

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Comparación de flujo hiperconcentrado con fluido newtoniano
mediante el modelamiento bidimensional**

Línea de investigación: Ingeniería Civil

Sub Línea de investigación: Hidráulica

Autor:

Herrera Sandoval, Danna Alicia

Plasencia Moreno, Cecilia Katarina

Jurado evaluador:

Presidente : Narváez Aranda, Ricardo Andrés

Secretario : Chuquilin Delgado, María Florencia

Vocal : Salazar Perales, Álvaro Fernando

Asesor:

García Rivera, Juan Pablo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

TRUJILLO – PERÚ

2023

Fecha de sustentación: 2023/12/19

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Comparación de flujo hiperconcentrado con fluido newtoniano
mediante el modelamiento bidimensional**

Línea de investigación: Ingeniería Civil

Sub Línea de investigación: Hidráulica

Autor:

Herrera Sandoval, Danna Alicia

Plasencia Moreno, Cecilia Katarina

Jurado evaluador:

Presidente : Narváez Aranda, Ricardo Andrés

Secretario : Chuquilin Delgado, María Florencia

Vocal : Salazar Perales, Álvaro Fernando

Asesor:

García Rivera, Juan Pablo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

TRUJILLO – PERÚ

2023

Fecha de sustentación: 2023/12/19

Comparación de flujo hiperconcentrado con fluido newtoniano mediante el modelamiento bidimensional

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	12%	0%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	9%
2	noticias.juridicas.com Fuente de Internet	1%
3	educacion.sanjuan.edu.ar Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo


 JUAN PABLO GARCÍA RIVERA
 CIP 48814
 INGENIERO CIVIL

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Juan Pablo García Rivera, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada "Comparación de flujo hiperconcentrado con fluido newtoniano mediante el modelamiento bidimensional", de los autores Herrera Sandoval Danna Alicia y Plasencia Moreno Cecilia Katarina, dejo constancia de lo siguiente:

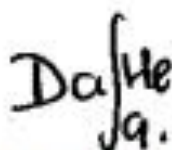
- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 12 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 14 de diciembre del 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis "Comparación de flujo hiperconcentrado con fluido newtoniano mediante el modelamiento bidimensional", y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y fecha: Trujillo, 14 de diciembre de 2023



García Rivera, Juan Pablo
DNI: 18216844

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>



Herrera Sandoval Danna Alicia
DNI: 74700709



Plasencia Moreno Cecilia Katarina
DNI: 75285947

DEDICATORIA

A dios, en primer lugar, por darme sabiduría, salud y guiarme a lo largo de este camino que es la vida, para así poder seguir logrando todas mis metas profesionales y personales.

A mis abuelos Hector Herrera y Abelardo Sandoval, que Dios los tenga en su santa gloria, no se encontrarán físicamente conmigo, pero sé que desde donde estén me guían y están cuidado en cada paso que dé.

A mis abuelitas Albina Saboya y Alicia Morales, por cada palabra de aliento que me han dado para seguir adelante persiguiendo mis sueños e inculcarme sus valores desde muy pequeña.

A mis padres Hector Herrera y Edith Sandoval, son mi ejemplo a seguir, ustedes son mi fuerza y gran motivación para seguir adelante, muchas gracias por apoyarme en cada momento, porque gracias a su formación y amor hoy en día soy esta persona.

A mi hermana Cristina Lizeth, por sus palabras de aliento y acompañarme en el día a día.

A mi compañero Walter Augusto que me impulsa a seguir mis metas, por brindarme su apoyo y amor en cada momento.

HERRERA SANDOVAL, DANNA ALICIA

DEDICATORIA

Quiero expresar mi gratitud profunda a Dios, fuente de fortaleza y guía.

A mis padres, Gladis Moreno y Juan Plasencia, que desde mi infancia me enseñaron a creer en mis sueños y esforzarme por cumplirlos, como una forma de mostrar mi gratitud por cada sacrificio que hicieron, les dedico este logro.

A mis hermanos, quienes me brindaron su apoyo, energía, fortaleza en cada decisión que tomé, por perseverar y confiar en mis habilidades para llegar a este momento con la convicción de que cada esfuerzo ha valido la pena.

PLASENCIA MORENO, CECILIA KATARINA

AGRADECIMIENTO

A nuestros docentes universitarios, quienes nos enseñaron valores como el respeto, la perseverancia y la honestidad, además que nos brindaron sabiduría e impartieron conocimientos durante el transcurso de esta carrera.

Un agradecimiento especial al Ing. Juan Pablo García Rivera, quien ha sido asesor de esta investigación, por su respaldo desde el inicio hasta la finalización de esta investigación.

Herrera Sandoval, Danna Alicia

Plasencia Moreno, Cecilia Katarina

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es dar un estimado del tamaño de malla y tiempo computacional apropiados para cada escenario en un canal de 70 metros de ancho utilizando modelación. Además, se examina el comportamiento de varios métodos utilizados en los modelos hidrodinámicos, que previamente se habían sido identificados como objeto de estudio. La modelación y los estudios hidrológicos permiten obtener resultados y evaluaciones sobre el comportamiento de un flujo más real.

En AutoCAD Civil 3D, se creó la geometría de los escenarios de canal, teniendo en cuenta características como, pendiente y rugosidad. Además, se consideró que de caudal se usaría: $100 \text{ m}^3/\text{s}$, $200 \text{ m}^3/\text{s}$ y $300 \text{ m}^3/\text{s}$; la pendiente de 0.05m, 0.07m y 0.09m; y la rugosidad de 0.040.

Se puede utilizar un esquema unidimensional para un canal, pero un río requiere un esquema bidimensional. La ecuación de energía, las ecuaciones de Saint-Venant (2D) y la onda difusa se utilizaron para esto. La primera es para modelamiento unidimensional, mientras que las dos siguientes son para modelamiento bidimensional. En esta investigación, se empleó un modelo numérico para simular y fue el HEC-RAS.

En conclusión, para cada uno de los 108 escenarios, se realiza un análisis de cada modelo hidrodinámico utilizado en el estudio, donde se contrastan ambas simulaciones. También se obtienen datos de tamaño de malla y tiempo computacional. De esta manera, se evalúan sus usos potenciales, que dependen de una variedad de habilidades, como el método de mallado y las condiciones de contorno en la importación de datos.

Palabras clave: Simulaciones, flujo hiperconcentrado, esquema bidimensional, rugosidad, tiempo computacional,

ABSTRACT

The objective of this research is to give an estimate of the appropriate mesh size and computational time for each scenario in a 70-meter-wide channel using modeling. In addition, the behavior of several methods used in hydrodynamic models, which had previously been identified as the object of study, is examined. Modeling and hydrological studies allow obtaining results and evaluations on the behavior of a more realistic flow.

In AutoCAD Civil 3D, the geometry of the channel scenarios was created, taking into account characteristics such as slope and roughness. In addition, it was considered that the flow rate would be: $100 \text{ m}^3/\text{s}$, $200 \text{ m}^3/\text{s}$ y $300 \text{ m}^3/\text{s}$; the slope of 0.05m, 0.07m and 0.09m; and the roughness of 0.040.

A one-dimensional scheme can be used for a channel, but a river requires a two-dimensional scheme. The energy equation, the Saint-Venant (2D) equations and the diffuse wave were used for this. The first one is for one-dimensional modeling, while the following two are for two-dimensional modeling. In this research, a numerical model was used to simulate and it was the HEC-RAS. In conclusion, for each of the 108 scenarios, mesh size and computational time data are obtained, as well as an analysis of each hydrodynamic model in the study, where both simulations are contrasted. In this way, their possible applications are evaluated, which depend on various capabilities, such as the meshing method, the boundary conditions in the data import.

In conclusion, for each of the 108 scenarios, an analysis of each hydrodynamic model used in the study is performed, where both simulations are contrasted. Mesh size and computational time data are also obtained. In this way, their potential uses are evaluated, which depend on a variety of skills, such as the meshing method and the boundary conditions in the data import.

Keywords: Simulations, hyperconcentrated flow, two-dimensional scheme, roughness, computational time

PRESENTACIÓN

Señores integrantes del jurado:

En base a los requisitos establecidos en el reglamento de grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y en el reglamento interno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ponemos a su disposición el presente trabajo de suficiencia profesional titulado: **COMPARACIÓN DE FLUJO HIPERCONCENTRADO CON FLUIDO NEWTONIANO MEDIANTE EL MODELAMIENTO BIDIMENSIONAL** con el fin de obtener el título profesional de ingeniero civil.

Señores miembros del jurado, creemos que esta investigación podría mejorar y contribuir a la difusión de la investigación de nuestra Universidad con sus comentarios y sugerencias.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de Investigación	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo General.....	1
1.2.2. Objetivos Específicos	1
1.3. Justificación del Estudio	2
II. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	3
2.1.1. A nivel Internacional	3
2.1.2. A nivel Nacional	3
2.2. MARCO TEÓRICO	6
2.2.1. Canales	6
2.2.2. Hidráulica de Canales.....	7
2.2.3. Rugosidad	16
2.2.4. Modelación Hidráulica	19
2.3. Marco Conceptual	24
2.4. Sistema de Hipótesis	25
Variables e indicadores	25
Fuente: Elaboración Propia	26
III. METODOLOGÍA EMPLEADA	27
3.1. Tipo y nivel de investigación	27
3.1.1. Tipo de Investigación.....	27
3.1.2. Nivel de Investigación.....	27
3.2. Población y Muestra de Estudio	27
3.2.1. Población.....	27
3.2.2. Muestra	27
3.3. Diseño de Investigación	27
3.4. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos	27
3.5. Procesamiento y Análisis de datos	28
3.5.1. Diseño del canal en el programa Civil 3D	28
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	44
4.1. Propuesta de investigación	44
4.2. Análisis e interpretación de resultados	44

4.3. Docimasia de hipótesis.....	152
CONCLUSIONES.....	153
RECOMENDACIONES.....	155
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	156
ANEXOS	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficiente de rugosidad "Ks" que depende del lecho del canal natural	8
Tabla 2: Borde en función del caudal	10
Tabla 3: Borde en función del ancho de solera.....	11
Tabla 4: Taludes según el tipo de material a emplear	12
Tabla 5: La relación geométrica entre las secciones transversales más comunes	13
Tabla 6: Tabla de coeficiente de rugosidad de Manning.....	17
Tabla 7: Operacionalización de Variables	25
Table 8: Esfuerzo de Cedencia y Viscosidad en Función CV	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Malla estructurada	23
Figura N° 2 Malla estructurada	23
Figura N° 3 Diseño de canal con pendiente 0.05 en Civil 3D	28
Figura N° 4 Canal base con pendiente 0.05	29
Figura N° 5 Diseño de canal con pendiente 0.07 en Civil 3D	29
Figura N° 6 Canal base con pendiente 0.07	30
Figura N° 7 Diseño de canal con pendiente 0.09 en Civil 3D	30
Figura N° 8 Canal base con pendiente 0.09	31
Figura N° 9 Exportar como archivo TIF	31
Figura N° 10 Interfaz del Hec-ras 6.3.1	32
Figura N° 11 Se importa el archivo TIF del canal	33
Figura N° 12 Canal base en el RAS mapper	33
Figura N° 13 Creación de la geometría del canal	34
Figura N° 14 Selección del perímetro a modelar del canal.....	34
Figura N° 15 Edición de malla computacional y propiedades.....	35
Figura N° 16 Condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo.....	35
Figura N° 17 Selección de geometría creada en el RAS mapper.....	36
Figura N° 18 Selección de geometría creada en el RAS mapper.....	36
Figura N° 19 Geometría seleccionada para trabajar el modelo	37
Figura N° 20 Condiciones de borde.....	38
Figura N° 21 Condición de borde - entrada	38
Figura N° 22 Condición de borde - salida	39
Figura N° 23 Análisis del flujo en el modelo	39
Figura N° 24 Calculo del modelo en HEC - RAS	40
Figura N° 25 Comportamiento del flujo en el canal	41
Figura N° 26 Obtención de resultado promedio del tirante en el canal.....	41
Figura N° 27 Comportamiento de la velocidad en el canal.....	42
Figura N° 28 Obtención de resultado promedio de velocidad en el canal	42
Figura N° 29 Grafico	43
Figura N° 30. Grafico de resultados del Modelo N°1	44
Figura N° 31 Gráfico de resultados del Modelo N°2	45
Figura N° 32 Gráfico de resultados del Modelo N°3	46
Figura N° 33 Gráfico de resultados del Modelo N°4	47
Figura N° 34 Gráfico de resultados del Modelo N°5	48
Figura N° 35 Gráfico de resultados del Modelo N°6	49
Figura N° 36 Gráfico de resultados del Modelo N°7	50
Figura N° 37 Gráfico de resultados del Modelo N°8	51
Figura N° 38 Gráfico de resultados del Modelo N°9	52
Figura N° 39 Gráfico de resultados del Modelo N°10	53
Figura N° 40 Gráfico de resultados del Modelo N°11	54

