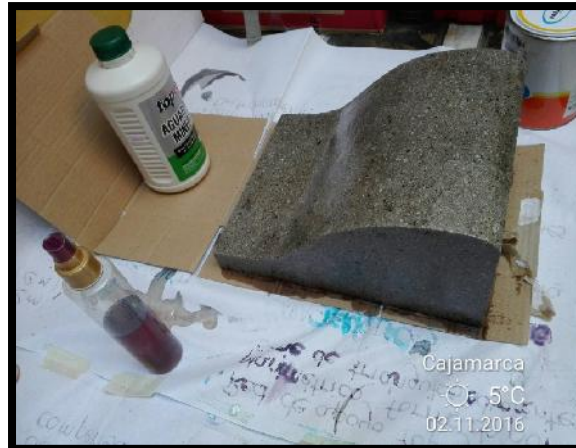
Fotografía 37. Impermeabilización de modelo de vertedero 3



Fotografía 38. Impermeabilización de modelo de vertedero 7 (Primera capa)



Fotografía 39. Impermeabilización de modelo de vertedero 7 (Segunda capa)



Ensayos en el canal de pendiente variable

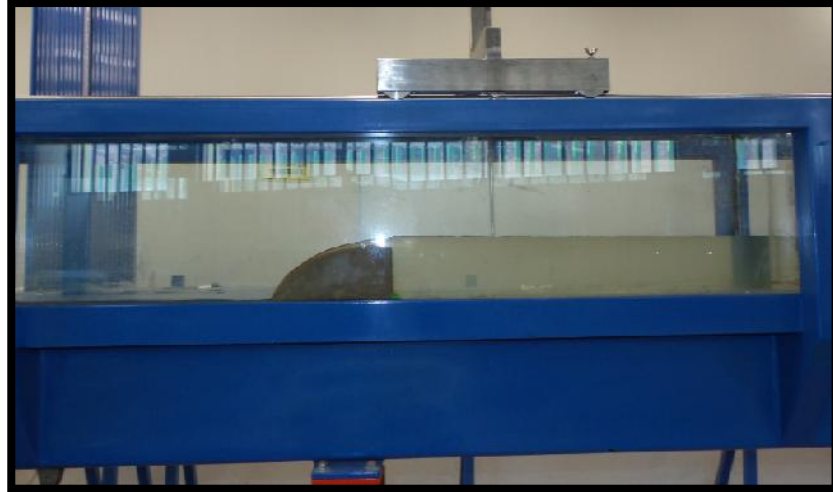
Procedimientos de Ensayos:

Para los ensayos en el canal de pendiente variable de la Universidad Privada del Norte – (En adelante UPN), se adecuaron los vertederos modelados anteriormente, ubicando cada uno en la parte media del canal, con una altura de cresta de 8.3 cm. para el vertedero 3 y una altura de cresta de 14.7 cm. para el vertedero 7.

Fotografía 40. Ubicación del vertedero 7 en el canal de pendiente variable



Fotografía 41. Ubicación del vertedero 3 en el canal de pendiente variable



Previo a los ensayos con el vertedero, se realizó las siguientes acciones:

- Se ajustó la pendiente del canal igual a la pendiente encontrada en según el plano topográfico aguas arriba de cada uno de los vertederos, para el vertedero 3 la pendiente fue de 1.97% y para el vertedero 7 fue de 5.69%.

Fotografía 42. Pendiente aguas arriba del vertedero 3 y 7 en el canal de pendiente variable



- Se ubicó el vernier sobre la cresta de cada vertedero, y se ajustó el tornillo, enseguida Maniobrando la válvula de caudal al máximo, se tomó lectura y se determinó la máxima altura de la carga de cada vertedero.

- Luego se ubicó horizontalmente a cuatro veces la máxima altura de la carga, donde se tomó la lectura de la altura de carga, en cada ensayo.

Fotografía 43. Ajuste del tornillo del vernier para la lectura de la carga hidráulica



Fotografía 44. Ubicación del vernier para la lectura de la carga hidráulica



- Teniendo la ubicación final del vernier, se realizó también el aforo volumétrico (volumen/tiempo), para determinar el coeficiente de descarga por despeje de ecuaciones.

Fotografía 45. Aforo volumétrico volumen/ tiempo



- Se maniobró la válvula de caudal, descendiendo cada 0.2 cm. aprox. hasta llegar a lo mínimo en la carga hidráulica sobre cada vertedero. Y en cada ensayo se tomaron 5 pruebas del aforo volumétrico respectivo.

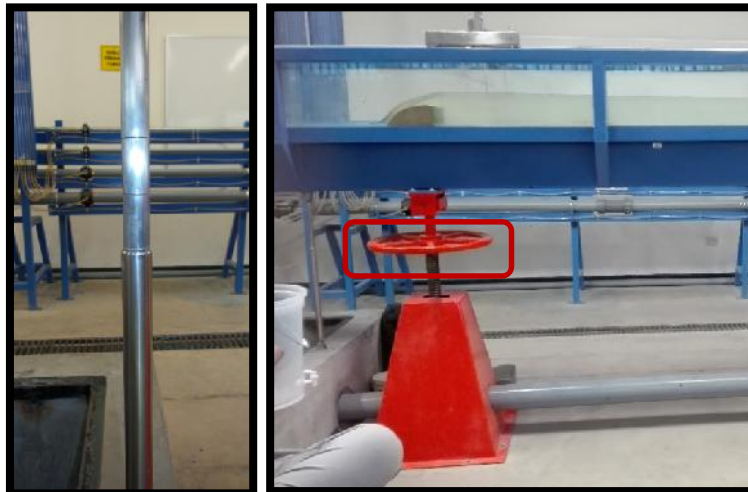
Instrumentos

Canal de pendiente variable

La pendiente es regulada manualmente mediante el giro de un eje roscado de $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ " por una manivela de $\varnothing 8$ ", con el que se garantiza un movimiento uniforme y milimétrico de la pendiente.

La pendiente del canal se lee porcentualmente en una varilla graduada. El punto de giro de la pendiente se da mediante dos chumaceras de $\varnothing 1$ ".

Fotografía 46. Varilla graduada y manivela para regular la pendiente del canal



Fotografía 47. Bombas y válvula reguladora de caudal



Fotografía 48. Descarga a tanque de alimentación de recirculación



Fotografía 49. Alimentación de caudal por tubería hacia el canal de pendiente variable



Vernier

Fotografía 50. Vernier para medición de carga hidráulica



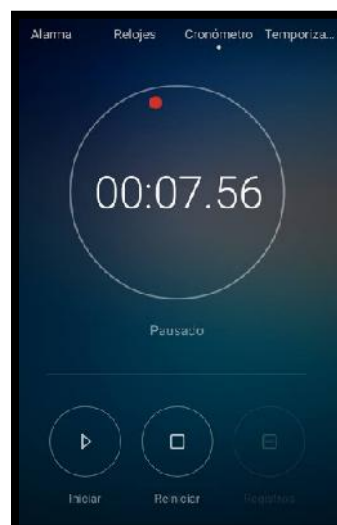
Cámara fotográfica

Figura 41. Cámara fotográfica



Cronómetro

Figura 42. Cronómetro



Depósito de volumen definido

Fotografía 51. Depósito con volúmenes definidos



✓ **Toma de aforos**

Se realizan aforos reales de los caudales en el río, y de los tirantes con el método del correntómetro para la medición de caudales, para permitir la calibración de los modelos en el laboratorio.

Sección transversal del río

Para comenzar se plantan estacas a ambos lados de la sección del río, luego procedemos a marcar el cordel cada 0.50 m. y se procede a amarrarlo y tensarlo usando las dos estacas previamente fijadas.

Fotografía 52. Cordel Marcado cada 0.50 m. y tensado en las estacas



Fotografía 53. Cordel Marcado cada 0.50 m. tendido en la sección del río

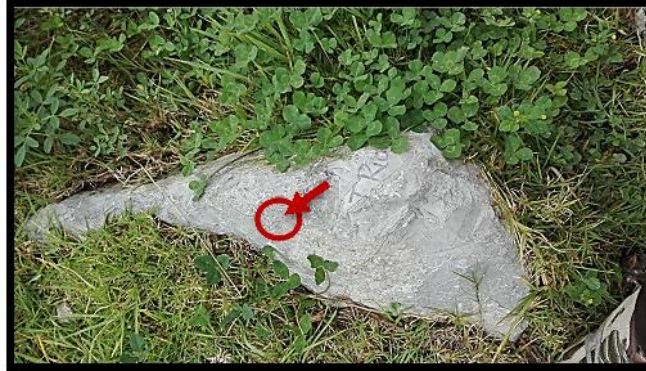


A continuación se procede a estacionar el nivel de ingeniero, ubicar el BM en una roca fija, toma de coordenadas y tomar las alturas de la sección del río en cada metro marcado en el cordel:

Fotografía 54. Estacionamiento del nivel de ingeniero en lugar estratégico



Fotografía 55. Ubicación del BM en una roca fija

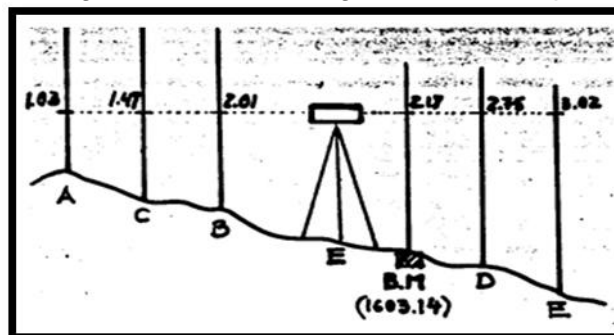


Fotografía 56. Toma de puntos de la sección del río



Para calcular la sección del río se realizó una nivelación geométrica múltiple, se realiza entre 3 o más puntos. Su objeto es determinar la diferencia de alturas de varios puntos con respecto a un punto o Cota B.M. conocida y que se toma como BASE (Urteaga, 2013).

Figura 43. Nivelación geométrica múltiple



Fuente: Urteaga, 2013.

Velocidades de la sección transversal

Luego, con la ayuda del correntómetro se tomaron medidas de la velocidad a una distancia de 0.2 y 0.8 de la altura del agua (H), debajo de cada punto intermedio marcado en el cordel tendido en la sección del río:

Fotografía 57. Toma de velocidades con correntómetro en la sección del río



Instrumentos

Mira o estadía

Es una regla graduada que permite mediante un nivel topográfico, medir desniveles, es decir, diferencias de altura. Con una mira, también se pueden medir distancias con métodos trigonométricos, o mediante un telémetro estadimétrico integrado dentro de un nivel topográfico, un teodolito, o bien un taquímetro.

Figura 44. Mira o estadía



Fuente: Google, 2016.

Trípode de aluminio FS 23 Y FS 20.

Trípode de aluminio para toda clase de aparatos.

- Robusto.
- Bloqueo de palanca.
- Base plana.
- Correa de transporte.
- Diámetro de la base: 158 mm.
- Rango de centrado: 64 mm.
- Longitud: 105-170 cm.
- Peso: 5,1 kg.

El FS 20 es muy similar al FS 23 pero su longitud es 105-165 cm y su peso 3,5 kg.

Figura 45. Trípode de aluminio FS 23 y FS 20



Fuente: Google, 2016.

Nivel de ingeniero

Es un instrumento topográfico de precisión, denominado equialtímetro o nivel de precisión, que se emplea en topografía para determinar las alturas de los puntos del terreno, respecto de un plano de referencia.

Figura 46. Nivel de ingeniero



Fuente: Gpsforestry, 2016.

Correntómetro Flowatch - Fw

Está diseñado para medir el flujo de viento y el agua con facilidad y precisión. El kit FLOWATCH viene con una varilla telescópica y una variedad de sensores de medición. Este instrumento fue proporcionado por la Universidad Privada del Norte – Cajamarca.

Figura 47. Pack Correntómetro Flowatch



Fuente: Tipsac, 2016.

Incluye:

- Unidad de visualización.
- Varilla telescópica de 2m.
- Hélice para mediciones en aire de 25mm.
- Hélice para mediciones de agua de 60mm.
- Maletín de transporte.

Accesorios adicionales:

- Hélice para mediciones de aire de 18mm.
- Sensor para colgar y realizar mediciones de agua con cable de 15m.