Figura N° 41	Gráfico de resultados del Modelo N° 12	55
Figura N° 42	Gráfico de resultados del Modelo N° 13	56
Figura N° 43	Gráfico de resultados del Modelo N°14	57
Figura N° 44	Gráfico de resultados del Modelo N°15	58
Figura N° 45	Gráfico de resultados del Modelo N°16	59
Figura N° 46	Gráfico de resultados del Modelo N°17	60
Figura N° 47	Gráfico de resultados del Modelo N°18	61
Figura N° 48	Gráfico de resultados del Modelo N°19	62
Figura N° 49	Gráfico de resultados del Modelo N°20	63
Figura N° 50	Gráfico de resultados del Modelo N°21	64
Figura N° 51	Gráfico de resultados del Modelo N°22	65
Figura N° 52	Gráfico de resultados del Modelo N°23	66
Figura N° 53	Gráfico de resultados del Modelo N°24	67
Figura N° 54	Gráfico de resultados del Modelo N°25	68
Figura N° 55	Gráfico de resultados del Modelo N°26	69
Figura N° 56	Gráfico de resultados del Modelo N°27	70
Figura N° 57	Gráfico de resultados del Modelo N°1 adicionando Cv.....	71
Figura N° 58	Gráfico de resultados del Modelo N°2 adicionando Cv.....	72
Figura N° 59	Gráfico de resultados del Modelo N°3 adicionando Cv.....	73
Figura N° 60	Gráfico de resultados del Modelo N°4 adicionando Cv.....	74
Figura N° 61	Gráfico de resultados del Modelo N°5 adicionando Cv.....	75
Figura N° 62	Gráfico de resultados del Modelo N°6 adicionando Cv.....	76
Figura N° 63	Gráfico de resultados del Modelo N°7 adicionando Cv.....	77
Figura N° 64	Gráfico de resultados del Modelo N°8 adicionando Cv.....	78
Figura N° 65	Gráfico de resultados del Modelo N°9 adicionando Cv.....	79
Figura N° 66	Gráfico de resultados del Modelo N°10 adicionando Cv.....	80
Figura N° 67	Gráfico de resultados del Modelo N°11 adicionando Cv.....	81
Figura N° 68	Gráfico de resultados del Modelo N°12 adicionando Cv.....	82
Figura N° 69	Gráfico de resultados del Modelo N°13 adicionando Cv.....	83
Figura N° 70	Gráfico de resultados del Modelo N°14 adicionando Cv.....	84
Figura N° 71	Gráfico de resultados del Modelo N°15 adicionando Cv.....	85
Figura N° 72	Gráfico de resultados del Modelo N°16 adicionando Cv.....	86
Figura N° 73	Gráfico de resultados del Modelo N°17 adicionando Cv.....	87
Figura N° 74	Gráfico de resultados del Modelo N°18 adicionando Cv.....	88
Figura N° 75	Gráfico de resultados del Modelo N°19 adicionando Cv.....	89
Figura N° 76	Gráfico de resultados del Modelo N°20 adicionando Cv.....	90
Figura N° 77	Gráfico de resultados del Modelo N°21 adicionando Cv.....	91
Figura N° 78	Gráfico de resultados del Modelo N°22 adicionando Cv.....	92
Figura N° 79	Gráfico de resultados del Modelo N°23 adicionando Cv.....	93
Figura N° 80	Gráfico de resultados del Modelo N°24 adicionando Cv.....	94
Figura N° 81	Gráfico de resultados del Modelo N°25 adicionando Cv.....	95
Figura N° 82	Gráfico de resultados del Modelo N°26 adicionando Cv.....	96
Figura N° 83	Gráfico de resultados del Modelo N°27 adicionando Cv.....	97
Figura N° 84	Gráfico de resultados del Modelo N°1	98

Figura N° 85	Gráfico de resultados del Modelo N°2	99
Figura N° 86	Gráfico de resultados del Modelo N°3	100
Figura N° 87	Gráfico de resultados del Modelo N°4	101
Figura N° 88	Gráfico de resultados del Modelo N°5	102
Figura N° 89	Gráfico de resultados del Modelo N°6	103
Figura N° 90	Gráfico de resultados del Modelo N°7	104
Figura N° 91	Gráfico de resultados del Modelo N°8	105
Figura N° 92	Gráfico de resultados del Modelo N°9	106
Figura N° 93	Gráfico de resultados del Modelo N°10	107
Figura N° 94	Gráfico de resultados del Modelo N°11	108
Figura N° 95	Gráfico de resultados del Modelo N°12	109
Figura N° 96	Gráfico de resultados del Modelo N°13	110
Figura N° 97	Gráfico de resultados del Modelo N°14	111
Figura N° 98	Gráfico de resultados del Modelo N°15	112
Figura N° 99	Gráfico de resultados del Modelo N°16	113
Figura N° 100	Gráfico de resultados del Modelo N°17	114
Figura N° 101	Gráfico de resultados del Modelo N°18	115
Figura N° 102	Gráfico de resultados del Modelo N°19	116
Figura N° 103	Gráfico de resultados del Modelo N°20	117
Figura N° 104	Gráfico de resultados del Modelo N°21	118
Figura N° 105	Gráfico de resultados del Modelo N°22	119
Figura N° 106	Gráfico de resultados del Modelo N°23	120
Figura N° 107	Gráfico de resultados del Modelo N°24	121
Figura N° 108	Gráfico de resultados del Modelo N°26	122
Figura N° 109	Gráfico de resultados del Modelo N°26	123
Figura N° 110	Gráfico de resultados del Modelo N°27	124
Figura N° 111	Gráfico de resultados del Modelo N°1 adicionando Cv.....	125
Figura N° 112	Gráfico de resultados del Modelo N°2 adicionando Cv.....	126
Figura N° 113	Gráfico de resultados del Modelo N°3 adicionando Cv.....	127
Figura N° 114	Gráfico de resultados del Modelo N°4 adicionando Cv.....	128
Figura N° 115	Gráfico de resultados del Modelo N°5 adicionando Cv.....	129
Figura N° 116	Gráfico de resultados del Modelo N°6 adicionando Cv.....	130
Figura N° 117	Gráfico de resultados del Modelo N°7 adicionando Cv.....	131
Figura N° 118	Gráfico de resultados del Modelo N°8 adicionando Cv.....	132
Figura N° 119	Gráfico de resultados del Modelo N°9 adicionando Cv.....	133
Figura N° 120	Gráfico de resultados del Modelo N°10 adicionando Cv.....	134
Figura N° 121	Gráfico de resultados del Modelo N°11 adicionando Cv.....	135
Figura N° 122	Gráfico de resultados del Modelo N°12 adicionando Cv.....	136
Figura N° 123	Gráfico de resultados del Modelo N°13 adicionando Cv.....	137
Figura N° 124	Gráfico de resultados del Modelo N°14 adicionando Cv.....	138
Figura N° 125	Gráfico de resultados del Modelo N°15 adicionando Cv.....	139
Figura N° 126	Gráfico de resultados del Modelo N°16 adicionando Cv.....	140
Figura N° 127	Gráfico de resultados del Modelo N°17 adicionando Cv.....	141
Figura N° 128	Gráfico de resultados del Modelo N°18 adicionando Cv.....	142

Figura N° 129	Gráfico de resultados del Modelo N°19 adicionando Cv.....	143
Figura N° 130	Gráfico de resultados del Modelo N°20 adicionando Cv.....	144
Figura N° 131	Gráfico de resultados del Modelo N°21 adicionando Cv.....	145
Figura N° 132	Gráfico de resultados del Modelo N°22 adicionando Cv.....	146
Figura N° 133	Gráfico de resultados del Modelo N°23 adicionando Cv.....	147
Figura N° 134	Gráfico de resultados del Modelo N24 adicionando Cv.....	148
Figura N° 135	Gráfico de resultados del Modelo N°26 adicionando Cv.....	149
Figura N° 136	Gráfico de resultados del Modelo N°26 adicionando Cv.....	150
Figura N° 137	Gráfico de resultados del Modelo N°27 adicionando Cv.....	151

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

En la actualidad, vivimos en un mundo globalizado donde se incorporan nuevas tecnologías y nuevos modos de vida cada día.

Por eso, los programas y software son cada vez más efectivos en comparación con los proyectos de investigación.

En el campo de la hidráulica, el HEC – RAS es el más utilizado porque permite simular flujos unidimensionales (1D) y bidimensionales (2D), los cuales se complementan al realizar investigaciones relacionadas con la hidráulica. Sin embargo, es necesario estudiar minuciosamente los datos sensibles para crear un modelo adecuado y estable.

En Perú, se llevan a cabo proyectos que utilizan este tipo de software en el campo de la hidráulica, pero es importante considerar las bases teóricas para poder comprender los resultados de los cálculos que el programa ha realizado.

El objetivo del presente estudio fue crear 108 escenarios para un canal de 70 metros de ancho, determinando el mallado adecuado para cada uno. De esta manera, será más útil el cálculo de canales en investigaciones posteriores.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Comparar el flujo hiperconcentrado con flujo newtoniano mediante el modelamiento bidimensional usando el software Hec- Ras 6.1.0

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la geometría del canal de ensayo.
- Analizar los parámetros que definen los flujos hiperconcentrados.
- Definir los escenarios de modelamiento.
- Analizar los resultados del flujo y comparar con los flujos normales.

1.3. Justificación del Estudio

Este proyecto es justificado académicamente ya que permite aplicar las lecciones adquiridas sobre el diseño hidráulico bidimensional de canales.

Se tiene como objetivo de desarrollar el modelado de un canal con un ancho de 70 metros usando el software Hec – Ras con el fin de analizar cómo llega a variar el tirante y las velocidades con respecto a las concentraciones volumétricas para lo cual se diseñó un canal típico que servirá como canal base para el desarrollo de los modelamientos, y este tiene como fin contribuir a futuras investigaciones sobre modelamiento hidráulico de canales con Hec – Ras.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. A nivel Internacional

TÍTULO: “ANÁLISIS Y MODELO HIDRÁULICO (2D) DE FLUJOS HIPERCONCENTRADOS EN PIEDEMONDE OCCIDENTAL DE LA SIERRA DE AMBATO, CATAMARCA, ARGENTINA”

AUTOR(ES): Matias Eder, Osvaldo Barbeito, Silvio Ambrosino, Gerardo Hillman, Gonzalo Moya y Andrés Rodríguez.

INSTITUCIÓN: Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Córdoba, Argentina.

AÑO: 2017

Según Eder, Barbeito, Ambrosino, Hillman, Moya y Rodriguez (2017), los flujos de sedimentos superconcentrados se pueden dividir en flujos de lodo y flujos de escombros. La reología de la mezcla de agua y sedimento en estas corrientes varía. Los esfuerzos límite elástico y viscoso controlan el fenómeno en los flujos de lodo. Los modelos reológicos secundarios permiten una simulación efectiva de las condiciones de flujo que van desde agua clara hasta flujos de sedimentos densos. Utilizamos un modelo de simulación de diferencias finitas (FLO-2D) en este artículo para analizar un evento hidrológico reciente de flujo de lodo severo en Siján, Catamarca, Argentina.

2.1.2. A nivel Nacional

TÍTULO: “MODELAMIENTO NUMÉRICO BIDIMENSIONAL DEL FLUJO HIPERCONCENTRADO”

AUTOR(ES): Leonardo Franco Castillo Navarro

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional Agraria La Molina

AÑO: 2018

Se ha llevado a cabo el estudio y modelamiento de flujos hiperconcentrados por parte del autor, Castillo (2018), después de los eventos que ocurren en varios lugares del Perú. El objetivo específico

de esta tesis fue el modelamiento numérico de un flujo hiperconcentrado en dos dimensiones utilizando el programa MUDCP2D, lo que permitió la comprobación basada en datos experimentales.

Para evaluar la sensibilidad del programa MUDCP2D, se llevó a cabo un análisis de varios escenarios para diferentes pendientes y viscosidades de flujo hiperconcentrado. De los dieciséis escenarios que se simulan, cuatro se refieren a flujo de agua y nueve se refieren a flujo hiperconcentrado. Para todos los escenarios propuestos, la altura inicial del flujo es de 4 metros en una longitud de muestra de 50 metros y una longitud de tránsito de canal de 200 metros. La plataforma al final del tramo es de 30 metros de longitud con cero pendiente. Los tirantes y velocidades máximas en tramo de canal y deposición en plataforma son los resultados del proceso.

TÍTULO: “MODELAMIENTO BIDIMENSIONAL DE FLUJOS HIPERCONCENTRADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE AMENAZA EN LA QUEBRADA BELLO HORIZONTE (LA PORTADA) – LAREDO – TRUJILLO – LA LIBERTAD”

AUTOR(ES): Diaz Portalatino, Dino Jaider, Villanueva Reyna, Heller Alberto

INSTITUCIÓN: Universidad Privada Antenor Orrego

AÑO: 2022

El mapa de amenaza creado por los autores Diaz, Dino, Villanueva y Heller (2022) nos permitió tomar medidas para prevenir, reducir y proteger el centro poblado Bello Horizonte y sus alrededores durante la presencia de huaycos. Para lograrlo, se requirió la creación de una red geodésica horizontal precisa (georreferenciación) en la región de investigación, con el fin de llevar a cabo investigaciones de fotogrametría que permitieron obtener y representar la superficie del terreno. Además, se llevaron a cabo investigaciones sobre geotecnia e hidrología. El modelamiento hidráulico se llevó a cabo utilizando un modelo numérico FLO 2D, luego se modeló y verificó el evento que ocurrió el 17 de marzo de 2017 y para varios periodos de retorno. Se llevaron a cabo evaluaciones y propuestas de soluciones potenciales.

TÍTULO: “GENERACIÓN DE MAPA DE AMENAZA PARA DISMINUIR EL IMPACTO DE DAÑOS OCASIONADOS POR FLUJOS HIPERCONCENTRADOS EN LA QUEBRADA DEL DIABLO, DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, HACIENDO USO DE FLO-2D”

AUTOR(ES): Talledo Walde, Roberto Alejandro y Cardoso Cusihuallpa, Sergio Ignacio

INSTITUCIÓN: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)

AÑO: 2021

El estudio se basa en el modelamiento hidrológico e hidráulico de la quebrada Devil, que se encuentra en el Distrito Alto de la Alianza en la ciudad de Tacna, según Talledo, Roberto y Cardoso (2021). El objetivo era mejorar la planificación urbanística del distrito mediante la propuesta de un mapa de peligrosidad para reducir los efectos de los flujos hiperconcentrados. Para el modelado hidrológico, el área de estudio se caracterizó utilizando opiniones de expertos, imágenes satelitales y la precipitación en la zona de la fuente de agua. Como resultado, se creó la base de datos para el software HEC-HMS para obtener flujos máximos para periodos de regresión de 50, 100, 200, 250 y 500 años. Los parámetros reológicos, como el límite elástico y la viscosidad del área investigada, se determinaron utilizando el software FLO-2D para modelar el flujo hidrológico. Posteriormente, se determinaron varias barras de tensión simuladas y velocidades máximas para diferentes intervalos de tiempo. Finalmente, el software FLO 2D Mapper, que se utilizó para los diferentes escenarios propuestos, se utilizó para realizar un análisis de los niveles de amenaza en áreas urbanas. Por lo tanto, se llevó a cabo una evaluación del impacto de la instalación de estructuras de mitigación en la quebrada del Diablo y se compararon los resultados de profundidad, velocidad y nivel de amenaza urbanos.

TÍTULO: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO CON HEC-HMS Y HEC-RAS PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE PIURA

AUTOR: Rodrigo Eduardo Orellana Cabello

UNIVERSIDAD: Pontificia Universidad Católica Del Perú

AÑO: 2021

El propósito de esta investigación es determinar los hidrogramas de diseño y las áreas de inundación de la ciudad para diferentes períodos de retorno. La recopilación de datos de precipitaciones, el análisis estadístico de las precipitaciones de 24 horas, el modelado hidrológico utilizando el software HEC-HMS para obtener hidrogramas y caudales máximos instantáneos, y el modelado hidráulico en HEC-RAS para simular inundaciones y determinar áreas inundables son todos componentes del proceso. El trabajo está dividido en cinco capítulos: el primero presenta el problema y los objetivos, el segundo analiza el marco teórico, el tercero describe la cuenca del río Piura, el cuarto describe la metodología empleada y el quinto analiza los resultados, además de sugerir medidas para reducir los efectos del desborde del río.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Canales

En ingeniería, un canal es un edificio diseñado para transportar fluidos. Generalmente se usa para agua y, a diferencia de las tuberías, está abierto a la atmósfera. En contraste, el flujo en tuberías o conductos cerrados no tiene una superficie libre y solo está sujeto a una cierta presión hidráulica. El análisis del flujo en un canal abierto es generalmente más complicado que el de un conducto cerrado debido a su superficie libre. La variación de la superficie libre es probable tanto en el espacio como en el tiempo. El flujo se denomina variado cuando la superficie libre cambia en el espacio; cuando cambia en el tiempo, se llama no permanente.

Además, se utilizan como canales artificiales para la navegación. La descripción del comportamiento hidráulico de los canales es un componente esencial de la hidráulica, y su diseño se encuentra en el campo de la ingeniería hidráulica, que es una especialización de la ingeniería civil.

2.2.1.1. Canales abiertos

Es un canal por el cual fluye el agua libremente. Los canales pueden ser naturales, que se refieren a cursos de agua naturales con características irregulares y variaciones de tamaño, o artificiales, que son construidos por humanos y tienen características diseñadas para satisfacer las necesidades. (Chow, 1994, página 19).

A causa de la gravedad, el agua pasa por los canales, pero sin presión, la parte superior del agua libre se encuentra en contacto con la atmósfera. Según Villón (1995, pág. 15).

2.2.2. Hidráulica de Canales

2.2.2.1. Elementos Geométricos de un Canal

Elementos de forma geométrica en un canal Los elementos son cruciales y se utilizan para calcular el flujo. Además, para lo que son secciones regulares, estos elementos se expresan matemáticamente en los siguientes términos:

a. El Tirante

Se desplaza el punto inferior de la sección sobre un canal hacia la superficie. Chow (1994).

$$y = ((Q/(Ks * B * S^{1/2}))^{3/5}$$

Donde:

y: Tirante (m)

Q: Caudal de diseño (m^3/s)

Ks: Coeficiente de rugosidad que varía según el lecho del canal

B: Ancho estable. (m)

S: Pendiente

Tabla 1: Coeficiente de rugosidad "Ks" que depende del lecho del canal natural

Tipos de Cauces Naturales	Ks
Cauces con fondo sólido sin irregularidades	40
Cauces de ríos con acarreo irregular	33
Cauces de ríos con vegetación	35
Cauces naturales con derrubio e irregularidades	30
Cauces de ríos tienen un fuerte transporte de acarreo.	28
Torrentes con piedras del tamaño de una cabeza.	25
Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil.	20

Fuente: Nuovo Colombo, Manuale dell'Ingegnere (1990)

b. Área Hidráulica

Es el área de una sección transversal de un flujo que está perpendicular a su dirección. (Chow,1994).

$$A = (B + Zy)y$$

Donde:

A: Área Hidráulica (m^2)

B: Ancho Estable (m)

Z: Talud

y: Tirante (m)

c. **Perímetro Mojado**

Corresponde a la distancia entre la línea que se interpone en la superficie y su plano transversal del flujo perpendicular. (Chow, 1994).

$$P = B + 2y * (1 + z^2)^{1/2}$$

Donde:

P: Perímetro mojado (m)

B: Ancho estable (m)

Z: Talud

y: Tirante (m)

d. **Radio Hidráulico**

Es la proporción que existe entre el área húmeda y su perímetro húmedo. (Chow,1994).

$$R = A/P$$

Donde:

R: Radio Hidráulico (m)

A: Área Hidráulica (m^2)

P: Perímetro mojado (m)

e. **Velocidad Media**

$$V = (R^{2/3} * S^{1/2})/n$$

Donde:

V: Velocidad media (m/s)

R: Radio Hidráulico (m)

S: Pendiente

n: Rugosidad de Manning

f. **Profundidad Hidráulica Media**

Es la relación entre el área y el perímetro mojado de la superficie. (Chow, 1994)

$$Ym = A/B$$

Donde:**Ym:** Profundidad hidráulica media (m)**A:** Área hidráulica (m^2)**B:** Ancho estable (m)**g. Borde Libre**

Es la distancia que hay entre la superficie del agua y las paredes (la parte alta) del canal. Está diseñado para que el agua no desborde debido a las variaciones en el nivel de la superficie libre o al efecto de las ondas. (Maza Álvarez, 1998).

Una práctica corriente para canales de tierra es mantener un resguardo o borde libre de 1/3 del tirante.

$$BL = \frac{Y}{3}$$

La quinta parte del tirante es para canales revestidos.

$$BL = \frac{Y}{5}$$

Existen criterios adicionales útiles para determinar el valor del borde libre.

En relación con el flujo, se observa:

Tabla 2: Borde en función del caudal

Caudal Q (m^3/s)	Borde libre (m)
Menores que 0.5	0.30
Mayores que 0.5	0.40

Fuente: Hidráulica de canales, Villon (2007)

En lo que respecta al ancho de la solera, se tiene:

Tabla 3: Borde en función del ancho de solera

Ancho de solera (m)	Borde libre (m)
Hasta 0.80	0.40
De 0.80 a 1.50	0.50
De 1.50 a 3.00	0.60
De 3.00 a 20.00	1.00

Fuente: Hidráulica de canales, Villon (2007)

h. Número de Froude

$$F = V / (g * Ym)^{1/2}$$

Donde:

F: Número de Froude.

V: Velocidad media (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2)

Ym: Profundidad hidráulica media (m)

F > 1 = Flujo Supercrítico

F = 1 = Flujo Crítico

F < 1 = Flujo Subcrítico

i. Taludes en canales

El U.S.B.R. (1978), sugiere un solo talud para el diseño de canales típico.

Tabla 4: Taludes según el tipo de material a emplear

Material	Talud (Horizontal: Vertical)
Roca	Prácticamente vertical
Suelo de turba y detritos	0.25:1
Arcilla Compacta o tierra con recubrimiento de concreto	0.5 hasta 1:1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1:1
Arcillo firme o tierra en canales pequeños	1.5:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Greda arenosa o arcillosa porosa	3:1

Fuente: Hidráulica de canales, UNAM (1198)

j. Ecuación de la energía

Representa la energía total del flujo. La energía, el potencial y la cinética lo componen.

$$ET = z + y + \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

ET: Carga de energía total, en m-kg / kg

z: Carga de posición, en m-kg / kg

$\frac{v^2}{2g}$: carga de velocidad, en m-kg / kg

k. Energía específica

Es la cantidad de energía por unidad de peso que fluye a través de un segmento de canal en comparación con el fondo del canal.

(Chow, 1994)

$$E = y + \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

E: Energía específica

2.2.2.2. Secciones de los canales

La mayoría de los canales artificiales tienen formas regulares y se dividen en partes abiertas y cerradas, como se muestra a continuación:

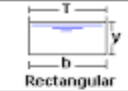



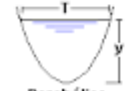
Sección trapezoidal: Se usa en canales revestidos y de tierra (Villón, 2007, p.16)

Sección rectangular: Se utilizan para canales revestidos, canales con excavación en rocas y acueductos de madera. (Villon, 2007, p.16)

Sección triangular: La sección triangular se usa para canales de tierra pequeños, carreteras para cunetas revestidas y principalmente para facilitar los trazos. (Villón, 2007, página 16).

Sección parabólica: La sección parabólica es utilizada principalmente en canales revestidos. Los canales naturales a menudo adoptan esta forma. (Villon, 2007; página 16).

Tabla 5: La relación geométrica entre las secciones transversales más comunes

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: Hidráulica de canales, Villon (2007)

2.2.2.3. Criterio tiempo

a. Flujo Permanente

Siempre que los parámetros como flujo, área mojada, velocidad y caudal no cambian, se considera un flujo estable.

El caudal es constante en la mayoría de los problemas de flujo permanente.

b. Flujo No Permanente

Cuando la profundidad cambia con el tiempo, significa que hay un flujo inestable.

2.2.2.4. Criterio de espacio

a. Flujo Uniforme

Si la profundidad de flujo, el área mojada, la velocidad y el caudal no cambian en cada parte del canal. (ven te Chow, 19994)

b. Flujo Variado

Si la profundidad de flujo, el área mojada, la velocidad y el caudal cambian en cada parte del canal

Este flujo está dividido en dos partes:

i. Flujo Rápidamente Variado

Si la profundidad del agua, el área mojada, la velocidad y el caudal cambian bruscamente en distancias relativamente cortas, el flujo cambia rápidamente. (Chow, 1994)

ii. Flujo Gradualmente Variado

Si la profundidad del agua, el área mojada, la velocidad y el caudal no cambian bruscamente en distancias relativamente cortas, el flujo cambia lentamente. (Ven te Chow, 1994)

2.2.2.4.1. Criterio de Viscosidad

a. Flujo Laminar

Dado que las fuerzas viscosas e inerciales van de manera fuerte, lo que significa que las partículas se mueven en una trayectoria definida y calmada, y sus capas de fluido son tan delgadas que se mueven una con otra, las relaciones entre ellas son cruciales. (Chow, p.7)

b. Flujo Turbulento

Cuando la relación entre las fuerzas viscosas e inerciales es débil, los movimientos de las partículas tienen un recorrido irregular, lo que indica que no son fuertes sino suaves y que su trayectoria no está definida. Sin embargo, en conjunto, el movimiento de las partículas se representa hacia adelante de la corriente. (Chow, p.8)

2.2.2.4.2. Criterio de N° Froude (Fr)

El número de Froude representa este efecto de gravedad, que es el estado del flujo, entre la relación de la fuerza de inercia y la fuerza de gravedad.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

$$D \text{ (Profundidad hidráulica)} = \frac{\text{Área mojada}}{\text{ancho superficial}}$$

$F > 1$ - Flujo Supercrítico

La velocidad del flujo es de un nivel bajo y, a medida que aumenta la profundidad, el número de Froude es mayor a 1

$F = 1$ - Flujo Crítico

Es el punto de transición entre los sistemas subcrítico y supercrítico, el número de Froude es igual a 1

$F < 1$ - Flujo Subcrítico

La profundidad es baja y la velocidad relativa es alta, el número de Froude es menor a 1

2.2.2.4.3. Criterio movimiento en el espacio

a. Flujo Unidimensional

Si las características del flujo (velocidad, presión, tirante, etc.) difieren como según una sola coordenada en el espacio. (Maza Alvarez, 1998)

b. Flujo Bidimensional

Cuando las características del flujo dependen de dos lugares diferentes en el espacio. (Maza Alvarez, 1998)

c. Flujo Tridimensional

Cuando las características del flujo se basan en tres coordenadas espaciales diferentes. (Maza Alvarez, 1998)

2.2.3. Rugosidad

Es un factor que determina la resistencia del flujo de un canal.

2.2.3.1. Coeficiente de Rugosidad de Manning

Fue desarrollado por Robert Manning en 1889 y fue modificado con el tiempo hasta llegar a su forma actual, que es la siguiente:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

V: Velocidad media

R: Radio hidráulico:

S: Pendiente de línea de energía

n: Coeficiente de rugosidad (Manning)

La tarea de aplicar esta ecuación radica en encontrar el coeficiente de rugosidad (n), ya que no existe una forma o técnica precisa para elegir ese valor "n". Chow (1994).

2.2.3.2. Tabla de Coeficiente de Rugosidad de Manning

La tabla de coeficiente de rugosidad muestra una lista de valores n para canales de diferentes clases.

Tabla 6: Tabla de coeficiente de rugosidad de Manning

<i>a. En tierra, recto y uniforme</i>			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
<i>b. En tierra, serpenteante y lento</i>			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
<i>c. Excavado con pala o dragado</i>			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
<i>d. Cortes en roca</i>			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
<i>e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar</i>			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
<i>a. Corrientes en planicies</i>			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050

Fuente: Vent te Chow (1959)

Según Cowan, desarrollo una manera para realizar la estimación del valor "n", los cuales tienen factores que intervienen en el coeficiente de rugosidad, se calcula de la siguiente manera:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Donde según la siguiente tabla de Cowan para determinar la influencia de los factores:

CONDICIONES DEL CANAL		VALORES	
Material Involucrado	Tierra	n ₀	0.020
	Corte en Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava Gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n ₁	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	n ₂	0.000
	Ocasionalmente Alternante		0.050
	Frecuentemente Alternante		0.010-0.015
Efecto Relativo de las Obstrucciones	Insignificante	n ₃	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n ₄	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy Alta		0.050-0.100
Grado de los Efectos por Meandro	Menor	m ₅	1.800
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Hidráulica de Tuberías y Canales, Arturo Rocha.

Reemplazando valores en formula:

$$n = (0.025 + 0.010 + 0.000 + 0.000 + 0.005) * 1.000$$

$$n = 0.040$$

En esta investigación se considera un coeficiente de Manning de 0.040 puesto que el canal presenta condiciones irregulares y de material rocoso.

2.2.4. Modelación Hidráulica

2.2.4.1. Tipos de Modelación

2.2.4.1.1. Modelación Unidimensional

El movimiento unidireccional del agua muestra cómo se comportaría el agua.