Características:

- Velocidad instantánea, de agua y viento.
- Velocidad máxima y media.
- Temperatura.
- Temperatura mínima y máxima.
- Selección para el promedio en periodos desde 3 segundos hasta 24 horas.
- Luz de fondo.
- Estuche de transporte.

Figura 48. Tipos de hélice



Fuente: Tipsac, 2016.

Tabla 25. Datos técnicos del correntómetro

Datos técnicos del correntómetro	
Dimensiones	6x120x32 mm
Peso	110 gr
Unidad de Medida	Km/h - m/s - cm/s - mph - fps
Precisión	+/- 5% da -10° a +50°C
Rango de Medida	Da 2 a 150 km/h
Tipología de Medida	Instantánea, mínima, máxima, media
Unidad de Medida	°C, °f
Precisión	+/- 1 °c
Rango de Medida	Da -50°C a + 100°C
Tipología de Medida	Instantánea, mínima, máxima, media

Fuente: Tipsac, 2016.

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Los métodos e instrumentos utilizados para el análisis de datos corresponden a los dos vertederos del río Chonta – Cajamarca, para mejor ilustración, se presenta la tabla siguiente:

Tabla 26. Análisis de datos de las variables en estudio

Procedimiento	Análisis de Datos		
	Fuente	Métodos	Instrumentos
Elección de los vertederos a analizar	Fotografías de los vertederos del río Chonta – Tramo Otuzco Baños del Inca	Observación directa cualitativa	<ul style="list-style-type: none"> Fotografías Bases teóricas del tipo de vertedero
Forma de cresta y Pendiente aguas arriba del Vertedero	Planos topográficos de los vertederos elegidos	Observación directa cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> Puntos del levantamiento Topográfico AutoCAD Civil 3D

Coefficiente de Descarga	Modelamiento hidráulico en el Canal de Pendiente Variable en el Laboratorio de Hidráulica - UPN	Observación directa cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Datos recolectados en las fichas de observación • Microsoft Excel
Caudal	Aforo del río Chonta de cada vertedero	Observación directa cuantitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Datos de la ficha de observación • Microsoft Excel

Fuente: Elaboración Propia.

3.7.1. Procedimiento de análisis de datos

3.7.1.1. Elección de Vertederos a analizar

Con el paso anterior de reconocimiento, se determinó una tabla resumen del tipo de vertederos existentes:

Como parte sucesiva se realizó la selección de los vertederos existentes a analizar en esta investigación (vertederos de pared gruesa tipo cimacio).

Tabla 27. Tipo de vertederos en el río Chonta, tramo Otuzco – Baños del Inca

Vertedero	Tipo de vertedero según espesor de pared y forma de la cresta
Vertedero 1	El tipo de vertedero es de pared gruesa de forma rectangular.
Vertedero 2	El tipo de vertedero es de pared gruesa de forma rectangular.
Vertedero 3	El tipo de vertedero es de pared gruesa de Tipo cimacio.
Vertedero 4	El tipo de vertedero es de pared gruesa de cresta redondeada, presenta dientes en el estanque de amortiguamiento.
Vertedero 5	Vertedero de pared gruesa de cresta redondeada, de 20 m de ancho, cuenta con una poza disipadora.
Vertedero 6	El tipo de vertedero es de pared gruesa de forma rectangular.
Vertedero 7	El tipo de vertedero es de pared gruesa de tipo cimacio con disipador de energía.

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, se seleccionó los que cumplen con las características de los vertederos de pared gruesa tipo cimacio, los cuales son:

Tabla 28. Vertederos Seleccionados

Vertedero	Referencia
Vertedero 3	Tartar Grande, puente colgante
Vertedero 7	Salto Sky, frente al Club Los Incas

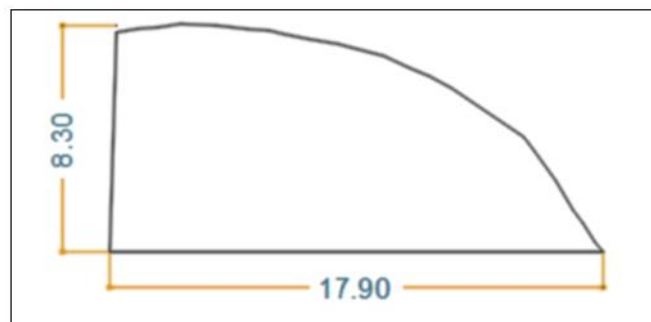
Fuente: Elaboración Propia.

Como siguiente parte, después de haber seleccionado los vertederos a analizar, se realizó el levantamiento topográfico de los vertederos seleccionados, con lo cual se determinó la forma de la cresta y la pendiente aguas arriba de cada vertedero.

3.7.1.2. Forma de cresta

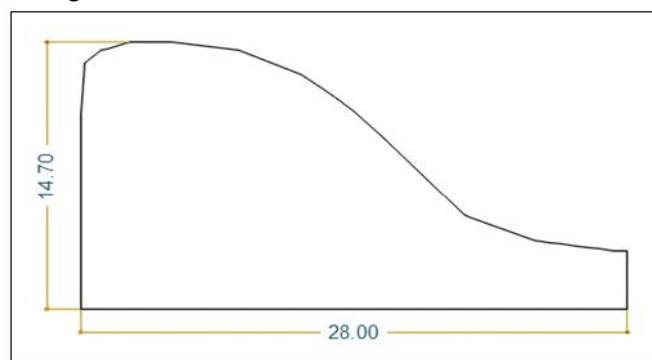
Se determinó la forma de la cresta y la pendiente aguas arriba de cada vertedero, mediante los planos del levantamiento topográfico y se realizaron los modelos en piedra en una escala entre E: 1/20 y E: 1/40, tomando en cuenta el ancho en el canal de pendiente variable ($B=24.9\text{cm}$), las medidas finales del modelo son las siguientes:

Figura 49. Medidas de modelo del vertedero 3



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 50. Medidas de modelo del vertedero 7



Fuente: Elaboración Propia.

3.7.1.3. Pendiente aguas arriba de cada vertedero

Para determinar la pendiente, es necesario mencionar algunos términos:

Equidistancia (e)

Es la distancia vertical entre dos curvas de nivel consecutivas y que se encuentran representadas en un plano.

Ahora, si queremos calcular la distancia real y la pendiente del terreno en función de la equidistancia.

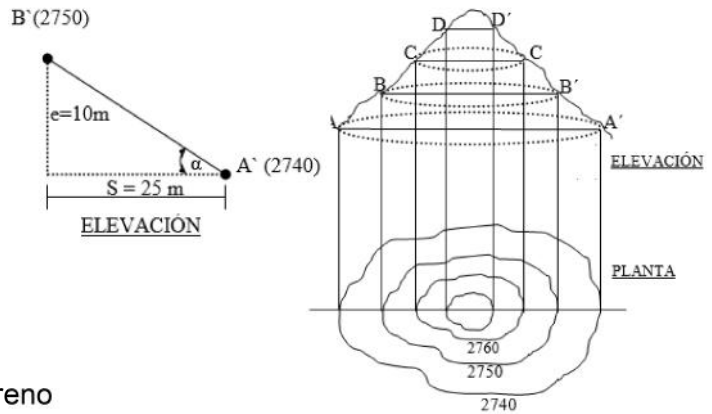
$$P = (e/S) 100...(34)$$

Dónde:

P: Pendiente en %

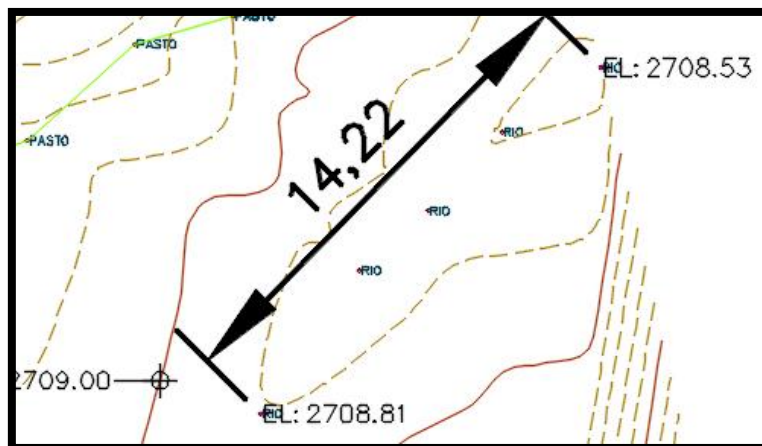
e: equidistancia

S: separación real en el terreno



Fuente: Urteaga, 2013.

Figura 51. Pendiente del río Chonta - Aguas arriba del vertedero 3 -Tartar Grande

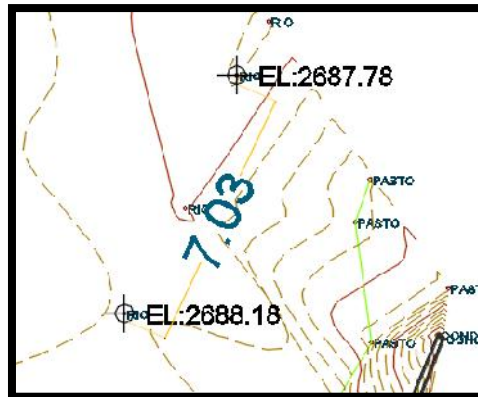


Fuente: Elaboración Propia.

$$i\% = \frac{2 \cdot .8 - 2 \cdot .5}{1 \cdot 2} \times 100...(35)$$

$$i\% = 1.97\%$$

Figura 52. Pendiente del río Chonta – Aguas arriba del vertedero 7 – Salto Sky



Fuente: Elaboración Propia.

$$i\% = \frac{2 \quad .1 \quad -2 \quad .7}{7.0} \times 100 \dots (36)$$

$$i\% = 5.69\%$$

3.7.1.4. Caudal

En el Prototipo

Determinamos el caudal, mediante dos métodos el del tirante o carga hidráulica y mediante el del correntómetro, en un mismo tiempo:

Método del Tirante o Carga hidráulica

De acuerdo a las medidas tomadas en campo con la mira, estación total y el nivel de ingeniero:

- ✓ Aforo 1 – Vertedero Tartar
 - Carga hidráulica sobre la cresta (H): 8 cm.
- ✓ Aforo 2 – Vertedero Tartar
 - Carga hidráulica sobre la cresta (H): 36 cm.
- ✓ Aforo 3 – Vertedero Salto Sky
 - Carga hidráulica sobre la cresta (H): 15 cm.

Método del correntómetro

✓ Aforo 1 – Vertedero Tartar

Nivelación Geométrica

Se realizó una nivelación geométrica simple para obtener la sección del río:

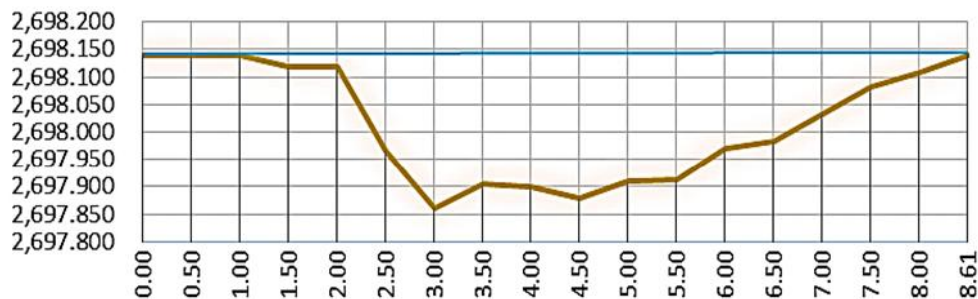
Tabla 29. Nivelación geométrica múltiple – Vertedero Tartar grande

Punto	Distancia (m)	Vista Atrás (m)	Cota (m)	Vista Adelante (m)	Observación	Cota (m)
BM	-	0.56	2,699.000	-	Roca fija (GPS)	
1	0.00	-	-	1.420	-	2,698.140
2	0.50	-	-	1.421	-	2,698.139
3	1.00	-	-	1.421	-	2,698.139
4	1.50	-	-	1.442	-	2,698.118
5	2.00	-	-	1.442	-	2,698.118
6	2.50	-	-	1.595	-	2,697.965
7	3.00	-	-	1.698	-	2,697.862
8	3.50	-	-	1.655	-	2,697.905
9	4.00	-	-	1.659	-	2,697.901
10	4.50	-	-	1.680	-	2,697.880
11	5.00	-	-	1.650	-	2,697.910
12	5.50	-	-	1.646	-	2,697.914
13	6.00	-	-	1.590	-	2,697.970
14	6.50	-	-	1.578	-	2,697.982
15	7.00	-	-	1.527	-	2,698.033
16	7.50	-	-	1.479	-	2,698.081
17	8.00	-	-	1.452	-	2,698.108
18	8.61	-	-	1.420	-	2698.14

Fuente: Elaboración Propia.