Las ecuaciones de ese flujo, creadas por Saint Venant en 1871, representan el movimiento, permanente o no permanente. Blade (2009)

- Cuando el flujo de agua no se expande significativamente, sería apropiado.
- Cuando el flujo de agua no aumenta significativamente.
- Canales o ríos muy encauzados.

A. Ecuaciones de Modelación Unidimensional

a. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad conservativa se puede escribir como caudal (Q) y área (A):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

b. Ecuación de momentum

El caudal (Q), el área (A), la profundidad (y), la pendiente del canal (S_0), la pendiente de fricción (S_f) y la gravedad (g) son los componentes de la ecuación de momento en forma conservativa:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0$$

2.2.4.1.2. Modelación Bidimensional

Los modelos bidimensionales utilizan celdas poligonales formadas por triángulos y/o cuadrados para representar el movimiento del agua en dos direcciones dentro del cauce principal del río o de la llanura de inundación en lugar de ver el canal o el río como una línea de sección transversal unidireccional, a diferencia de los modelos unidimensionales.

A. Ecuación de Modelación Unidimensional

a. Ecuación de Saint Venant

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} = 0$$

$$\frac{dq_x}{dt} + \frac{d}{dx} \left(\frac{q_x}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{d}{dy} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{dz_b}{dx} - \frac{\tau_{hx}}{\rho} - \frac{d}{dx} (h u_x' u_x') - \frac{d}{dy} (h u_y' u_y')$$

$$\frac{dq_y}{dt} + \frac{d}{dx} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{d}{dy} \left(\frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) = -gh \frac{dz_b}{dy} - \frac{\tau_{hy}}{\rho} - \frac{d}{dx} (h u_x' u_y') - \frac{d}{dy} (h u_y' u_y')$$

Donde:

h: Profundidad de lámina de agua

qx: Caudal específico en dirección X

qy: Caudal específico en dirección Y

zb: Cota del fondo

g: Gravedad

ρ : Densidad del agua

Tb, x: Componente en x de la tensión tangencial que ejerce el fondo.

2.2.4.2. Software para modelación

2.2.4.2.1. HEC - RAS

Hec-Ras es un programa de modelamiento hidrológico que permite visualizar cómo se comporta el flujo a través de vías fluviales naturales o artificiales para obtener tirantes y velocidades, así como analizar estudios de inundaciones. Además, los sistemas hidráulicos de flujo continuo en 1D y 2D, que muestran cómo se transportan los sedimentos y cómo cambia la temperatura del agua, son posibles. Es un programa de modelado hidráulico en una dimensión que incluye cuatro análisis de escenarios actuales:

- a. Modelo de flujo en estado permanente
- b. Modelamiento del flujo en estado no permanente
- c. Modelamiento del transporte de sedimentos

d. Análisis de la calidad del agua

Este programa puede simular los flujos de agua en canales artificiales o en cauces naturales. También puede usar las ecuaciones de ondas difusas y de Saint Venant.

Además, para resolver los problemas de flujo no permanente, el programa utiliza el esquema numérico de volúmenes finitos implícitos. (US Army Corps of Engineers, 2020)

Los fluidos se dividen en dos: Newtonianos y No Newtonianos.

- **Fluido Newtoniano**

La viscosidad, que es la medida o capacidad de un fluido, se considera newtoniana. El fluido que resiste el flujo solo cambia como respuesta a los cambios de temperatura o presión. Un fluido newtoniano tomará la forma de su recipiente.

La viscosidad de un fluido newtoniano en condiciones de temperatura y presión constantes es la constante de proporcionalidad, o la relación entre el esfuerzo cortante que se forma en el fluido para resistir el flujo y la velocidad de corte aplicada al fluido para inducir el flujo; la viscosidad permanece constante para todas las velocidades aplicadas al fluido.

Fluido No Newtoniano

Es una sustancia que no tiene una forma propia y adopta la del recipiente que la contiene; es una sustancia de composición homogénea que sufre deformaciones de forma continua cuando se le aplica una tensión o fuerza, sin importar la magnitud de la deformación.

Cuando los fluidos no newtonianos experimentan tensión, su viscosidad o la forma en que fluyen cambian. La aplicación repentina de fuerza o tensión a estos fluidos, como si dieras un golpe, lo agitaras o si realizas un salto sobre ellos, puede hacer que se vuelvan más gruesos y actúen como un sólido, o en algunos casos puede provocar un comportamiento opuesto y volverse más veloces de lo que eran antes. Los fluidos volverán a su estado original cuando se elimine la tensión.

Ecuaciones en flujos No Newtonianos:

- Ecuaciones de Saint-Venant
- Ecuaciones 2D de aguas poco profundas
- Ecuación de onda de difusión 2D

2.2.4.2.1.1. Clasificación de Flujos No Newtonianos

2.2.4.2.1.1.1. Flujos hiperconcentrados

Rickenmann nos informa que cuando las concentraciones de volumen de sedimentos finos superan el 30%, su volumen aumenta significativamente, lo que provoca una variación en su valor específico. 19924

2.2.4.2.1.1.2. Flujos de lodo y escombros

En geología, los deslizamientos son fenómenos naturales que consisten en un tipo de movimiento de suelo, roca o nieve con la presencia de agua. La principal característica de un deslizamiento es que su movimiento se controla principalmente por la fase sólida.

2.2.4.3. Malla Computacional

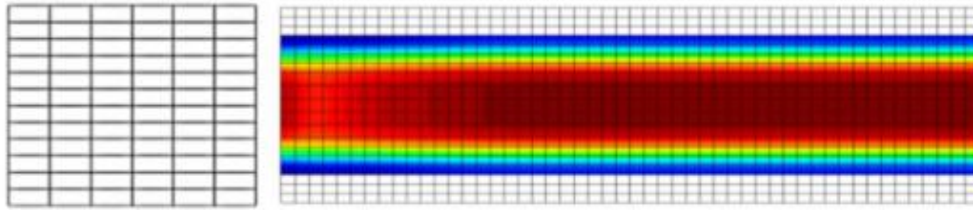
Es un tipo de computación distribuida en la que los elementos involucrados pueden tener arquitecturas idénticas o diferentes y cubrir toda el área de estudio. (Flumen, 2013)

Para encontrar la solución en una de las ecuaciones que regulan la variable en los ríos, es necesario primero realizar una discretización espacial del dominio a analizar. Una malla de cálculo bidimensional que representa la batimetría de la zona se utiliza para distinguir las ecuaciones. (Robles,2016)

- Mallas Estructuradas

Es una matriz de celdas cuadrangulares que se pueden identificar por sus índices (i, j). Desde el punto de vista del cálculo numérico, su principal ventaja es su eficiencia tanto en lo que respecta a los algoritmos de programación como a su precisión; sin embargo, es difícil representar geometrías sumamente irregulares a través de estas mallas. (Robles,2016)

Figura N° 1 Malla estructurada

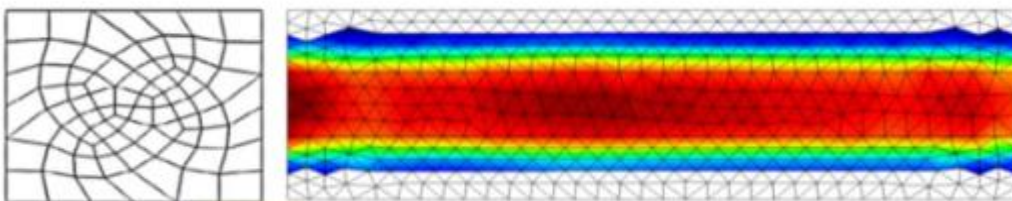


Fuente: Robles Montero, 2016

- **Mallas No estructuradas**

Pueden construirse con elementos poligonales de diferentes tamaños y formas, aunque su forma típica es un triángulo. Este tipo de malla es muy útil para representar las irregularidades del terreno de manera más realista que las mallas estructuradas. (Robles, 2016)

Figura N° 2 Malla no estructurada



Fuente: Robles Montero, 2016

2.2.4.4. Tiempo Computacional

El tiempo computacional que vamos a insertar en el programa para efectuar el modelo es otro parámetro importante a la hora de modelar. Para encontrar el tiempo computacional, debemos saber el parámetro que relaciona ese tiempo con la malla que estamos utilizando. (Flumen, 2013)

2.2.4.4.1. Número de Courant

Este número se obtiene calculando la relación entre espacio, velocidad y tiempo, que es conocida por ser menor que la unidad. Se utiliza para resolver ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. También funciona como una forma de limitar varios modelos de ecuaciones bidimensionales. (Lluen, 2015)

Número de Courant para la ecuación de Saint Venant

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 1$$

Máximo valor de C=3

Donde:

C = Número de Courant

V = Velocidad de Flujo. (m/s)

ΔT = Paso de tiempo computacional

ΔX = Promedio del tamaño de celda (malla)

2.2.4.5. Condiciones de Contorno

Son los que definen el comportamiento de un modelo dentro de sus límites. Como resultado, es comprensible que cada modelo requerirá la inserción de condiciones de contorno aguas arriba y aguas abajo. Es fundamental tener en cuenta que las condiciones de contorno se deben aplicar lo suficientemente lejos de la zona de estudio para que no afecten negativamente la zona de estudio. Las condiciones de contorno inadecuadas pueden causar inestabilidad en el modelo y resultados falsos. (Flumen,2013)

2.3. Marco Conceptual

Flujos Hiperconcentrados: Los eventos de crecidas que contienen sedimentos que superan el 20% en volumen se denominan flujos hiperconcentrados.

Tirante: El tirante se refiere a la profundidad del agua de un canal. (Villón, 2007)

Hec-Ras: Es un programa que simula tanto los flujos naturales como los artificiales en un canal específico.

Ecuación de continuidad: Se muestra tanto en términos de caudal como de área. (Bladé, 2009)

Ecuación de momentum: Se muestra en forma de caudal, área, profundidad, pendiente del canal, fricción y gravedad. Se muestra en forma de caudal, área, profundidad, pendiente del canal, fricción y gravedad.

Ecuación de Saint Venant: La ecuación de Saint Venant muestra la profundidad, el caudal en dirección X y Y, la cota del fondo, la gravedad y la densidad del agua.

Malla computacional: La malla computacional es un método por el cual los elementos pueden tener la misma o diferente arquitectura, lo que permite cubrir el área de estudio. (Flumen, 2013)

Flujo de un canal: La expresión del número de Froude sirve como definición.

Cauce: Es un bien que pertenece al público hidráulico y tiene como objetivo mantener las aguas durante su máximo crecimiento. (ANA, 2014)

2.4. Sistema de Hipótesis

A través del modelamiento hidráulico, se obtendrá cuanto es el incremento de variación en el tirante y la velocidad, tanto en flujo hiperconcentrado como en un fluido Newtoniano según los modelos propuestos.

VARIABLES E INDICADORES

Tabla 7: Operacionalización de Variables

TIPO DE VARIABLE	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Variable independiente	Flujo hiperconcentrado	Las concentraciones de volumen de sedimentos, al llegar al 30% de sedimentos y este flujo aumenta de manera significativa.	Concentraciones volumétricas Simulación de los flujos Caudales	Valores promedio de las concentraciones volumétricas	Software HEC-RAS 6.1, nos permitirá realizar el modelamiento de los flujos del canal dado.
Variable dependiente	Modelamiento bidimensional	Son modelos numéricos que se aplican a simulaciones en un programa dado para el diseño el cual se proyecta en los ejes X y Y.	Geometría del canal Características del canal Implementación del modelamiento	Valor promedio de las dimensiones de canales existentes Parámetros del cauce Condiciones de flujo planteadas	Software AutoCAD Software Civil 3D; nos permitirá diseñar nuestro canal base para el posterior modelamiento de los flujos. Referencias bibliográficas como tesis de pregrado, papers y libros.

Fuente: Elaboración Propia

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

Aplicada

3.1.2. Nivel de Investigación

Descriptiva

3.2. Población y Muestra de Estudio

3.2.1. Población

Canal de 70m

3.2.2. Muestra

Canales de 70m que tengas las mismas particularidades

3.3. Diseño de Investigación

La investigación es de tipo aplicada-descriptiva, ya que primero se van definiendo los parámetros de entrada del canal, para luego poder comenzar a modelar con los distintos valores de concentraciones volumétricas y pendientes respectivamente.

3.4. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos

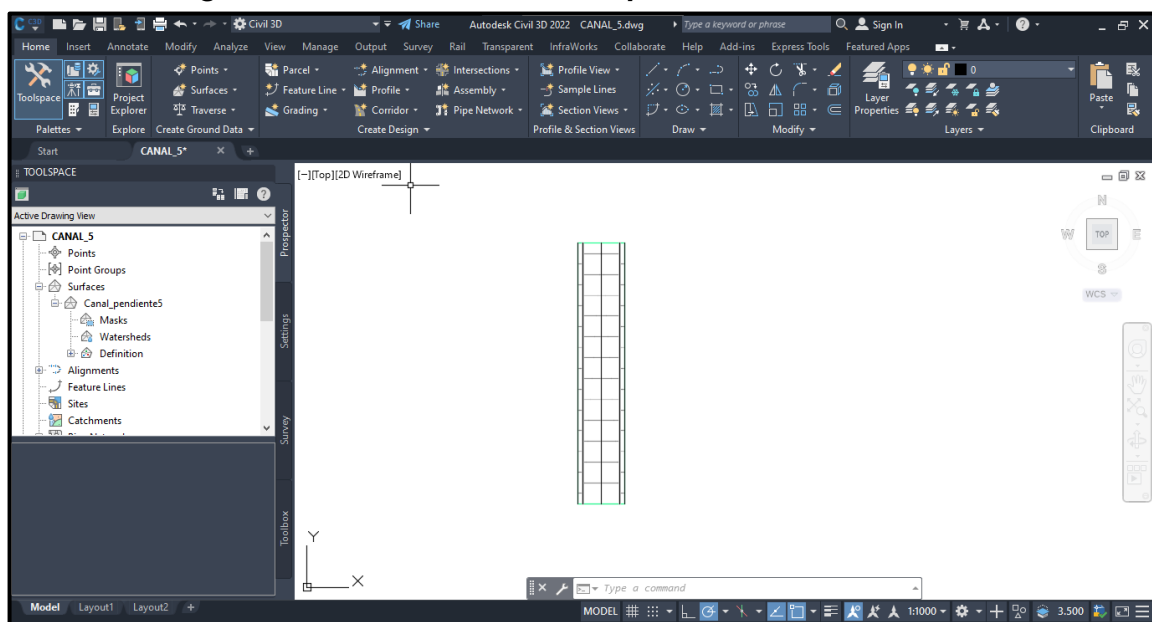
Se recolectó la información a través de libros físicos, libros virtuales, artículos, tesis de pregrado, ensayos para obtener nuestra información de la investigación.