Se presenta a continuación de la sección transversal del río:

Figura 53. Diagrama de la Sección del Río – Aforo 1 - Tartar



Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo del caudal

A partir de los datos recolectados en campo, se calculó el caudal de la sección del río mediante el método del correntómetro empleando las fórmulas siguientes:

- $C = \frac{A+B}{2} \dots (37)$

- $F = D \times E \dots (38)$

- $G = F \times C \dots (39)$

Tabla 30. Cálculo del caudal mediante correntómetro - aforo 1- Tartar

Tramo	Velocidad (m/s)			(D) Distancia (m)	(E) Profundidad promedio (m)	(F) Área de tramo (m ²)	(G) Caudal (m ³ /s)
	(A) 0.2D	(B) 0.8D	(C) Media				
1				0.00			
2	0.0000	0.0600	0.0300	0.50	0.00	0.000	0.00001
3				0.50			
4	2.2000	0.9000	1.5500	0.50	0.01	0.006	0.00891
5				0.50			
6	5.1000	1.5000	3.3000	0.50	0.10	0.049	0.16252
7				0.50			
8	4.8000	1.3200	3.0600	0.50	0.26	0.128	0.39244
9				0.50			
10	3.0000	1.3800	2.1900	0.50	0.25	0.125	0.27320
11				0.50			
12	2.8000	1.2000	2.0000	0.50	0.23	0.114	0.22800
13				0.50			
14	2.1000	0.9000	1.5000	0.50	0.16	0.082	0.12300
15				0.50			
16	2.2000	0.3000	1.2500	0.50	0.08	0.041	0.05187
17				0.50			
18	0.0000	0.0300	0.0150	0.61	0.02	0.010	0.00015
							<u>1.24011</u>

Fuente: Elaboración Propia.

✓ **Aforo 2 – Vertedero Tartar**

Nivelación Geométrica

Se realizó una nivelación geométrica simple para obtener la sección del río:

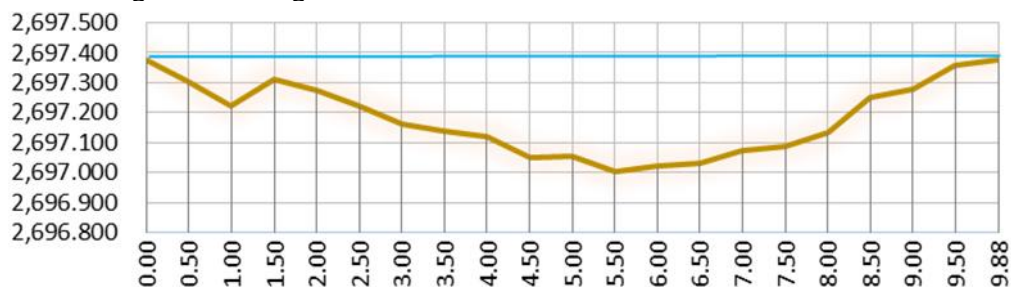
Tabla 31. Nivelación geométrica múltiple – Vertedero Tartar grande 2

Punto	Distancia (m)	Vista Atrás (m)	Cota (m)	Vista Adelante (m)	Observación	Cota (m)
BM	-	1.42	2,698.000	-	Roca fija (GPS)	
1	0.00	-	-	2.043	-	2,697.377
2	0.50	-	-	2.116	-	2,697.304
3	1.00	-	-	2.199	-	2,697.221
4	1.50	-	-	2.109	-	2,697.311
5	2.00	-	-	2.145	-	2,697.275
6	2.50	-	-	2.195	-	2,697.225
7	3.00	-	-	2.257	-	2,697.163
8	3.50	-	-	2.281	-	2,697.139
9	4.00	-	-	2.299	-	2,697.121
10	4.50	-	-	2.368	-	2,697.052
11	5.00	-	-	2.363	-	2,697.057
12	5.50	-	-	2.417	-	2,697.003
13	6.00	-	-	2.398	-	2,697.022
14	6.50	-	-	2.386	-	2,697.034
15	7.00	-	-	2.345	-	2,697.075
16	7.50	-	-	2.332	-	2,697.088
17	8.00	-	-	2.285	-	2,697.135
18	8.50	-	-	2.167	-	2,697.253
19	9.00	-	-	2.139	-	2,697.281
20	9.50	-	-	2.062	-	2,697.358
21	9.88	-	-	2.043	-	2,697.377

Fuente: Elaboración Propia.

Se presenta a continuación de la sección transversal del río:

Figura 54. Diagrama de la Sección del Río Chonta - Aforo 2 - Tartar



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32. Cálculo del caudal mediante correntómetro - aforo 2 – Tartar

Tramo	Velocidad (m/s)			Distancia (m)	Profundidad promedio (m)	Área de tramo (m ²)	Caudal de tramo (m ³ /s)
	0.2D	0.8D	Media				
1				0.00			
2	5.20	4.70	4.95	0.50	0.036	0.02	0.09
3				0.50			
4	10.20	9.10	9.65	0.50	0.111	0.06	0.54
5				0.50			
6	8.60	7.40	8.00	0.50	0.127	0.06	0.51
7				0.50			
8	10.20	8.95	9.58	0.50	0.226	0.11	1.08
9				0.50			
10	11.10	9.40	10.25	0.50	0.290	0.15	1.49
11				0.50			
12	11.60	10.80	11.20	0.50	0.347	0.17	1.94
13				0.50			
14	11.60	10.50	11.05	0.50	0.349	0.17	1.93
15				0.50			
16	9.90	8.60	9.25	0.50	0.295	0.15	1.37
17				0.50			
18	8.80	7.70	8.25	0.50	0.183	0.09	0.75
19				0.50			
20	6.30	5.50	5.90	0.50	0.057	0.03	0.17
21				0.38			
							9.87

Fuente: Elaboración Propia.

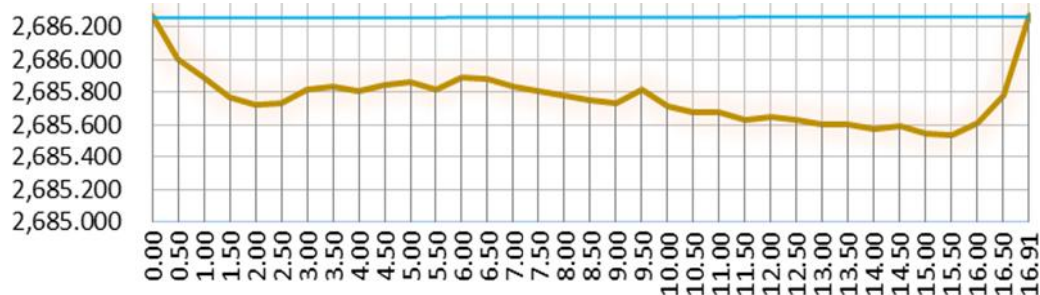
✓ **Aforo 3 – Vertedero Salto Sky**

Nivelación Geométrica

Se realizó una nivelación geométrica simple para obtener la sección del río:

Se presenta a continuación de la sección transversal del río:

Figura 55. Diagrama de la Sección del Río Chonta – Aforo 3 – Salto Sky



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33. Nivelación geométrica múltiple – Vertedero Salto Sky

Punto	Distancia (m)	Vista Atrás (m)	Cota (m)	Vista Adelante (m)	Observación	Cota (m)
BM	-	1.298	2,687.000	-	Roca fija (GPS)	
1	0.00	-	-	2.022	-	2,686.276
2	0.50	-	-	2.295	-	2,686.003
3	1.00	-	-	2.405	-	2,685.893
4	1.50	-	-	2.531	-	2,685.767
5	2.00	-	-	2.578	-	2,685.720
6	2.50	-	-	2.562	-	2,685.736
7	3.00	-	-	2.482	-	2,685.816
8	3.50	-	-	2.463	-	2,685.835
9	4.00	-	-	2.487	-	2,685.811
10	4.50	-	-	2.451	-	2,685.847
11	5.00	-	-	2.439	-	2,685.859
12	5.50	-	-	2.479	-	2,685.819
13	6.00	-	-	2.403	-	2,685.895
14	6.50	-	-	2.421	-	2,685.877
15	7.00	-	-	2.462	-	2,685.836
16	7.50	-	-	2.488	-	2,685.810
17	8.00	-	-	2.521	-	2,685.777
18	8.50	-	-	2.545	-	2,685.753
19	9.00	-	-	2.563	-	2,685.735
20	9.50	-	-	2.484	-	2,685.814
21	10.00	-	-	2.585	-	2,685.713
22	10.50	-	-	2.620	-	2,685.678
23	11.00	-	-	2.623	-	2,685.675
24	11.50	-	-	2.665	-	2,685.633
25	12.00	-	-	2.653	-	2,685.645
26	12.50	-	-	2.672	-	2,685.626
27	13.00	-	-	2.695	-	2,685.603
28	13.50	-	-	2.698	-	2,685.600
29	14.00	-	-	2.720	-	2,685.578
30	14.50	-	-	2.702	-	2,685.596
31	15.00	-	-	2.751	-	2,685.547
32	15.50	-	-	2.763	-	2,685.535
33	16.00	-	-	2.685	-	2,685.613
34	16.50	-	-	2.515	-	2,685.783
35	16.91	-	-	2.022	-	2,686.276

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34. Cálculo del caudal mediante correntómetro – aforo 3 – Salto Sky

Tramo	Velocidad (cm/s)			Distancia (cm)	Prof. (cm)	Prof. Prom. (cm)	Área de tramo (cm ²)	Caudal (m ³ /s)
	0.2D	0.8D	Media					
1				0	0			
2	0.00	0.00	0.00	50.00	27.30	0.00	0.00	0.000
3				50.00	38.30	13.65	682.50	
4	99.00	88.00	93.50	50.00	50.90	32.80	1640.00	0.153
5				50.00	55.60	44.60	2230.00	
6	99.00	88.00	93.50	50.00	54.00	53.25	2662.50	0.249
7				50.00	46.00	54.80	2740.00	
8	94.00	83.00	88.50	50.00	44.10	50.00	2500.00	0.221
9				50.00	46.50	45.05	2252.50	
10	88.00	75.00	81.50	50.00	42.90	45.30	2265.00	0.185
11				50.00	41.70	44.70	2235.00	
12	86.00	71.50	78.75	50.00	45.70	42.30	2115.00	0.167
13				50.00	38.10	43.70	2185.00	
14	105.00	83.00	94.00	50.00	39.90	41.90	2095.00	0.197
15				50.00	44.00	39.00	1950.00	
16	113.00	102.00	107.50	50.00	46.60	41.95	2097.50	0.225
17				50.00	49.90	45.30	2265.00	
18	111.00	94.00	102.50	50.00	52.30	48.25	2412.50	0.247
19				50.00	54.10	51.10	2555.00	
20	119.00	102.00	110.50	50.00	46.20	53.20	2660.00	0.294
21				50.00	56.30	50.15	2507.50	
22	124.00	108.00	116.00	50.00	59.80	51.25	2562.50	0.297
23				50.00	60.10	58.05	2902.50	
24	127.00	113.00	120.00	50.00	64.30	59.95	2997.50	0.360
25				50.00	63.10	62.20	3110.00	
26	122.00	111.00	116.50	50.00	65.00	63.70	3185.00	0.371
27				50.00	67.30	64.05	3202.50	
28	119.00	102.00	110.50	50.00	67.60	66.15	3307.50	0.365
29				50.00	69.80	67.45	3372.50	
30	119.00	105.00	112.00	50.00	68.00	68.70	3435.00	0.385
31				50.00	72.90	68.90	3445.00	
32	111.00	99.00	105.00	50.00	74.10	70.45	3522.50	0.370
33				50.00	66.30	73.50	3675.00	
34	97.00	91.00	94.00	50.00	49.30	70.20	3510.00	0.330
35				41.00	0.00	57.80	2890.00	
								4.416

Fuente: Elaboración Propia.

En el Modelo

Método Volumétrico

✓ Vertedero Tartar

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del caudal mediante el método volumétrico:

Tabla 35. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Tartar - Observación (1 - 6)

Tirante (H) cm	Prueba N°	Volumen L.	Tiempo s.	Caudal L/s	Caudal prom. L/s	Observación
5.25	1	20	3.76	5.32	5.78	1 Tirante máximo
	2		3.36	5.95		
	3		3.41	5.86		
	4		3.47	5.77		
	5		3.33	6.00		
4.9	1	20	4.26	4.70	4.74	2
	2		4.51	4.43		
	3		4.21	4.75		
	4		3.89	5.15		
	5		4.27	4.68		
4.7	1	20	4.68	4.28	4.06	3
	2		4.80	4.17		
	3		5.32	3.76		
	4		5.00	4.00		
	5		4.86	4.11		
4.2	1	20	5.03	3.97	3.97	4
	2		4.95	4.04		
	3		4.75	4.21		
	4		5.20	3.85		
	5		5.30	3.77		
3.85	1	20	5.60	3.57	3.32	5
	2		6.22	3.22		
	3		5.67	3.53		
	4		6.33	3.16		
	5		6.36	3.14		
3.5	1	20	6.76	2.96	2.84	6
	2		6.86	2.92		
	3		7.10	2.82		
	4		7.02	2.85		
	5		7.56	2.65		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 36. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Tartar - Observación (7-14)

Tirante (H) cm	Prueba N°	Volumen L.	Tiempo s.	Caudal L/s	Caudal prom. L/s	Observación
3.35	1	20	7.29	2.74	2.83	7
	2		6.96	2.87		
	3		6.69	2.99		
	4		7.30	2.74		
	5		7.14	2.80		
3.2	1	20	8.58	2.33	2.49	8
	2		8.02	2.49		
	3		7.80	2.56		
	4		7.89	2.54		
	5		7.93	2.52		
3	1	20	8.77	2.28	2.28	9
	2		8.89	2.25		
	3		8.62	2.32		
	4		8.89	2.25		
	5		8.62	2.32		
2.7	1	20	9.76	2.05	2.03	10
	2		9.90	2.02		
	3		9.80	2.04		
	4		10.05	1.99		
	5		9.85	2.03		
2.45	1	20	12.42	1.61	1.60	11
	2		12.27	1.63		
	3		12.12	1.65		
	4		13.25	1.51		
	5		12.50	1.60		
2.2	1	20	12.42	1.61	1.58	12
	2		12.66	1.58		
	3		12.82	1.56		
	4		12.58	1.59		
	5		12.82	1.56		
2	1	20	17.09	1.17	1.18	13
	2		16.95	1.18		
	3		17.24	1.16		
	4		16.67	1.20		
	5		16.95	1.18		
1.65	1	20	20.62	0.97	0.95	14
	2		21.28	0.94		
	3		21.05	0.95		
	4		21.28	0.94		
	5		21.05	0.95		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 37. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Tartar - Observación (15-20)

Tirante (H) cm	Prueba Nº	Volumen L.	Tiempo s.	Caudal L/s	Caudal prom. L/s	Observación
1.4	1	20	33.90	0.59	0.60	15
	2		33.90	0.59		
	3		32.79	0.61		
	4		33.33	0.60		
	5		33.33	0.60		
1.2	1	20	35.71	0.56	0.57	16
	2		32.26	0.62		
	3		35.71	0.56		
	4		37.74	0.53		
	5		35.09	0.57		
1.1	1	20	36.36	0.55	0.56	17
	2		33.33	0.60		
	3		37.74	0.53		
	4		35.09	0.57		
	5		35.71	0.56		
0.9	1	20	40.82	0.49	0.51	18
	2		40.00	0.50		
	3		37.04	0.54		
	4		40.00	0.50		
	5		40.00	0.50		
0.7	1	20	55.56	0.36	0.28	19
	2		68.97	0.29		
	3		95.24	0.21		
	4		80.00	0.25		
	5		74.07	0.27		
0.3	1	20	133.33	0.15	0.13	20
	2		142.86	0.14		
	3		166.67	0.12		
	4		153.85	0.13		
	5		153.85	0.13		

Fuente: Elaboración Propia.

✓ **Vertedero Salto Sky**

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del caudal mediante el método volumétrico:

Tabla 38. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Salto Sky - Observación (1 - 7)

Tirante (H) cm	Prueba N°	Volumen L.	Tiempo s.	Caudal L/s	Caudal Promedio s.	Observación
3.6	1	20	4.56	4.39	4.22	Tirante máximo 1
	2		4.87	4.11		
	3		4.82	4.15		
	4		4.84	4.13		
	5		4.61	4.34		
3.4	1	20	4.96	4.03	3.97	2
	2		5.00	4.00		
	3		5.08	3.94		
	4		5.03	3.98		
	5		5.15	3.88		
3.2	1	20	5.51	3.63	3.73	3
	2		5.24	3.82		
	3		5.29	3.78		
	4		5.36	3.73		
	5		5.41	3.70		
3	1	20	6.01	3.33	3.30	4
	2		6.10	3.28		
	3		5.97	3.35		
	4		6.19	3.23		
	5		6.08	3.29		
2.8	1	20	6.51	3.07	3.06	5
	2		6.64	3.01		
	3		6.45	3.10		
	4		6.56	3.05		
	5		6.49	3.08		
2.6	1	20	7.19	2.78	2.80	6
	2		7.12	2.81		
	3		6.97	2.87		
	4		7.25	2.76		
	5		7.19	2.78		
2.4	1	20	8.03	2.49	2.54	7
	2		7.94	2.52		
	3		7.81	2.56		
	4		7.87	2.54		
	5		7.66	2.61		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 39. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Salto Sky - Observación (8 - 15)

Tirante (H) cm	Prueba N°	Volumen L.	Tiempo s.	Caudal L/s	Caudal Promedio s.	Observación
2.2	1	20	8.55	2.34	2.28	8
	2		9.09	2.20		
	3		9.22	2.17		
	4		8.51	2.35		
	5		8.58	2.33		
2	1	20	10.05	1.99	2.00	9
	2		10.10	1.98		
	3		9.80	2.04		
	4		10.00	2.00		
	5		10.10	1.98		
1.8	1	20	11.49	1.74	1.76	10
	2		11.30	1.77		
	3		11.30	1.77		
	4		11.56	1.73		
	5		11.17	1.79		
1.6	1	20	13.61	1.47	1.48	11
	2		13.25	1.51		
	3		13.70	1.46		
	4		13.33	1.50		
	5		13.70	1.46		
1.4	1	20	14.08	1.42	1.42	12
	2		13.89	1.44		
	3		14.39	1.39		
	4		13.99	1.43		
	5		14.18	1.41		
1.3	1	20	15.87	1.26	1.26	13
	2		16.67	1.20		
	3		15.75	1.27		
	4		15.63	1.28		
	5		15.75	1.27		
1.2	1	20	18.35	1.09	1.07	14
	2		19.42	1.03		
	3		18.52	1.08		
	4		18.18	1.10		
	5		19.05	1.05		
1	1	20	20.83	0.96	0.96	15
	2		20.41	0.98		
	3		21.51	0.93		
	4		21.05	0.95		
	5		20.62	0.97		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 40. Cálculo del caudal mediante método volumétrico en el canal de pendiente variable - Salto Sky - Observación (16-20)

Tirante (H) cm	Prueba N°	Volumen L.	Tiempo s.	Caudal L/s	Caudal Promedio s.	Observación
0.8	1	20	26.32	0.76	0.76	16
	2		25.97	0.77		
	3		27.03	0.74		
	4		26.32	0.76		
	5		26.67	0.75		
0.5	1	20	37.74	0.53	0.52	17
	2		39.22	0.51		
	3		37.74	0.53		
	4		39.22	0.51		
	5		39.22	0.51		
0.3	1	20	48.78	0.41	0.42	18
	2		48.78	0.41		
	3		47.62	0.42		
	4		46.51	0.43		
	5		47.62	0.42		
0.2	1	20	54.05	0.37	0.39	19
	2		52.63	0.38		
	3		47.62	0.42		
	4		47.62	0.42		
	5		55.56	0.36		
0.1	1	20	81.33	0.25	0.25	20
	2		80.00	0.25		
	3		81.33	0.25		
	4		80.00	0.25		
	5		83.33	0.24		

Fuente: Elaboración Propia.

3.7.1.5. Compatibilización:

- Las paredes de canal en laboratorio son de vidrio, por lo que es compatible dicho material ya que cumplió con la similitud en la obtención de la carga de agua en vertedero tipo cimacio; coeficiente de rugosidad de Manning en el modelo $m = 0,009$ (en laboratorio para vidrio), corresponde a un equivalente en prototipo de $p = 0,017$ (para muros de concreto encofrado).
- La similitud se la verifica para las condiciones del caudal de prueba y de calibración final modelo – prototipo.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. COEFICIENTE DE DESCARGA

4.1.1. Bases Teóricas – Fórmula de Francis

$$Q = C H^{3/2} \dots (40)$$

Donde:

Q: Gasto de diseño, m³ /s.

C: Coeficiente del vertedor.

L: Longitud de la cresta, m.

H: Carga de diseño, m.

Según el autor, el coeficiente de descarga para vertederos de pared gruesa tipo cimacio es **C= 2.0**.

4.1.2. Modelamiento Físico de las estructuras

Para realizar el modelamiento de las estructuras se empleó una escala de 1/10 en la similitud geométrica, en función de la cual se determinan las escalas para similitud cinemática y dinámica, teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 41. Escalas de traslación modelo prototipo y viceversa

TIPO DE SIMILITUD	PARÁMETRO	SÍMBOLO	ESCALAS
Geométrica	Longitud	Lr	Lr=Lm/Lp
Cinemática	Velocidad	Vr	Lr ^{0.5}
Dinámica	Caudal	Qr	Lr ^{2.5}

Fuente: Elaboración Propia.

Despejando la fórmula de Francis para vertederos, la ecuación del coeficiente de descarga es la siguiente:

$$C = Q/(L * H^{3/2}) \dots (41)$$

Donde:

Q: Gasto de diseño, m³ /s.

C: Coeficiente del vertedor.

L: Longitud de la cresta, m.

H: Carga de diseño, m.

4.1.2.1. Vertedero Tartar

✓ **Resultados obtenidos en el modelo:**

Tabla 42. Resultados obtenidos en el Modelo (Tartar)

Carga Hidráulica (H)		P (m)	P/H	Caudal		L (m)	C
(cm)	(m)			(L/s)	(m ³ /s)		
5.25	0.0525	0.083	1.58	5.78	0.00578	0.25	1.92
4.90	0.0490	0.083	1.69	4.74	0.00474	0.25	1.75
4.70	0.0470	0.083	1.77	4.06	0.00406	0.25	1.59
4.20	0.0420	0.083	1.98	3.97	0.00397	0.25	1.84
3.85	0.0385	0.083	2.16	3.32	0.00332	0.25	1.76
3.50	0.0350	0.083	2.37	2.84	0.00284	0.25	1.73
3.35	0.0335	0.083	2.48	2.83	0.00283	0.25	1.85
3.20	0.0320	0.083	2.59	2.49	0.00249	0.25	1.74
3.00	0.0300	0.083	2.77	2.28	0.00228	0.25	1.76
2.70	0.0270	0.083	3.07	2.03	0.00203	0.25	1.83
2.45	0.0245	0.083	3.39	1.6	0.00160	0.25	1.67
2.20	0.0220	0.083	3.77	1.58	0.00158	0.25	1.94
2.00	0.0200	0.083	4.15	1.18	0.00118	0.25	1.67
1.65	0.0165	0.083	5.03	0.95	0.00095	0.25	1.79
1.40	0.0140	0.083	5.93	0.6	0.00060	0.25	1.45
1.20	0.0120	0.083	6.92	0.57	0.00057	0.25	1.73
1.10	0.0110	0.083	7.55	0.56	0.00056	0.25	1.94
0.90	0.0090	0.083	9.22	0.51	0.00051	0.25	2.39
0.70	0.0070	0.083	11.86	0.28	0.00028	0.25	1.91
0.30	0.0030	0.083	27.67	0.13	0.00013	0.25	3.16

Fuente: Elaboración Propia.