3.5. Procesamiento y Análisis de datos

3.5.1. Diseño del canal en el programa Civil 3D

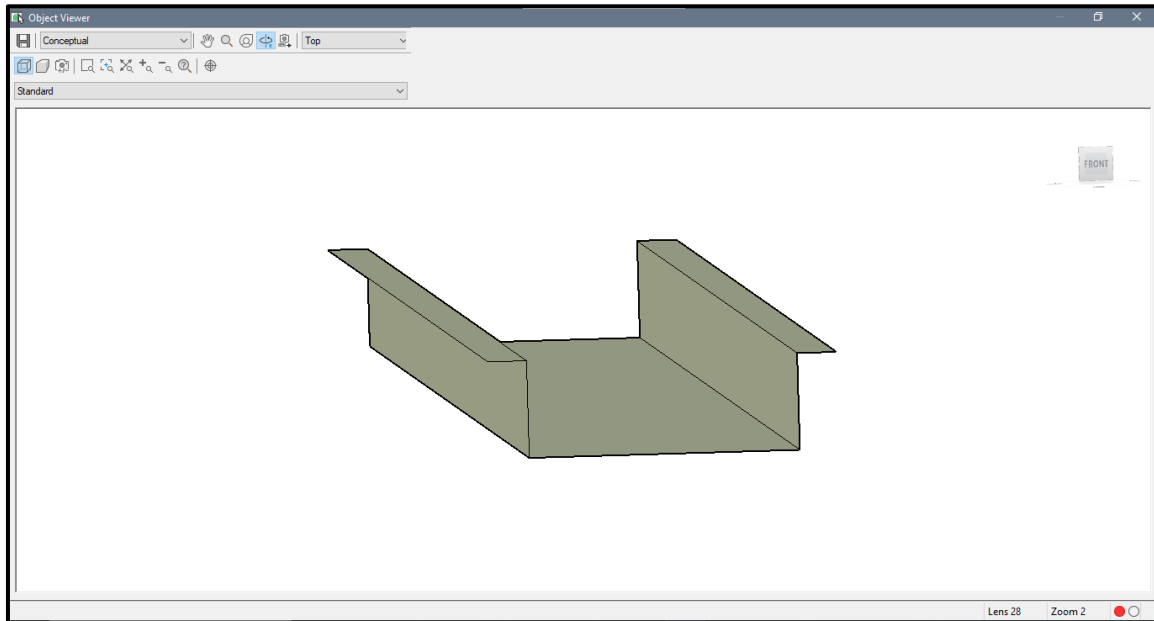
- A. Se realizó diseño del canal con un largo de 500m de longitud y un ancho de 70m, en el cual se planteó el diseño con tres pendientes diferentes las cuales fueron de: 0.05, 0.07 y 0.09. Al finalizar se exportó como archivo TIF para posteriormente importarlo en **HEC – RAS 6.3.1.**

Figura N° 3 Diseño de canal con pendiente 0.05 en Civil 3D



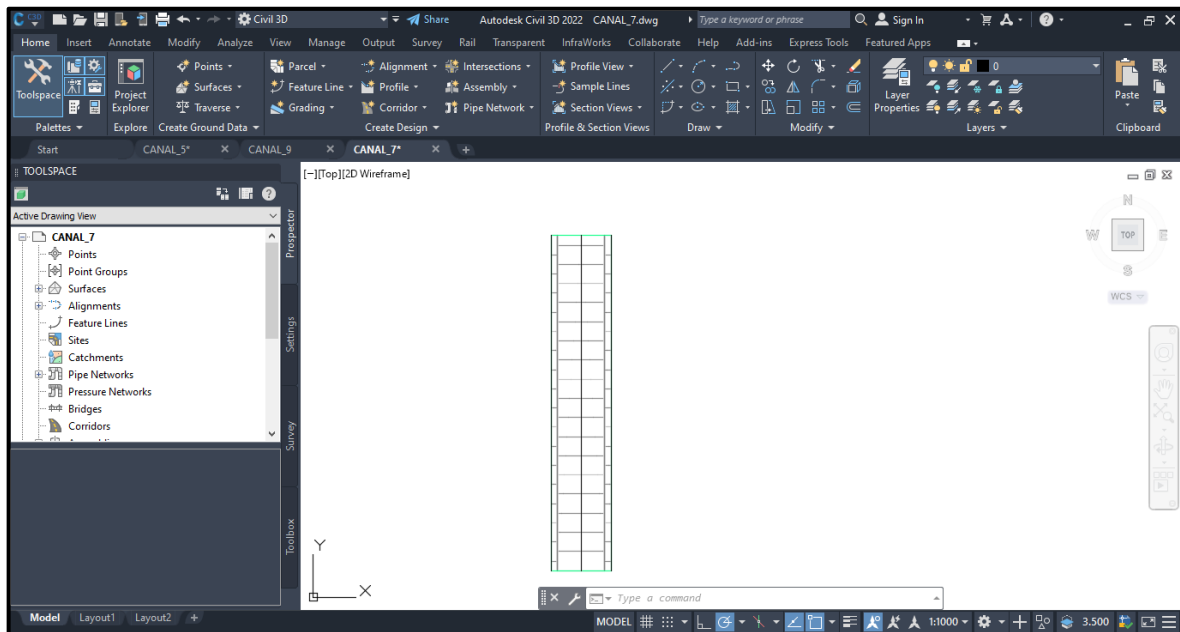
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4 Canal base con pendiente 0.05



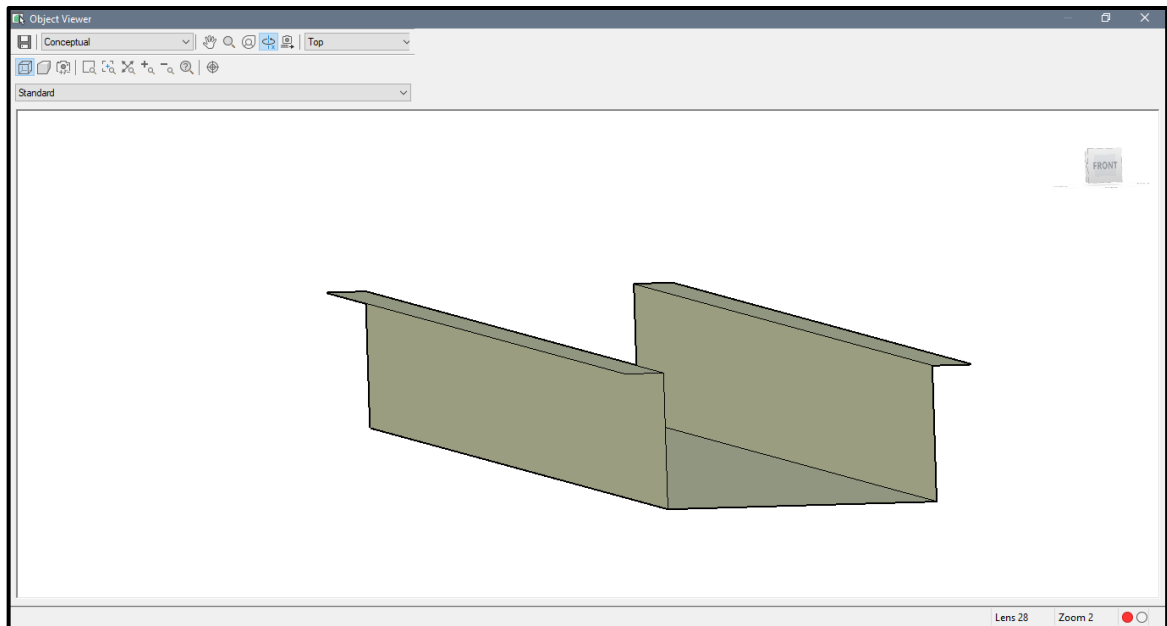
Fuente: Elaboración propi

Figura N° 5 Diseño de canal con pendiente 0.07 en Civil 3D



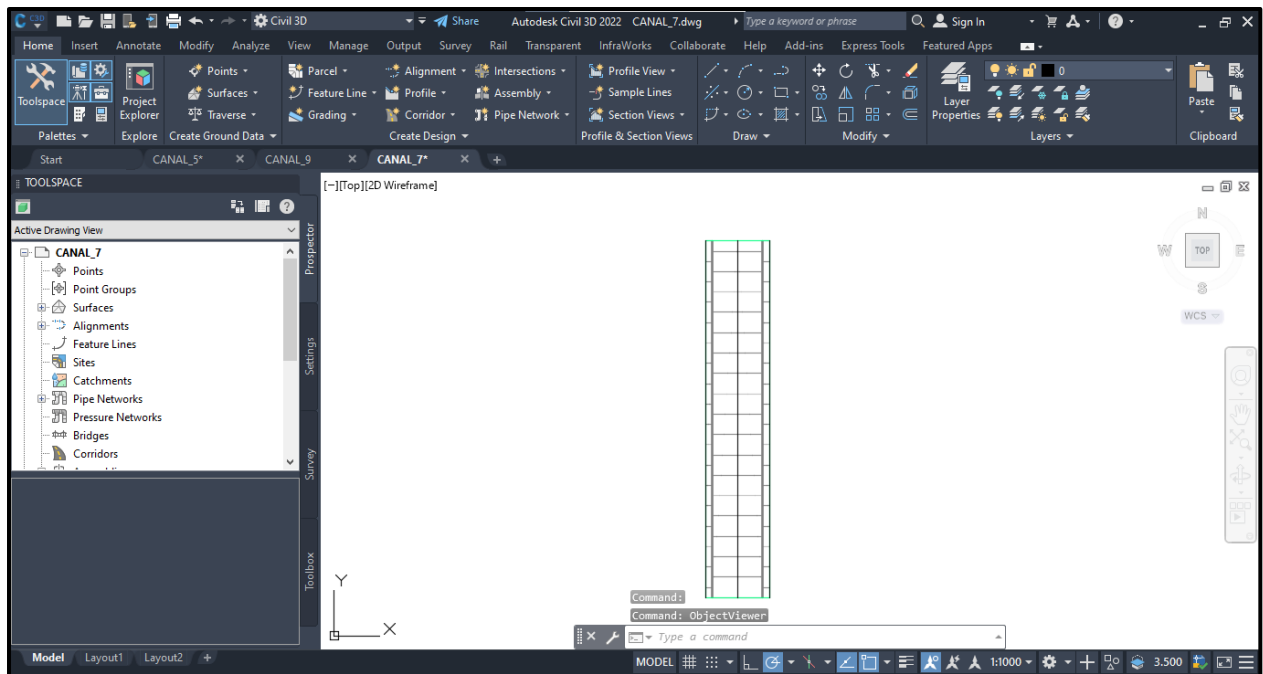
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 6 Canal base con pendiente 0.07



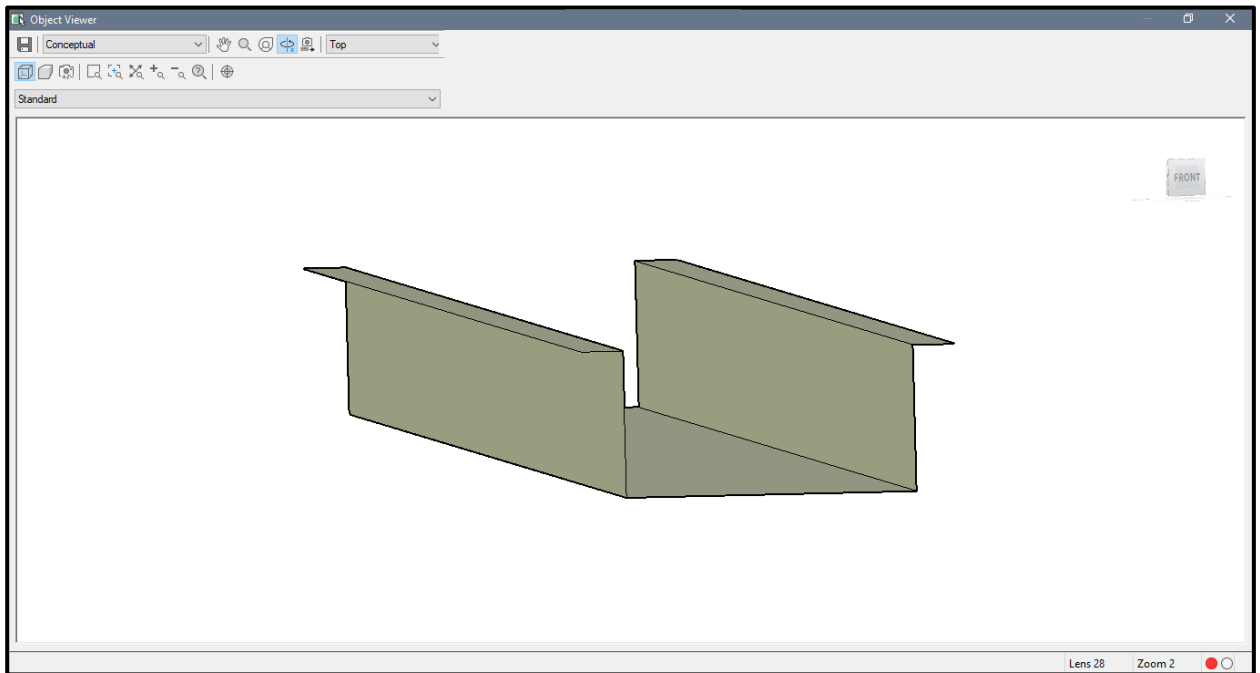
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7 Diseño de canal con pendiente 0.09 en Civil 3D