✓ **Aplicando escala de traslación del modelo al prototipo:**

Tabla 43. Coeficiente de descarga en el Prototipo (Tartar)

H (m)	P (m)	P/H	L (m)	C	Caudal
0.53	0.83	1.58	27.60	1.92	20.17887
0.49	0.83	1.69	27.60	1.75	16.54807
0.47	0.83	1.77	27.60	1.59	14.17409
0.42	0.83	1.98	27.60	1.84	13.85988
0.39	0.83	2.16	27.60	1.76	11.59063
0.35	0.83	2.37	27.60	1.73	9.91488
0.34	0.83	2.48	27.60	1.85	9.87997
0.32	0.83	2.59	27.60	1.74	8.69297
0.30	0.83	2.77	27.60	1.76	7.95983
0.27	0.83	3.07	27.60	1.83	7.08704
0.25	0.83	3.39	27.60	1.67	5.58585
0.22	0.83	3.77	27.60	1.94	5.51602
0.20	0.83	4.15	27.60	1.67	4.11956
0.17	0.83	5.03	27.60	1.79	3.31660
0.14	0.83	5.93	27.60	1.45	2.09469
0.12	0.83	6.92	27.60	1.73	1.98996
0.11	0.83	7.55	27.60	1.94	1.95505
0.09	0.83	9.22	27.60	2.39	1.78049
0.07	0.83	11.86	27.60	1.91	0.97752
0.03	0.83	27.67	27.60	3.16	0.45385

Fuente: Elaboración Propia.

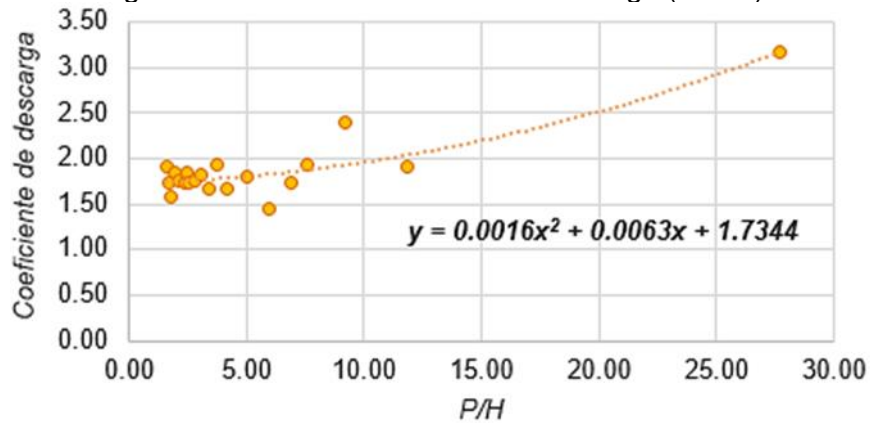
✓ **P/H vs. Coeficiente de descarga**

Tabla 44. P/H vs. Coeficiente de descarga (Tartar)

P/H	C
1.58	1.92
1.69	1.75
1.77	1.59
1.98	1.84
2.16	1.76
2.37	1.73
2.48	1.85
2.59	1.74
2.77	1.76
3.07	1.83
3.39	1.67
3.77	1.94
4.15	1.67
5.03	1.79
5.93	1.45
6.92	1.73
7.55	1.94
9.22	2.39
11.86	1.91
27.67	3.16

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 56. P/H vs. Coeficiente de descarga (Tartar)



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.2. Vertedero Salto Sky

✓ **Resultados obtenidos en el modelo**

Tabla 45. Resultados obtenidos en el Modelo (Salto Sky)

Carga Hidráulica (H)		P (m)	P/H	Caudal		L (m)	C
(cm)	(m)			(L/s)	(m ³ /s)		
3.6	0.036	0.147	4.08	4.22	0.00422	0.25	2.47
3.4	0.034	0.147	4.32	3.97	0.00397	0.25	2.53
3.2	0.032	0.147	4.59	3.73	0.00373	0.25	2.61
3.0	0.03	0.147	4.90	3.3	0.0033	0.25	2.54
2.8	0.028	0.147	5.25	3.06	0.00306	0.25	2.61
2.6	0.026	0.147	5.65	2.8	0.0028	0.25	2.67
2.4	0.024	0.147	6.13	2.54	0.00254	0.25	2.73
2.2	0.022	0.147	6.68	2.28	0.00228	0.25	2.79
2.0	0.02	0.147	7.35	2.00	0.002	0.25	2.83
1.8	0.018	0.147	8.17	1.76	0.00176	0.25	2.92
1.6	0.016	0.147	9.19	1.48	0.00148	0.25	2.93
1.4	0.014	0.147	10.50	1.42	0.00142	0.25	3.43
1.3	0.013	0.147	11.31	1.26	0.00126	0.25	3.40
1.2	0.012	0.147	12.25	1.07	0.00107	0.25	3.26
1.0	0.01	0.147	14.70	0.96	0.00096	0.25	3.84
0.8	0.008	0.147	18.38	0.76	0.00076	0.25	4.25
0.5	0.005	0.147	29.40	0.52	0.00052	0.25	5.88
0.3	0.003	0.147	49.00	0.42	0.00042	0.25	10.22
0.2	0.002	0.147	73.50	0.39	0.00039	0.25	17.44
0.1	0.001	0.147	147.00	0.25	0.00025	0.25	31.62

Fuente: Elaboración Propia.

✓ **Aplicando escala de traslación del modelo al prototipo:**

Tabla 46. Coeficiente de descarga en el Prototipo (Salto Sky)

H (m)	P (m)	P/H	L (m)	C	Caudal (m ³ /s)
0.36	1.47	4.08	24.30	2.47	12.97116
0.34	1.47	4.32	24.30	2.53	12.20272
0.32	1.47	4.59	24.30	2.61	11.46503
0.30	1.47	4.90	24.30	2.54	10.14332
0.28	1.47	5.25	24.30	2.61	9.40563
0.26	1.47	5.65	24.30	2.67	8.60645
0.24	1.47	6.13	24.30	2.73	7.80728
0.22	1.47	6.68	24.30	2.79	7.00811
0.20	1.47	7.35	24.30	2.83	6.14747
0.18	1.47	8.17	24.30	2.92	5.40977
0.16	1.47	9.19	24.30	2.93	4.54913
0.14	1.47	10.50	24.30	3.43	4.36470
0.13	1.47	11.31	24.30	3.40	3.87290
0.12	1.47	12.25	24.30	3.26	3.28890
0.10	1.47	14.70	24.30	3.84	2.95078
0.08	1.47	18.38	24.30	4.25	2.33604
0.05	1.47	29.40	24.30	5.88	1.59834
0.03	1.47	49.00	24.30	10.22	1.29097
0.02	1.47	73.50	24.30	17.44	1.19876
0.01	1.47	147.00	24.30	31.62	0.76843

Fuente: Elaboración Propia.

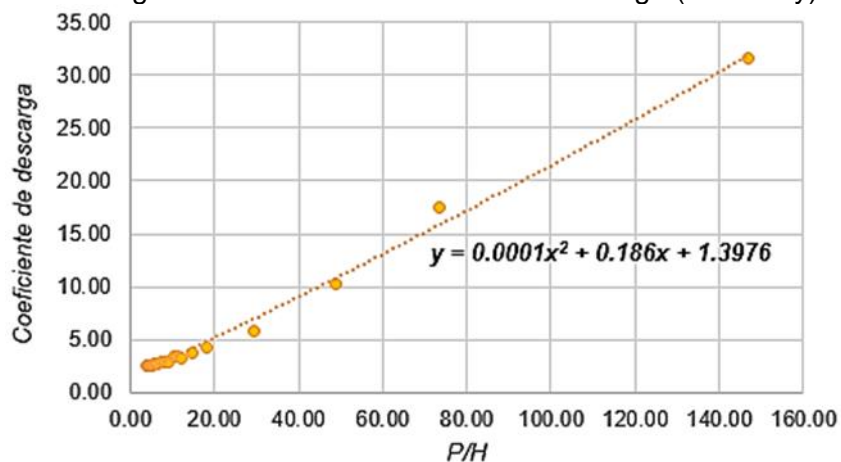
✓ **P/H vs. Coeficiente de descarga**

Tabla 47. P/H vs. Coeficiente de descarga (Salto Sky)

P/H	C
4.08	2.47
4.32	2.53
4.59	2.61
4.90	2.54
5.25	2.61
5.65	2.67
6.13	2.73
6.68	2.79
7.35	2.83
8.17	2.92
9.19	2.93
10.50	3.43
11.31	3.40
12.25	3.26
14.70	3.84
18.38	4.25
29.40	5.88
49.00	10.22
73.50	17.44
147.00	31.62

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 57. P/H vs. Coeficiente de descarga (Salto Sky)



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3. Calibración final modelo – prototipo

4.1.3.1. Coeficiente de descarga en el Modelo

✓ Vertedero Tartar

Tabla 48. Coeficiente de descarga según Modelo (Tartar)

H (m)	P (m)	P/H	C
0.08	0.83	10.38	1.97
0.36	0.83	2.37	1.76

Fuente: Elaboración Propia.

✓ Vertedero Salto Sky

Tabla 49. Coeficiente de descarga según Modelo (Salto Sky)

H (m)	P (m)	P/H	C
0.15	1.47	9.80	3.23

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3.2. Coeficiente de descarga en el Prototipo

✓ Vertedero Tartar

Tabla 50. Coeficiente de descarga en el prototipo (Tartar)

Tipo	Vertedero	H (m)	P (m)	P/H	Caudal (m ³ /s)	L (m)	C
Prototipo	Tartar	0.08	0.83	10.38	1.24011	27.60	1.99
Prototipo	Tartar	0.36	0.83	2.31	9.86731	27.60	1.66

Fuente: Elaboración Propia.

✓ Vertedero Salto Sky

Tabla 51. Coeficiente de descarga en el prototipo (Salto Sky)

Tipo	Vertedero	H (m)	P (m)	P/H	Caudal (m ³ /s)	L (m)	C
Prototipo	Salto Sky	0.15	1.47	9.80	4.41631	24.30	3.13

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3.3. Calibración final

Se determina un porcentaje de calibración o de error con la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{C - C}{C} \dots (42)$$

✓ Vertedero Tartar

Tabla 52. Coeficiente de descarga Modelo vs. Prototipo (Tartar)

H (m)	C		%E
	Modelo	Prototipo	
0.08	1.97	1.99	-1
0.36	1.76	1.66	6

Fuente: Elaboración Propia.

✓ Vertedero Salto Sky

Tabla 53. Coeficiente de descarga Modelo vs. Prototipo (Salto Sky)

H (m)	C		%E
	Modelo	Prototipo	
0.15	3.23	3.13	3

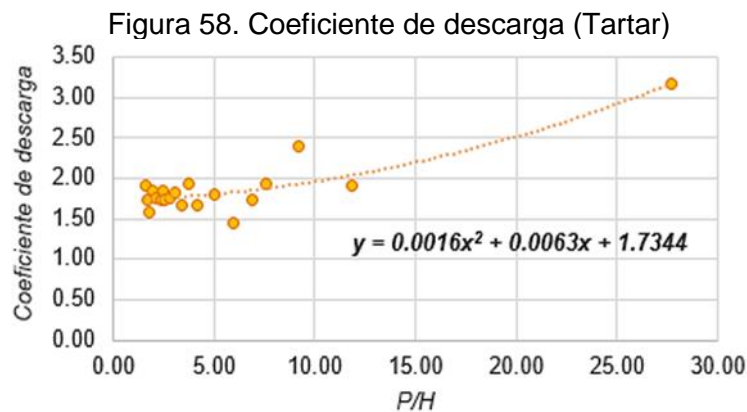
Fuente: Elaboración Propia.

El %E de calibración es considerado **Aceptable**, debido a factores de uniformidad de la carga hidráulica que se toma en el prototipo.