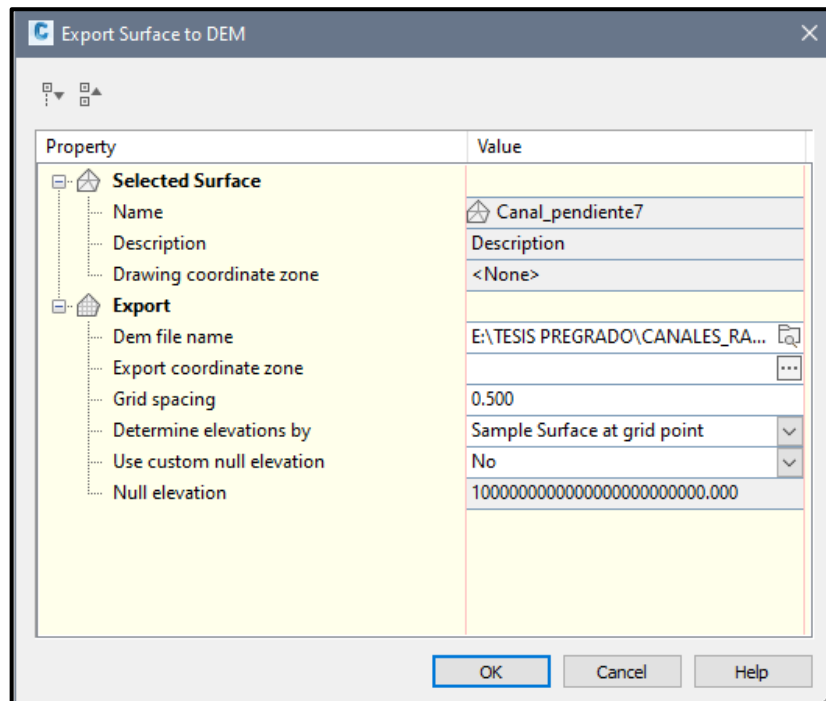
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 8 Canal base con pendiente 0.09



Fuente: Elaboración propia

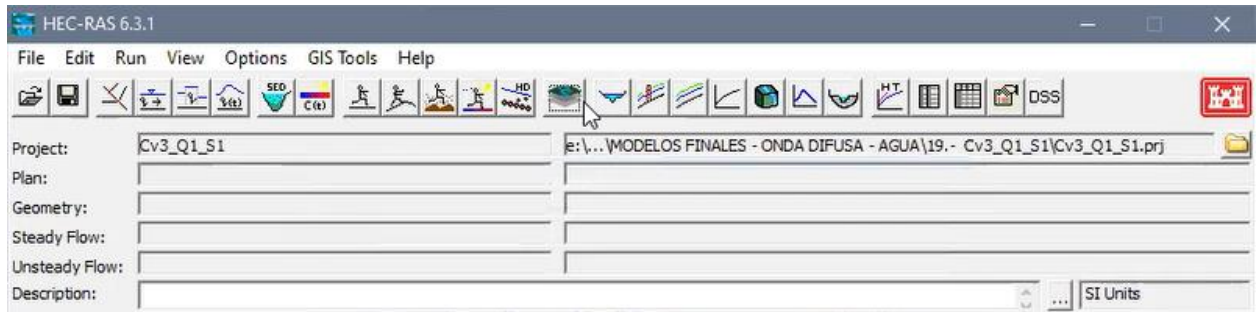
Figura N° 9 Exportar como archivo TIF



Fuente: Elaboración propia

- B.** Para comenzar el uso del programa HEC-RAS, se necesita guardar el proyecto en una carpeta que se designe para realizar el modelo ya que en esa carpeta se almacena: el terreno, geometría y los cálculos que se realice en el modelado.

Figura N° 10 Interfaz del Hec-ras 6.3.1

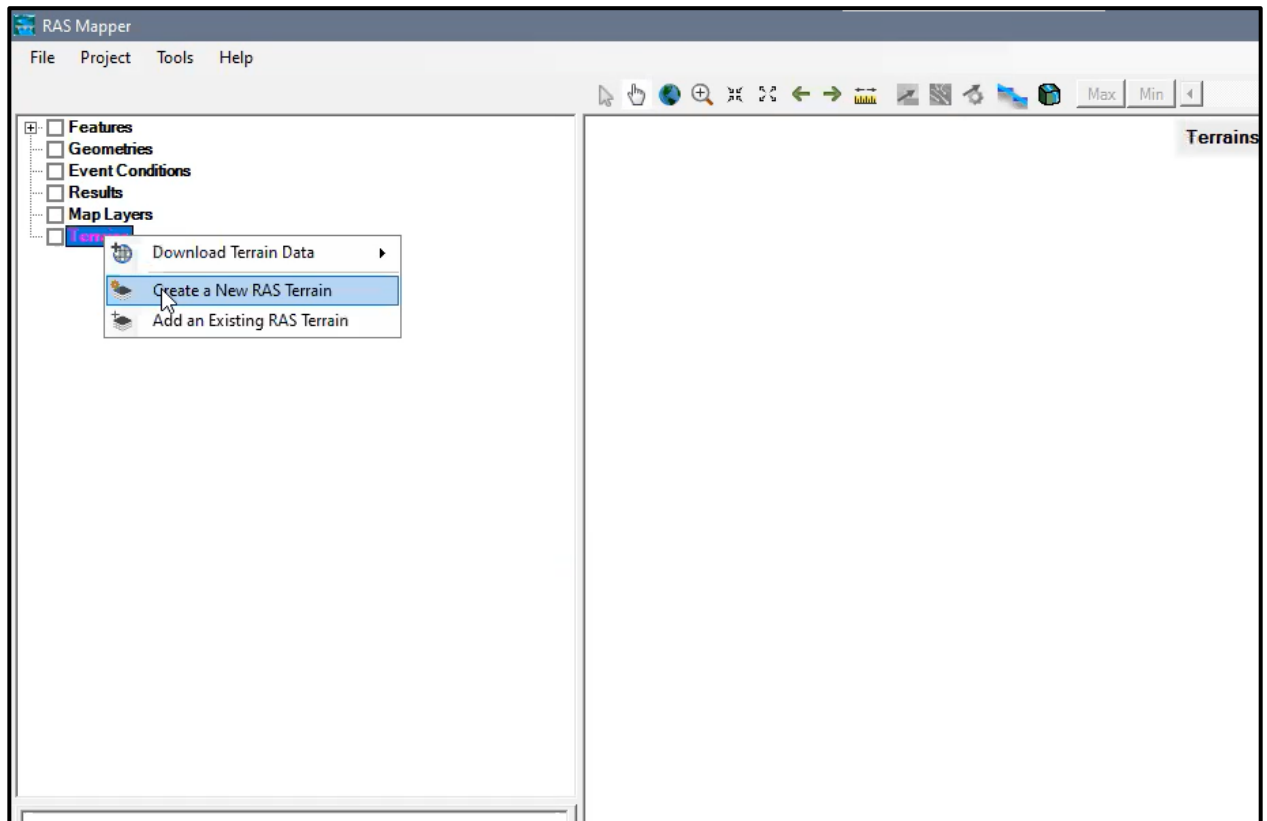


Fuente: Elaboración propia

- C.** Entramos al RAS mapper para así cargar el archivo TIF exportado anteriormente en la opción “Terrains”, al tener el canal en el programa creamos la geometría del modelo para así editar y crear: el perímetro, la malla computacional que en este modelo es de 4x4m, usando el coeficiente Manning de 0.040; y a su vez indicar las condiciones de borde.

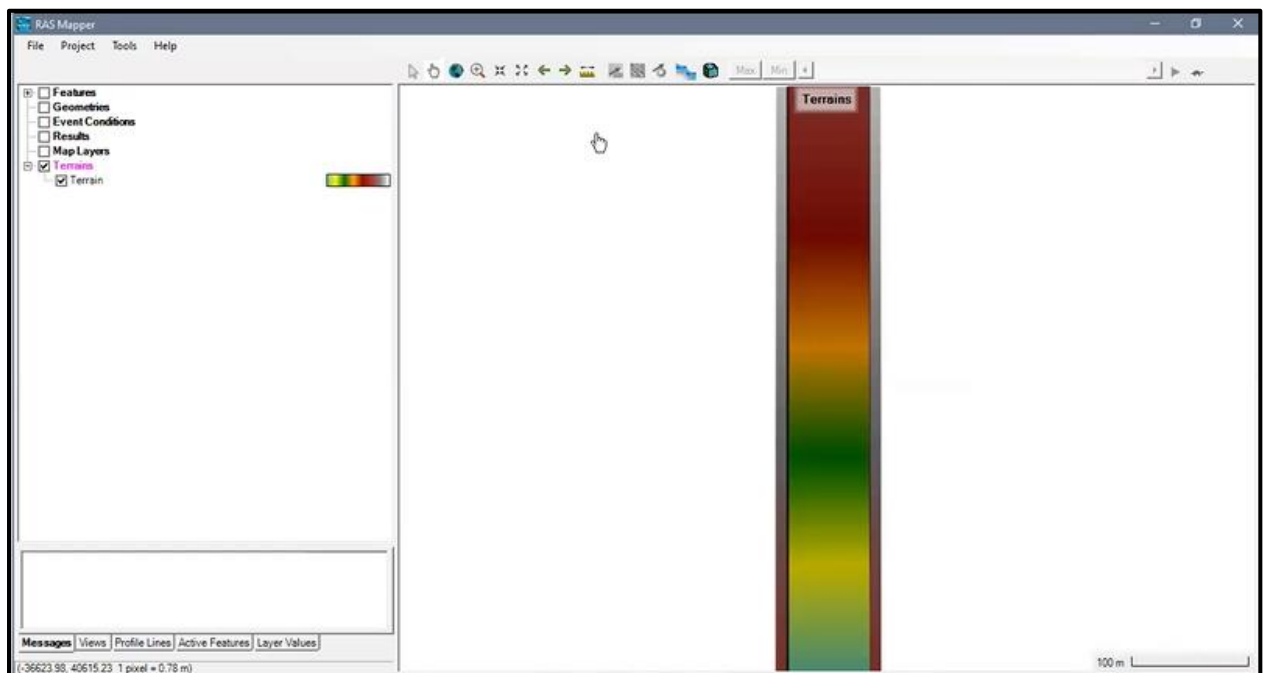
Las mallas computacionales usadas en esta investigación son de 4x4m y 2x2m según el modelo lo requiera.

Figura N° 11 Se importa el archivo TIF del canal



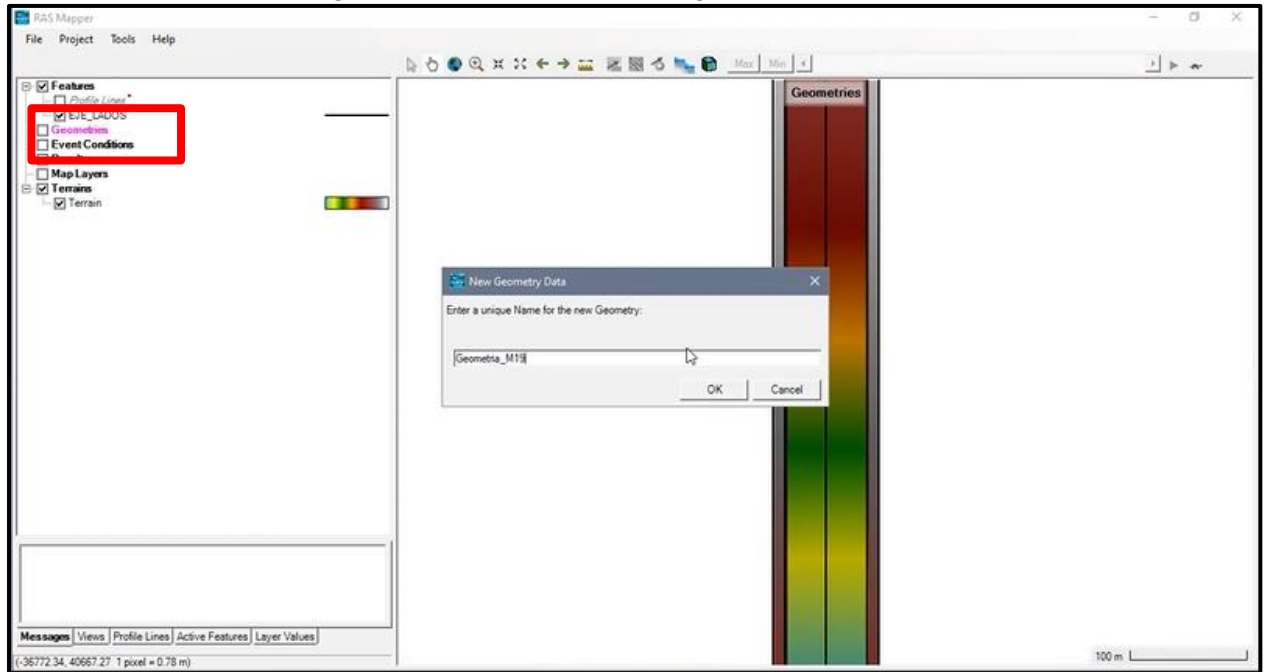
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12 Canal base en el RAS mapper