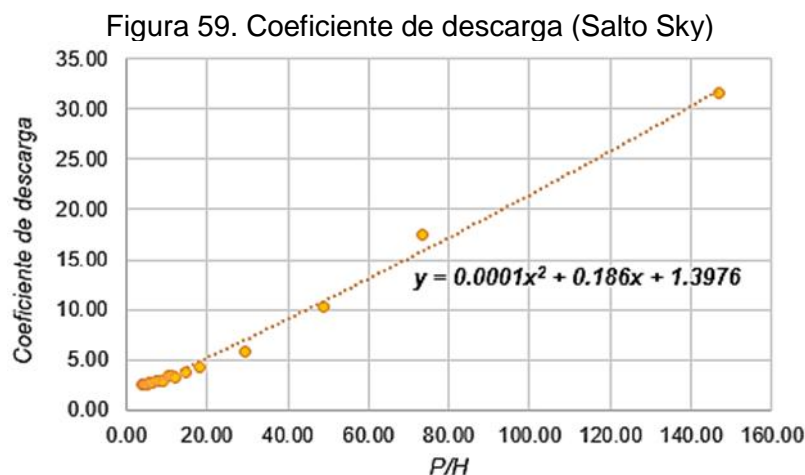
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

5.1. Coeficiente de descarga

Según las bases teóricas se afirma que el coeficiente de descarga es constante con el valor de $C=2$, sin embargo en este estudio se confirma la hipótesis de que el coeficiente de descarga presenta tendencia ascendente, es decir, aumenta cuando el valor de P/H aumenta, al ser el valor de P una constante en cada vertedero ($P=1.47\text{m}$), en el vertedero del Salto Sky y ($P=0.83\text{m}$) en el vertedero de Tartar, el valor de H (la carga hidráulica) disminuye y el coeficiente de descarga aumenta, como se puede observar a continuación:



Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede apreciar que el coeficiente de descarga tiene tendencia similar sin embargo se determina una ecuación diferente para determinar los coeficientes de descarga de cada vertedero.

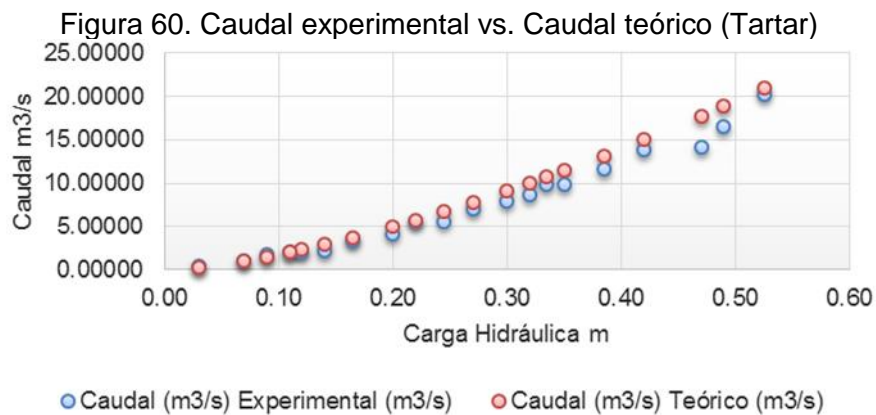
5.2. Comparación del Caudal experimental vs. Caudal Teórico

5.2.1. Vertedero Tartar

Tabla 54. Caudal experimental vs. Caudal teórico (Tartar)

H (m)	Caudal (m ³ /s)		E%
	Experimental	Teórico	
0.53	20.17887	20.99800	3.90
0.49	16.54807	18.93360	12.60
0.47	14.17409	17.78631	20.31
0.42	13.85988	15.02495	7.75
0.39	11.59063	13.18652	12.10
0.35	9.91488	11.42987	13.25
0.34	9.87997	10.70302	7.69
0.32	8.69297	9.99227	13.00
0.30	7.95983	9.07029	12.24
0.27	7.08704	7.74435	8.49
0.25	5.58585	6.69404	16.55
0.22	5.51602	5.69604	3.16
0.20	4.11956	4.93724	16.56
0.17	3.31660	3.69969	10.35
0.14	2.09469	2.89155	27.56
0.12	1.98996	2.29462	13.28
0.11	1.95505	2.01385	2.92
0.09	1.78049	1.49040	-19.46
0.07	0.97752	1.02232	4.38
0.03	0.45385	0.28683	-58.23
	Promedio		6.4

Fuente: Elaboración Propia.



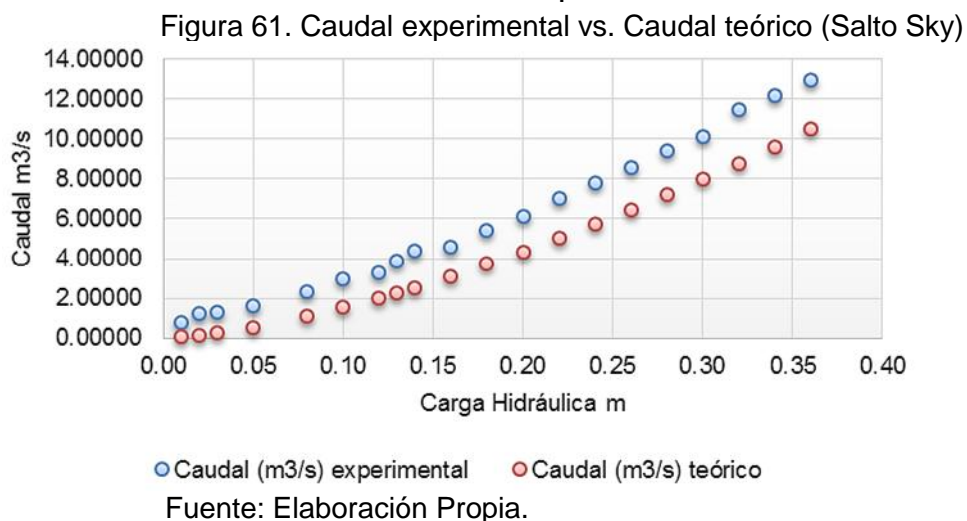
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2. Vertedero Salto Sky

Tabla 55. Caudal experimental vs. Caudal teórico (Salto Sky)

H (m)	Caudal (m ³ /s)		%E
	experimental	teórico	
0.36	12.97116	10.49760	19.07
0.34	12.20272	9.63506	21.04
0.32	11.46503	8.79754	23.27
0.30	10.14332	7.98579	21.27
0.28	9.40563	7.20068	23.44
0.26	8.60645	6.44312	25.14
0.24	7.80728	5.71417	26.81
0.22	7.00811	5.01499	28.44
0.20	6.14747	4.34692	29.29
0.18	5.40977	3.71146	31.39
0.16	4.54913	3.11040	31.63
0.14	4.36470	2.54582	41.67
0.13	3.87290	2.27799	41.18
0.12	3.28890	2.02026	38.57
0.10	2.95078	1.53687	47.92
0.08	2.33604	1.09969	52.92
0.05	1.59834	0.54336	66.00
0.03	1.29097	0.25253	80.44
0.02	1.19876	0.13746	88.53
0.01	0.76843	0.04860	93.68
	Promedio		41.59

Fuente: Elaboración Propia.



CONCLUSIONES

1. Según el modelamiento realizado para el vertedero 3 - Tartar, se obtuvo que, el coeficiente de descarga se puede calcular mediante la siguiente ecuación, para cualquier valor de carga hidráulica:

$$C = 0.0016 \left(\frac{P}{H}\right)^2 + 0.0063 \left(\frac{P}{H}\right) + 1.7344... \quad (43)$$

2. Según el modelamiento realizado para el vertedero 7 – Salto Sky, se obtuvo que, el coeficiente de descarga se puede obtener mediante la siguiente ecuación, para cualquier valor de carga hidráulica:

$$C = 0.0001 \left(\frac{P}{H}\right)^2 + 0.186 \left(\frac{P}{H}\right) + 1.3976... \quad (44)$$

3. Según las tablas 54 y 55, al comparar los caudales teóricos, es decir calculados con el valor $C=2$ y los experimentales obtenidos empleando la ecuación 43 y 44, podemos observar que existen graves errores en la determinación de caudales con la teoría actual, los cuales con este estudio se pueden solucionar a través de las fórmulas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar ensayos con diferente altura de cresta (P), para poder determinar otro parámetro en cuestión en la determinación de caudales, para estos vertederos.
2. Se recomienda utilizar las fórmulas determinadas por este estudio para calcular caudales en la zona de influencia de estas estructuras de captación (vertedero 3 y 7).

REFERENCIAS

1. Arreguín, C. F. (2000). Obras de excedencias. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Primera Edición. [Versión electrónica] Recuperado el 24 de abril de 2016, de: http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/1163/1/IMTA_053.pdf
2. Autoridad Nacional del Agua - ANA (2010). Plan de Gestión de Recursos Hídricos en las Cuencas Mashcón y Chonta con Énfasis en el Afianzamiento Hídrico de las Subcuencas Azufre, Paccha y Río Grande de Chonta, Cajamarca, Perú. Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en las Cuencas de Mashcón y Chonta. [En línea] Recuperado el 18 de abril de 2016, de http://www.ana.gob.pe/media/296401/plan_gestion_recursos_hidricos_mashcon_chonta.pdf
3. Briere, F.G. y Pizarro, H. (2005). Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagües y de Agua de Lluvia. Presses internationales Polytechnique. [En línea] Recuperado el 26 de octubre de 2016, de <https://books.google.com.pe/books?id=kgXhjH-vZ78C>
4. Cahuana, A. y Yugar, W. (2009). Material de Apoyo Didáctico Para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología. CIV-233. Universidad Mayor De San Simón, Cochabamba, Bolivia.
5. Calua, Rey, Riojas, Ruiz, Zaldivar (2015). Estudio comparativo del caudal hidráulico e hidrológico del río chonta en la captación de baños del inca, en los meses de enero- febrero del 2015. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
6. Chanson, H. (2002). Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos. Colombia: Mcgraw-Hill Interamericana, S.A.
7. Chow, V. T. (1994). Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santa fé de Bogotá, Colombia.
8. Geodesical (2016). Trípode FS24 Madera. Recuperado el 05 de diciembre de 2016, de <http://geodesical.com/tiendas/otros/tripodes-topografia/2318-Tripode-FS24-Madera.html>
9. Geodeticsac (2016). Wincha de 5 metros. Recuperado el 05 de diciembre de 2016, de http://www.geodeticsac.com/producto-wincha_de_5mts-137.html
10. Geotop (2016). Prisma Trimble para Estación Total. Recuperado el 05 de diciembre de 2016, de http://www.geotop.com.pe/descargas/accesorios/prismas-y-miniprismas/prisma_trimble_geotopsac.pdf

11. Geotronics (2013). Hoja de Datos Estación total (Trimble M3). Recuperado el 03 de diciembre de 2016, de http://geotronics.es/files/products/215/M3_1013_ESP.pdf
12. Gómez C, J. (2011). Métodos de aforo por molinete y aforador Parshall. Bogotá: Universidad Politécnica De El Salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil.
13. Gómez, M. A. (2012). Calibración de Vertederos de Pared Gruesa. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. [Versión electrónica] Recuperado el 10 de abril de 2016, de Facultad de Ingeniería: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3448_C.pdf
14. Google Earth (2016). Image 2016 CNES /Astrium. DigitalGlobe. Google
15. Google (2016). Imágenes
16. Gpsforestry (2016). Nivel de ingeniero CTS Berger SAL24ND. Recuperado el 05 de diciembre del 2016, de <http://www.gpsforestry-suppliers.com/CST-berger-SAL24ND-Automatic-Level>
17. INRENA-UCPSI (2005). Manual de Hidrometría. Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional. Uruguay.
18. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA. (2001). Serie Autodidáctica de Medición. Comisión Nacional del Agua - CNA. Distrito Federal, México. Recuperado el 20 de abril de 2016, de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/canal_parshall.pdf
19. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA. (2012). Manual de Diseño de Estructuras de Aforo. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México: L. S. Molina, Ed. Recuperado el 12 de abril de 2016, de http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/825/1/IMTA_013.pdf
20. López M., A. P. (2013). Bases Para el Diseño Hidráulico de la Estructura de Salida, Canal de Recolección y Tanque de Carga entre $20 \text{ m}^3/\text{s} \geq Q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ para desarenadores en Aprovechamientos Hidroeléctricos. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2209/1/T-UCE-0011-73.pdf>