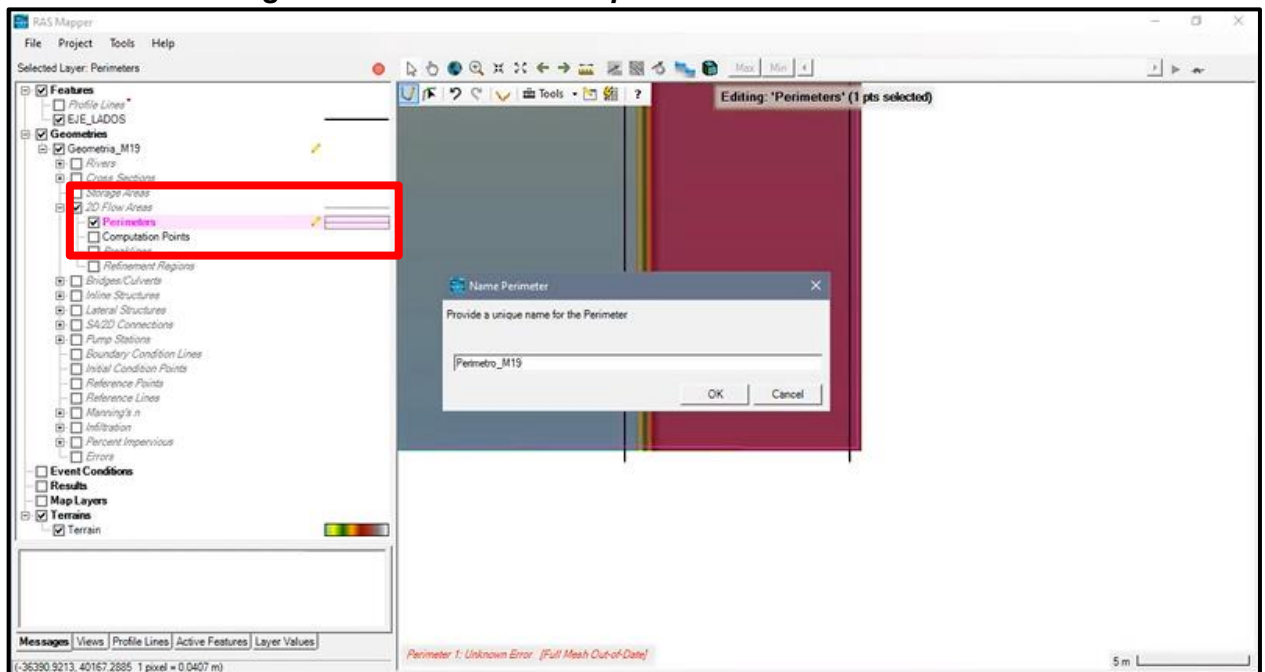
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13 Creación de la geometría del canal



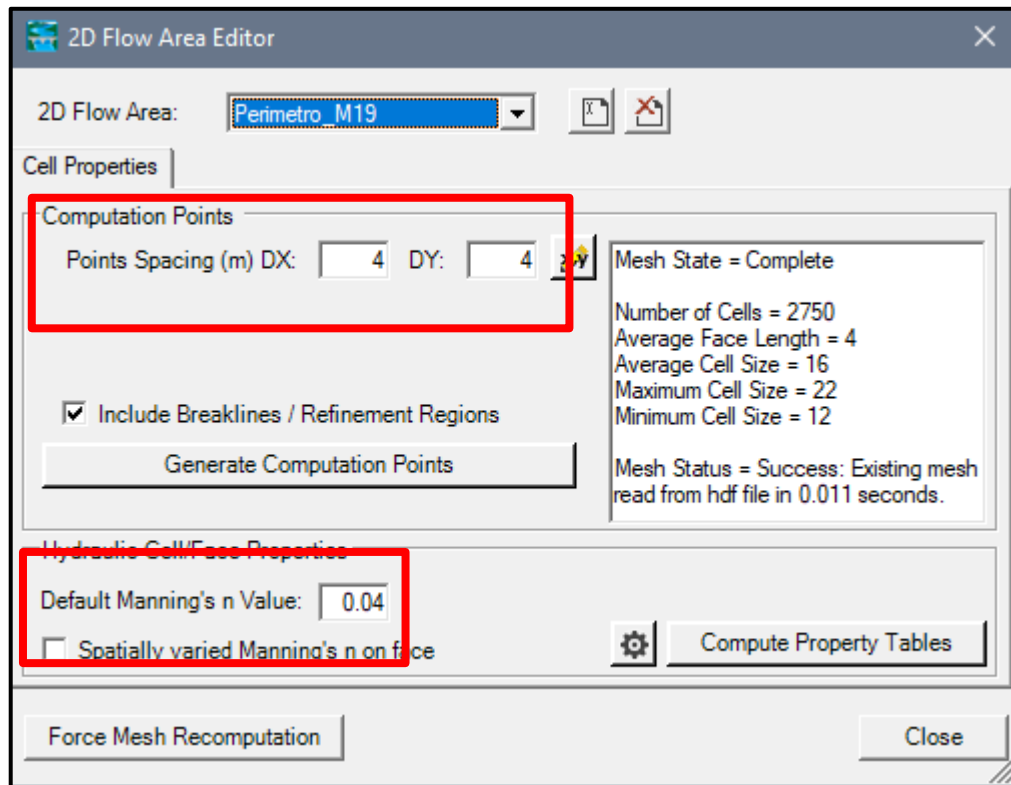
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 14 Selección del perímetro a modelar del canal



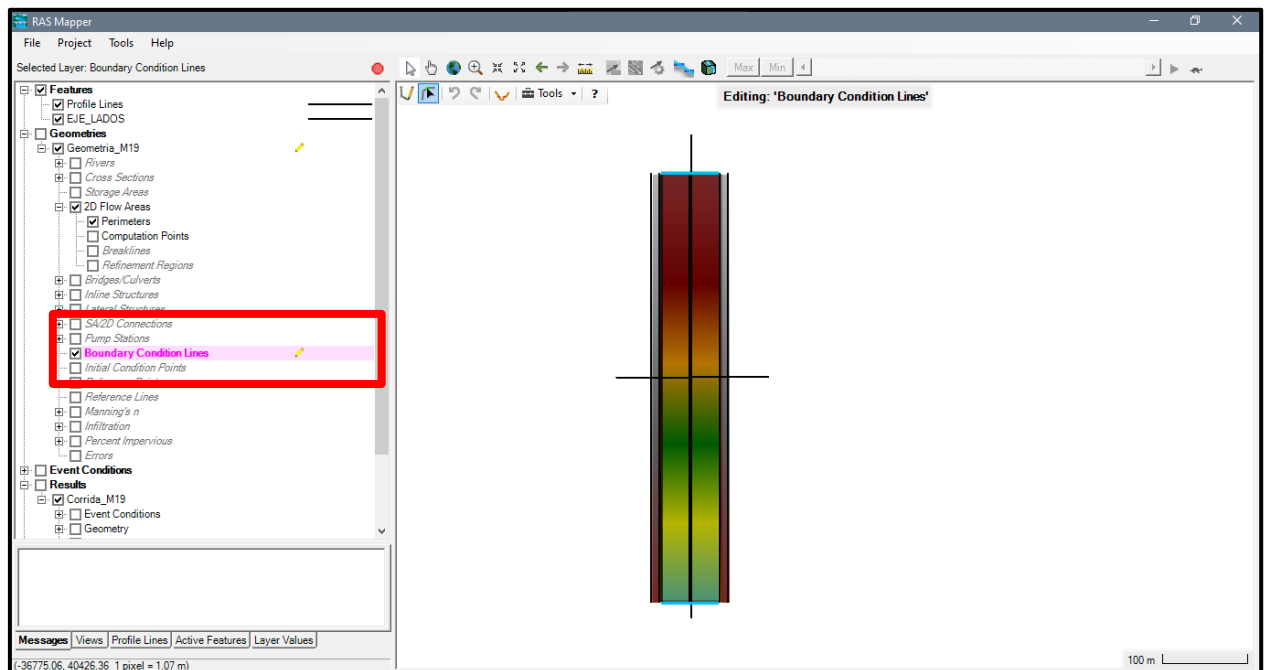
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 15 Edición de malla computacional y propiedades



Fuente: Elaboración propia

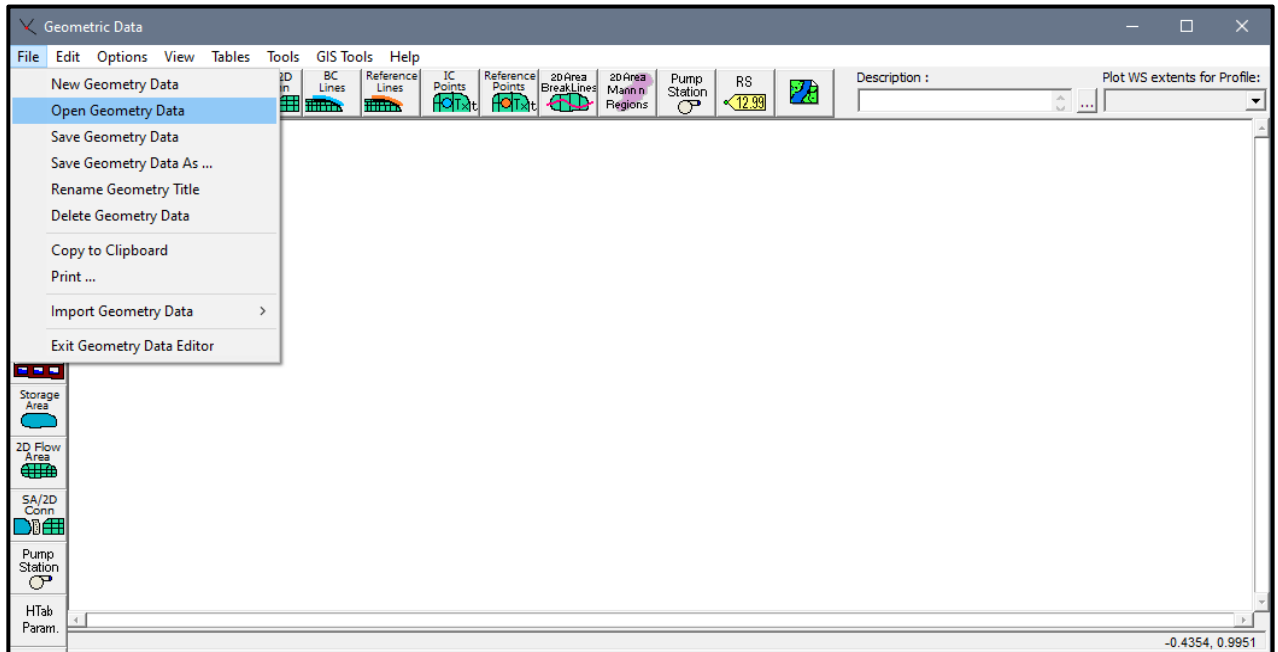
Figura N° 16 Condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo



Fuente: Elaboración propia

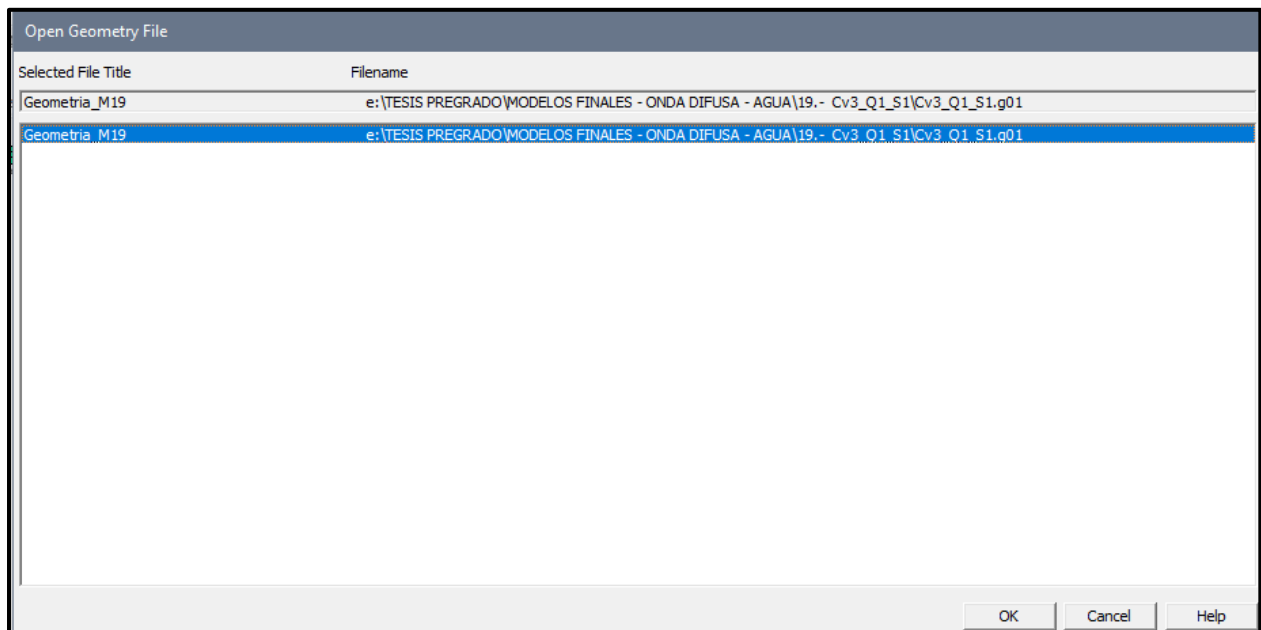
D. Vamos al interfaz del HEC-RAS para entrar a la opción de “Geometric data” para poder abrir la geometría creada en el RAS mapper y que lo reconozca como la geometría a trabajar.