21. Martínez Ramos, H. P. (2011). Evaluación Experimental de los Coeficientes de Gastos Utilizados en Fórmulas de Vertederos en Diferentes Condiciones de Operación. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado el 13 de abril de 2016, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/827/1/martinez_rh.pdf
22. Molina, D. y Guevara, J. (2010). Análisis Experimental de la Disipación de Energía en Cimacios con Perfil liso y escalonado. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2424/1/CD-3150.pdf>
23. N.T.P. OS.010. (2006). Captación y conducción de agua para consumo humano. Lima, Perú: Diario El Peruano. Recuperado el 13 de abril de 2016, de <http://www.construccion.org.pe/normas/rne2012/rne2006.htm>
24. Neotechbangladesh (2016). GPS Garmin. Recuperado el 05 de diciembre de 2016, de <http://neotechbangladesh.com/product/garmin-gps-map-62s/>
25. Rocha, J. (2001). Obras Hidráulicas I. Bolivia.
26. Rocha, A. (2007). Hidráulica de Tuberías y Canales (Primera Edición ed.). Lima, Perú: U. N. Ingeniería, Ed.
27. Rocha, A. (2009). Hidráulica Tuberías y Canales. Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
28. Rocha, A. (2015). Artículo Fórmulas de Vertederos. Lima, Perú: Manual de la Construcción – Agenda ICG-2015. Recuperado el 07 de noviembre de 2016, de https://www.academia.edu/12405644/Vertederos-_F%C3%B3rmulas
29. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI. (2013). Fortalecimiento de la Red de Estaciones Cuenca Chicama. 20. (J. Chira La Rosa, Ed.) Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI. Recuperado el 19 de abril de 2016, de <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/docTec-2013-JorgeChira.pdf>
30. Sotelo, G. (2002). Hidráulica General. Fundamentos, Vol. 1. México: LIMUSA Editores. Recuperado el 20 de abril de 2016.
31. SOUTH (2016). Jalones Porta Prisma. Recuperado el 5 de diciembre de 2016, de <http://southinstrument.es/18-prism-poles-2b.html#>

32. Terrones (2015). Disipación de energía Hidráulica mediante cuencos amortiguadores en el canal de pendiente variable del laboratorio de la Universidad Privada del Norte, 2015.
33. Tipsac (2016). Correntómetro Flowatch-FW. Recuperado el 29 de noviembre de 2016, de <http://www.tipsac.pe/correntometros/correntometro-flowatch-fw-detlle>
34. Unidad Técnica Especializada (UTE) COUSSA (2011). Obras de Excedencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, México.
35. United States Bureau of Reclamation (1987). Design of Small Dams. United States Department of the interior. Washington, DC. U.S. Government Printing Office
36. Urteaga, M. (2013). Manual de topografía. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
37. U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station (1952). Spillway and lock approach, Jim Woodruff Dam, río Apalachicola. Florida.
38. Vera, L. E. (2000-2001). Análisis de Aforo de La Estación Hidrométrica Obrajillo. Biblioteca Central UNMSM.
39. Vera, L. E. (2002). Análisis de aforo de la Estación Hidrométrica Obrajillo - periodo 2000-2001. 34. (O. G. Central, Ed.) Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado el 12 de abril de 2016, de Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/vera_h_/cap3.pdf
40. Villón Béjar, M. (2000). Hidráulica de Canales (4ta. edición ed.). Lima, Perú: Editorial Villón Lima . Recuperado el 23 de abril de 2016
41. Zamora Durán, J. (2004). Estudio Teórico Experimental de Algunos Tipos de Estructuras de Control. 142. Cartagena , Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado el 11 de abril de 2016, de http://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_Javier_Zamora_2004.pdf

ANEXOS

ANEXO 01 – RECOLECCIÓN DE DATOS EN EL PROTOTIPO Y EN EL MODELO



PROTOCOLO

ENSAYO

VELOCIDADES CON CORRENTÓMETRO Y
CONTADOR DIGITALCÓDIGO DEL DOCUMENTO:
VCCD-GT-UPNC: V.T.G.:001

TESIS

“ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA
HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO
CHONTA CAJAMARCA”

FECHA:	04/07/16	EQUIPOS:	Correntómetro, Contador Digital
LUGAR:	Vertedero Tartar G. Río Chonta	H (TIRANTE)(m):	0.30

LECTURA DE VELOCIDADES CON CORRENTÓMETRO Y CONTADOR DIGITAL

Tramo	Velocidad (cm/s)		Distancia (cm)
	0.2D	0.8D	
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.60	50.00
3			50.00
4	22.00	9.00	50.00
5			50.00
6	51.00	15.00	50.00
7			50.00
8	48.00	13.20	50.00
9			50.00
10	30.00	13.80	50.00
11			50.00
12	28.00	12.00	50.00
13			50.00
14	21.00	9.00	50.00
15			50.00
16	22.00	3.00	50.00
17			50.00
18	0.00	0.30	61.00

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO

COORDINADOR DE GABINETE

ASESOR

CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ

TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN

ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

FECHA: 04/07/16

FECHA: 04/07/16

FECHA: 04/07/16



GABINETE DE TOPOGRAFÍA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO	NIVELACIÓN MÚLTIPLE	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: NM-GT-UPNC: NTG-001
TESIS	“ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA”	

FECHA:	04/07/16	EQUIPOS:	Nivel de Ingeniero
LUGAR:	Vertedero Tartar Grande	Río Chonta	Mira, Wincha, GPS

NIVELACIÓN MÚLTIPLE PARA DETERMINAR SECCIÓN DE RÍO

Altura de instrumento (m): 1.35

Punto	Distancia (m)	Vista Atrás (m)	Cota (m)	Vista Adelante (m)	Observación
BM	-	0.56	2699	-	Roca fija (GPS)
1	0.00	-	-	1.420	-
2	0.50	-	-	1.421	-
3	1.00	-	-	1.421	-
4	1.50	-	-	1.442	-
5	2.00	-	-	1.442	-
6	2.50	-	-	1.595	-
7	3.00	-	-	1.698	-
8	3.50	-	-	1.655	-
9	4.00	-	-	1.659	-
10	4.50	-	-	1.680	-
11	5.00	-	-	1.650	-
12	5.50	-	-	1.646	-
13	6.00	-	-	1.590	-
14	6.50	-	-	1.578	-
15	7.00	-	-	1.527	-
16	7.50	-	-	1.479	-
17	8.00	-	-	1.452	-
18	8.61	-	-	1.420	-

Ancho total de río (m): 8.61

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE GABINETE	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 04/07/16	FECHA: 04/07/16	FECHA: 04/07/16



LABORATORIO DE HIDRÁULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO	DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: DTV-LH-UPNC: NTG-001
---------------	---------------------------------	--

TESIS	"ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA"	
--------------	--	--

FECHA DEL ENSAYO:	18/11/16	EQUIPO:	Canal de Pendiente Variable
PENDIENTE (So) (%):	1.97	TIPO DE VERTEDERO:	Pared Gruesa tipo cimacio
ANCHO DE CANAL (B) (cm):	24.9	MODELO HIDRÁULICO:	Vertedero Tartar Grande

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

Tirante (H) (cm)	Prueba N°	Volumen (L.)	Tiempo (s.)	Observación
5.25	1	20	3.76	1 (Tirante máximo)
	2		3.36	
	3		3.41	
	4		3.47	
	5		3.33	
4.90	1	20	4.26	2
	2		4.51	
	3		4.21	
	4		3.89	
	5		4.27	
4.70	1	20	4.68	3
	2		4.80	
	3		5.32	
	4		5.00	
	5		4.86	
4.20	1	20	5.03	4
	2		4.95	
	3		4.75	
	4		5.20	
	5		5.30	
3.85	1	20	5.60	5
	2		6.22	
	3		5.67	
	4		6.33	
	5		6.36	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMIREZ
FECHA: 18/11/16	FECHA: 18/11/16	FECHA: 18/11/16



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO	DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: DTV-LH-UPNC: NTG-002
TESIS	"ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA"	

FECHA DEL ENSAYO:	18/11/16	EQUIPO:	Canal de Pendiente Variable
PENDIENTE (So) (%):	1.97	TIPO DE VERTEDERO:	Pared Gruesa tipo cimacio
ANCHO DE CANAL (B) (cm):	24.9	MODELO HIDRÁULICO:	Vertedero Tartar Grande

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

Tirante (H) (cm)	Prueba N°	Volumen (L.)	Tiempo (s.)	Observación
3.50	1	20	6.76	6
	2		6.86	
	3		7.10	
	4		7.02	
	5		7.56	
3.35	1	20	7.29	7
	2		6.96	
	3		6.69	
	4		7.30	
	5		7.14	
3.20	1	20	8.58	8
	2		8.02	
	3		7.80	
	4		7.89	
	5		7.93	
3.00	1	20	8.77	9
	2		8.39	
	3		8.62	
	4		8.89	
	5		8.62	
2.70	1	20	9.76	10
	2		9.90	
	3		9.80	
	4		10.05	
	5		9.85	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 18/11/16	FECHA: 18/11/16	FECHA: 18/11/16



LABORATORIO DE HIDRÁULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO	DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: DTV-LH-UPNC: VTG-003
TESIS	"ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA"	

FECHA DEL ENSAYO:	18/11/16	EQUIPO:	Canal de Pendiente Variable
PENDIENTE (So) (%):	1.97	TIPO DE VERTEDERO:	Pared Gruesa tipo cimacio
ANCHO DE CANAL (B) (cm):	24.9	MODELO HIDRÁULICO:	Vertedero Tartar Grande

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

Tirante (H) (cm)	Prueba N°	Volumen (L.)	Tiempo (s.)	Observación
2.45	1	20	12.42	11
	2		12.27	
	3		12.12	
	4		13.25	
	5		12.50	
2.20	1	20	12.42	12
	2		12.66	
	3		12.82	
	4		12.58	
	5		12.82	
2.00	1	20	17.09	13
	2		16.95	
	3		17.24	
	4		16.67	
	5		16.95	
1.65	1	20	20.62	14
	2		21.28	
	3		21.05	
	4		21.28	
	5		21.05	
1.40	1	20	33.90	15
	2		33.90	
	3		32.79	
	4		33.33	
	5		33.33	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR GUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 18/11/16	FECHA: 18/11/16	FECHA: 18/11/16



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
DTV-LH-UPNC: V.T.G.-004

TESIS

“ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA
HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL
RÍO CHONTA CAJAMARCA”

FECHA DEL ENSAYO:	18/11/16	EQUIPO:	Canal de Pendiente Variable
PENDIENTE (So) (%):	1.97	TIPO DE VERTEDERO:	Pared Gruesa tipo cimacio
ANCHO DE CANAL (B) (cm):	24.9	MODELO HIDRÁULICO:	Vertedero Tartar Grande

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

Tirante (H) (cm)	Prueba N°	Volumen (L.)	Tiempo (s.)	Observación
1.20	1	20	35.71	16
	2		32.26	
	3		35.71	
	4		37.74	
	5		35.09	
1.10	1	20	36.36	17
	2		33.33	
	3		37.74	
	4		35.09	
	5		35.71	
0.90	1	20	40.82	18
	2		40.00	
	3		37.04	
	4		40.00	
	5		40.00	
0.70	1	20	55.56	19
	2		68.97	
	3		95.24	
	4		80.00	
	5		74.07	
0.30	1	20	133.33	20
	2		142.86	
	3		166.67	
	4		153.85	
	5		153.85	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 18/11/16	FECHA: 18/11/16	FECHA: 18/11/16



LABORATORIO DE HIDRÁULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS **CÓDIGO DEL DOCUMENTO:**
DTV-LH-UPNC: V.S.S.-001

TESIS “ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA
HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL
RÍO CHONTA CAJAMARCA”

FECHA DEL ENSAYO:	21/11/16	EQUIPO:	Canal de Pendiente Variable
PENDIENTE (So) (%):	5.69	TIPO DE VERTEDERO:	Pared Gruesa tipo cimacio
ANCHO DE CANAL (B) (cm):	24.9	MODELO HIDRÁULICO:	V. Salto Sky

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

Tirante (H) (cm)	Prueba N°	Volumen (L.)	Tiempo (s.)	Observación
3.60	1	20	4.56	1 (Tirante Máximo)
	2		4.87	
	3		4.82	
	4		4.84	
	5		4.61	
3.40	1	20	4.96	2
	2		5.00	
	3		5.08	
	4		5.03	
	5		5.15	
3.20	1	20	5.51	3
	2		5.24	
	3		5.29	
	4		5.36	
	5		5.41	
3.00	1	20	6.01	4
	2		6.10	
	3		5.97	
	4		6.19	
	5		6.08	
2.80	1	20	6.51	5
	2		6.64	
	3		6.45	
	4		6.56	
	5		6.49	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 21/11/16	FECHA: 21/11/16	FECHA: 21/11/16



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

CÓDIGO DEL DOCUMENTO:

DTV-LH-UPNC: VSS - 002

TESIS

“ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA”

FECHA DEL ENSAYO:	21/11/16	EQUIPO:	Canal de Pendiente Variable
PENDIENTE (So) (%):	5.69	TIPO DE VERTEDERO:	Pared Gruesa tipo cimacio
ANCHO DE CANAL (B) (cm):	24.9	MODELO HIDRÁULICO:	V. Salto Sky

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

Tirante (H) (cm)	Prueba N°	Volumen (L.)	Tiempo (s.)	Observación
2.60	1	20	7.19	6
	2		7.12	
	3		6.97	
	4		7.25	
	5		7.19	
2.40	1	20	8.03	7
	2		7.94	
	3		7.81	
	4		7.87	
	5		7.66	
2.20	1	20	8.55	8
	2		9.09	
	3		9.22	
	4		8.51	
	5		8.58	
2.00	1	20	10.05	9
	2		10.10	
	3		9.80	
	4		10.00	
	5		10.10	
1.80	1	20	11.49	10
	2		11.30	
	3		11.30	
	4		11.56	
	5		11.17	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR GUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 21/11/16	FECHA: 21/11/16	FECHA: 21/11/16



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

CÓDIGO DEL DOCUMENTO:

DTV-LH-UPNC: 155-003

TESIS

“ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA”

FECHA DEL ENSAYO:	21/11/16	EQUIPO:	Canal de Pendiente Variable
PENDIENTE (So) (%):	5.69	TIPO DE VERTEDERO:	Pared Gruesa tipo cimacio
ANCHO DE CANAL (B) (cm):	24.9	MODELO HIDRÁULICO:	V. Salto Sky

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

Tirante (H) (cm)	Prueba N°	Volumen (L.)	Tiempo (s.)	Observación
1.60	1	20	13.61	11
	2		13.25	
	3		13.70	
	4		13.33	
	5		13.70	
1.40	1	20	14.08	12
	2		13.89	
	3		14.39	
	4		13.99	
	5		14.18	
1.30	1	20	15.87	13
	2		16.67	
	3		15.75	
	4		15.63	
	5		15.75	
1.20	1	20	18.35	14
	2		19.42	
	3		18.52	
	4		18.18	
	5		19.05	
1.00	1	20	20.83	15
	2		20.41	
	3		21.51	
	4		21.05	
	5		20.62	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 21/11/16	FECHA: 21/11/16	FECHA: 21/11/16



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO	DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: DTV-LH-UPNC: 155-004
TESIS	“ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA”	

FECHA DEL ENSAYO:	21/11/16	EQUIPO:	Canal de Pendiente Variable
PENDIENTE (So) (%):	5.69	TIPO DE VERTEDERO:	Pared Gruesa tipo cimacio
ANCHO DE CANAL (B) (cm):	24.9	MODELO HIDRÁULICO:	V. Salto Sky

DESCARGA A TRAVÉS DE VERTEDEROS

Tirante (H) (cm)	Prueba N°	Volumen (L.)	Tiempo (s.)	Observación
0.80	1	20	26.32	16
	2		25.97	
	3		27.03	
	4		26.32	
	5		26.67	
0.50	1	20	37.74	17
	2		39.22	
	3		37.74	
	4		39.22	
	5		39.22	
0.30	1	20	48.78	18
	2		48.78	
	3		47.62	
	4		46.51	
	5		47.62	
0.20	1	20	54.05	19
	2		52.63	
	3		47.62	
	4		47.62	
	5		55.56	
0.10	1	20	81.33	20
	2		80.00	
	3		81.33	
	4		80.00	
	5		83.33	

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 21/11/16	FECHA: 21/11/16	FECHA: 21/11/16



GABINETE DE TOPOGRAFÍA - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO	NIVELACIÓN MÚLTIPLE	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: NM-GT-UPNC: NTG-002
TESIS	"ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA"	

FECHA:	12/01/17	EQUIPOS:	Nivel de Ingeniero
LUGAR:	Vertedero Tartar Grande	Río Chonta	Mira, Wincha, GPS

NIVELACIÓN MÚLTIPLE PARA DETERMINAR SECCIÓN DE RÍO

Altura de instrumento (m): 1.37

Punto	Distancia (m)	Vista Atrás (m)	Cota (m)	Vista Adelante (m)	Observación
BM	-	1.42	2.698	-	Roca Fija (GPS)
1	0.00			2.043	
2	0.50			2.116	
3	1.00			2.199	
4	1.50			2.109	
5	2.00			2.145	
6	2.50			2.195	
7	3.00			2.257	
8	3.50			2.281	
9	4.00			2.299	
10	4.50			2.368	
11	5.00			2.363	
12	5.50			2.417	
13	6.00			2.398	
14	6.50			2.386	
15	7.00			2.345	
16	7.50			2.332	
17	8.00			2.285	
18	8.50			2.167	
19	9.00			2.139	
20	9.50			2.062	
21	9.88			2.043	

Ancho total de río (m): 9.88

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE GABINETE	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 12/01/17	FECHA: 12/01/17	FECHA: 12/01/17

GABINETE DE TOPOGRAFÍA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA



PROTOCOLO

ENSAYO	VELOCIDADES CON CORRENTÓMETRO Y CONTADOR DIGITAL	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: VCCD-GT-UPNC: NTG-002
TESIS	"ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA"	

FECHA:	12/01/17	EQUIPOS:	Correntómetro, Contador Digital
LUGAR:	Vertedero Tartar - Río Chonta	H (TIRANTE)(m):	0.55

LECTURA DE VELOCIDADES CON CORRENTÓMETRO Y CONTADOR DIGITAL

Tramo	Velocidad (cm/s)		Distancia (cm)
	0.2D	0.8D	
1			00.00
2	52.00	47.00	50.00
3			50.00
4	102.00	91.00	50.00
5			50.00
6	86.00	74.00	50.00
7			50.00
8	102.00	89.50	50.00
9			50.00
10	111.00	94.00	50.00
11			50.00
12	116.00	108.00	50.00
13			50.00
14	116.00	105.00	50.00
15			50.00
16	99.00	86.00	50.00
17			50.00
18	88.00	77.00	50.00
19			50.00
20	63.00	55.00	50.00
21			38.00

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE GABINETE	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 12/01/17	FECHA: 12/01/17	FECHA: 12/01/17

PROTOCOLO

ENSAYO

VELOCIDADES CON CORRENTÓMETRO Y
CONTADOR DIGITALCÓDIGO DEL DOCUMENTO:
VCCD-GT-UPNC: 155...001

TESIS

"ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA
HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO
CHONTA CAJAMARCA"

FECHA:

17/01/17

EQUIPOS:

Correntómetro, Contador Digital

LUGAR:

Vertedero Salto Sky - Río Chonta

H (TIRANTE)(m):

0.64

LECTURA DE VELOCIDADES CON CORRENTÓMETRO Y CONTADOR DIGITAL

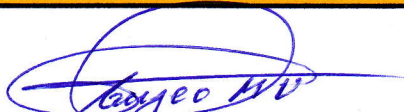
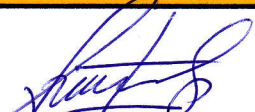
Tramo	Velocidad (cm/s)		Distancia (cm)
	0.2D	0.8D	
1			00.00
2	0.00	0.00	50.00
3			50.00
4	99.00	88.00	50.00
5			50.00
6	99.00	88.00	50.00
7			50.00
8	94.00	83.00	50.00
9			50.00
10	88.00	75.00	50.00
11			50.00
12	86.00	71.50	50.00
13			50.00
14	105.00	83.00	50.00
15			50.00
16	113.00	102.00	50.00
17			50.00
18	111.00	94.00	50.00
19			50.00
20	119.00	102.00	50.00
21			50.00
22	124.00	108.00	50.00
23			50.00
24	127.00	113.00	50.00
25			50.00
26	122.00	111.00	50.00
27			50.00
28	119.00	102.00	50.00
29			50.00
30	119.00	105.00	50.00
31			50.00
32	111.00	99.00	50.00
33			50.00
34	97.00	91.00	50.00
35			41.00

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO

COORDINADOR DE GABINETE

ASESOR

CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ

TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN

ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

FECHA: 17/01/17

FECHA: 17/01/17

FECHA: 17/01/17



GABINETE DE TOPOGRAFÍA – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO

NIVELACIÓN MÚLTIPLE

CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
NM-GT-UPNC: 0055-001

TESIS

“ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO CHONTA CAJAMARCA”

FECHA:	17/01/17	EQUIPOS:	Nivel de Ingeniero
LUGAR:	Vertedero Salto Sky	Río Chonta	Mira, Wincha, GPS

NIVELACIÓN MÚLTIPLE PARA DETERMINAR SECCIÓN DE RÍO

Altura de instrumento (m): 1.33

Punto	Distancia (m)	Vista Atrás (m)	Cota (m)	Vista Adelante (m)	Observación
BM	-	1.298	2687	-	Roca Fija (GPS)
1	0.00	-	-	2.022	-
2	0.50	-	-	2.295	-
3	1.00	-	-	2.405	-
4	1.50	-	-	2.531	-
5	2.00	-	-	2.578	-
6	2.50	-	-	2.562	-
7	3.00	-	-	2.482	-
8	3.50	-	-	2.463	-
9	4.00	-	-	2.487	-
10	4.50	-	-	2.451	-
11	5.00	-	-	2.439	-
12	5.50	-	-	2.479	-
13	6.00	-	-	2.403	-
14	6.50	-	-	2.421	-
15	7.00	-	-	2.462	-
16	7.50	-	-	2.488	-
17	8.00	-	-	2.521	-
18	8.50	-	-	2.545	-
19	9.00	-	-	2.563	-
20	9.50	-	-	2.484	-
21	10.00	-	-	2.585	-
22	10.50	-	-	2.620	-
23	11.00	-	-	2.623	-
24	11.50	-	-	2.665	-
25	12.00	-	-	2.653	-
26	12.50	-	-	2.672	-

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE GABINETE	ASESOR
CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ	TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN	ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ
FECHA: 17/01/17	FECHA: 17/01/17	FECHA: 17/01/17



GABINETE DE TOPOGRAFÍA - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO

NIVELACIÓN MÚLTIPLE

CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
NM-GT-UPNC: 155-002

TESIS

"ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTE CARGA
HIDRÁULICA EN DOS VERTEDEROS DE PARED GRUESA TIPO CIMACIO DEL RÍO
CHONTA CAJAMARCA"

FECHA:

17/01/17

EQUIPOS:

Nivel de Ingeniero

LUGAR:

Vertederos Salto Sky

Río Chonta

Mira, Wincha, GPS

Punto	Distancia (m)	Vista Atrás (m)	Cota (m)	Vista Adelante (m)	Observación
27	13.00	-	-	2.695	-
28	13.50	-	-	2.698	-
29	14.00	-	-	2.720	-
30	14.50	-	-	2.702	-
31	15.00	-	-	2.751	-
32	15.50	-	-	2.763	-
33	16.00	-	-	2.685	-
34	16.50	-	-	2.515	-
35	16.91	-	-	2.022	-

Ancho total de río (m): 16.91

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO

COORDINADOR DE GABINETE

ASESOR

CLAUDIA FIORELLA RIOJAS ORTIZ

TÉC. VÍCTOR CUZCO MINCHÁN

ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

FECHA: 17/01/17

FECHA: 17/01/17

FECHA: 17/01/17