Figura N° 17 Selección de geometría creada en el RAS mapper



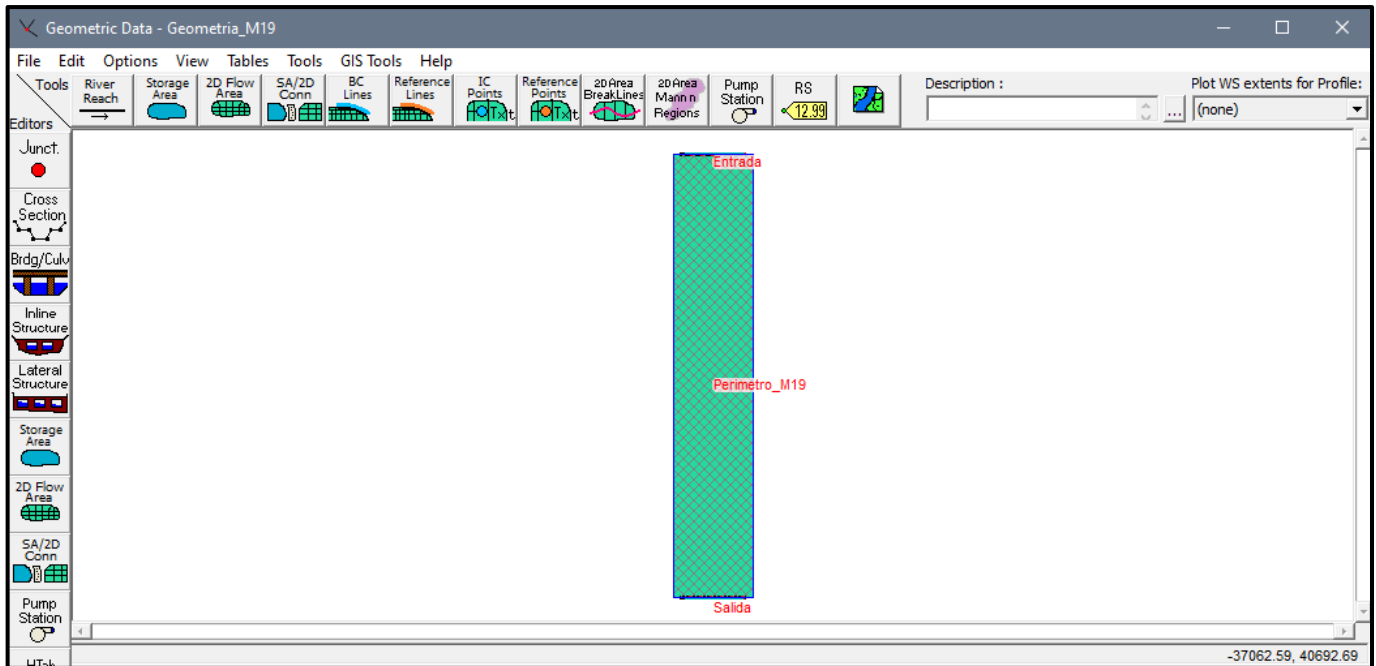
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 18 Selección de geometría creada en el RAS mapper



Fuente: Elaboración propia

Figura Nº 19 Geometría seleccionada para trabajar el modelo



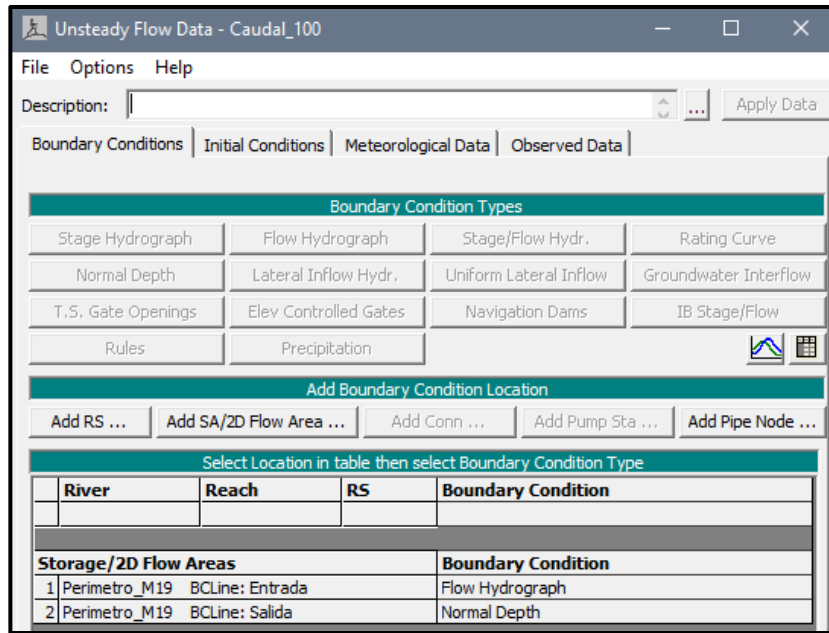
Fuente: Elaboración propia

E. Entramos a la opción “Unsteady Flow data” para poder asignar las condiciones de borde, tanto en la entrada como en la salida del canal. Los datos a continuación son según el modelo que estemos trabajando:

La condición de entrada propuesta es un hidrograma con los caudales de: 100 m/s², 200 m/s² y 300m/s² con un intervalo de tiempo de 10 seg. y con un valor de la pendiente para la distribución del flujo a lo largo de la línea de entrada de 0.001.

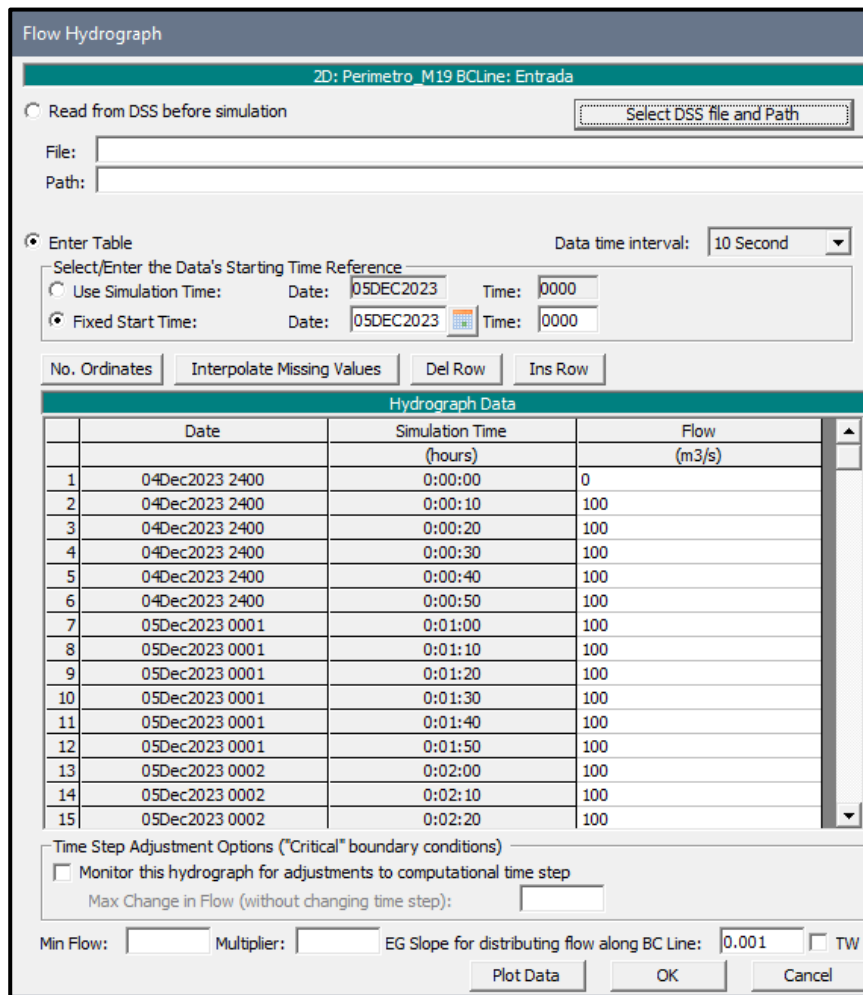
La condición de salida propuesta es un tirante normal con una pendiente de fricción de 0.05, 0.07 y 0.09.

Figura N° 20 Condiciones de borde



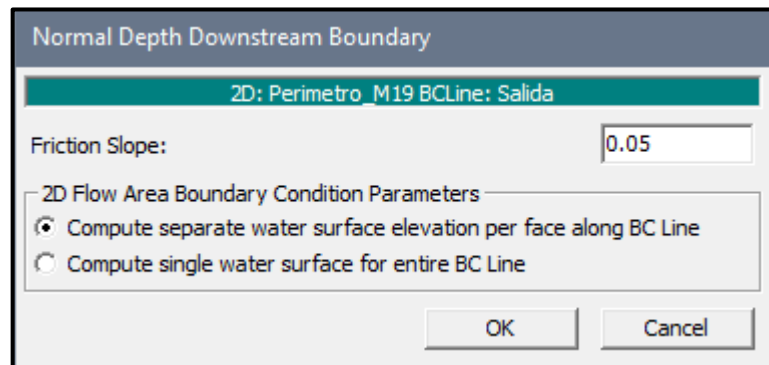
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 21 Condición de borde - entrada



Fuente: Elaboración propia

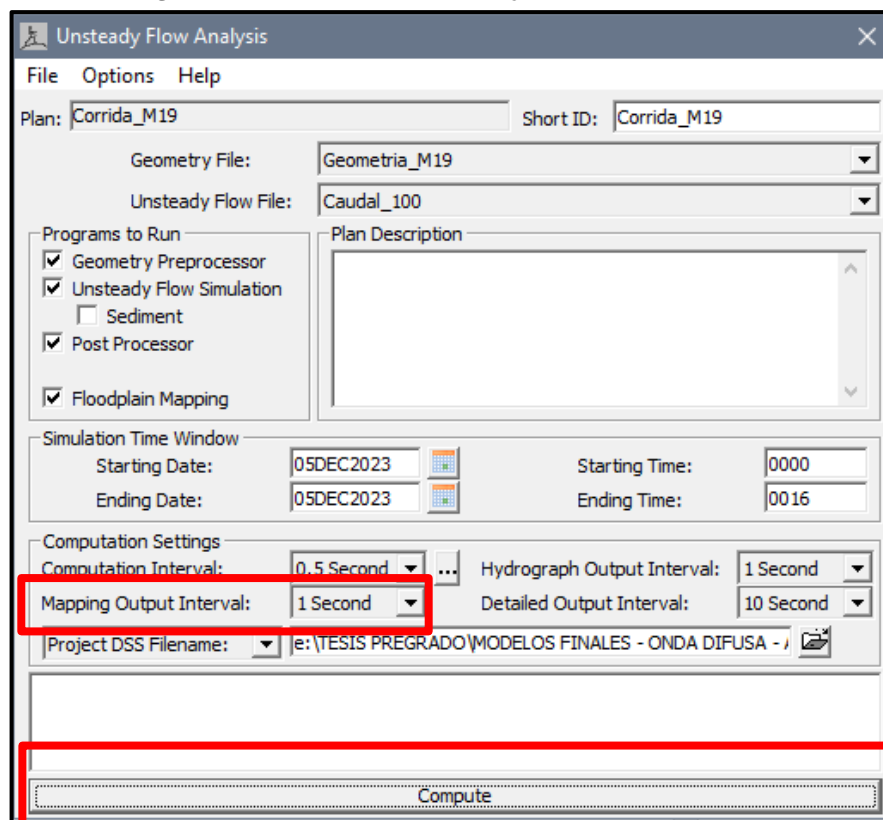
Figura Nº 22 Condición de borde - salida



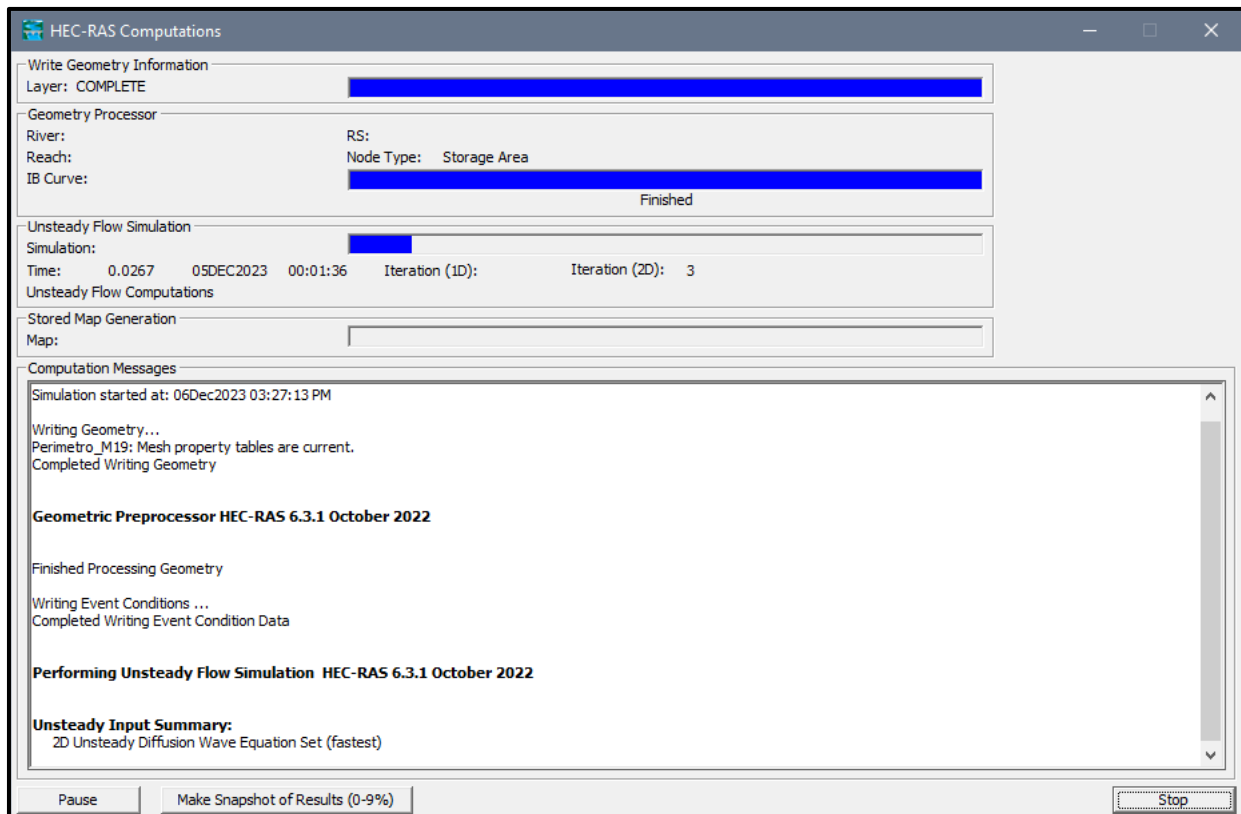
Fuente: Elaboración propia

- F. Continuando entramos a la opción de “Unsteady Flow Analysis” aquí es donde creamos un plan de corrida para el modelo a trabajar, según los datos que hemos ido generando anteriormente como la geometría y las condiciones de borde. El tiempo que le asignamos para los modelos son de 0.1 seg. y 0.5 seg. según el tipo de malla computacional. Al tener los datos insertados podemos darle al botón de “compute” para que comience la corrida y nos de los resultados.

Figura Nº 23 Análisis del flujo en el modelo



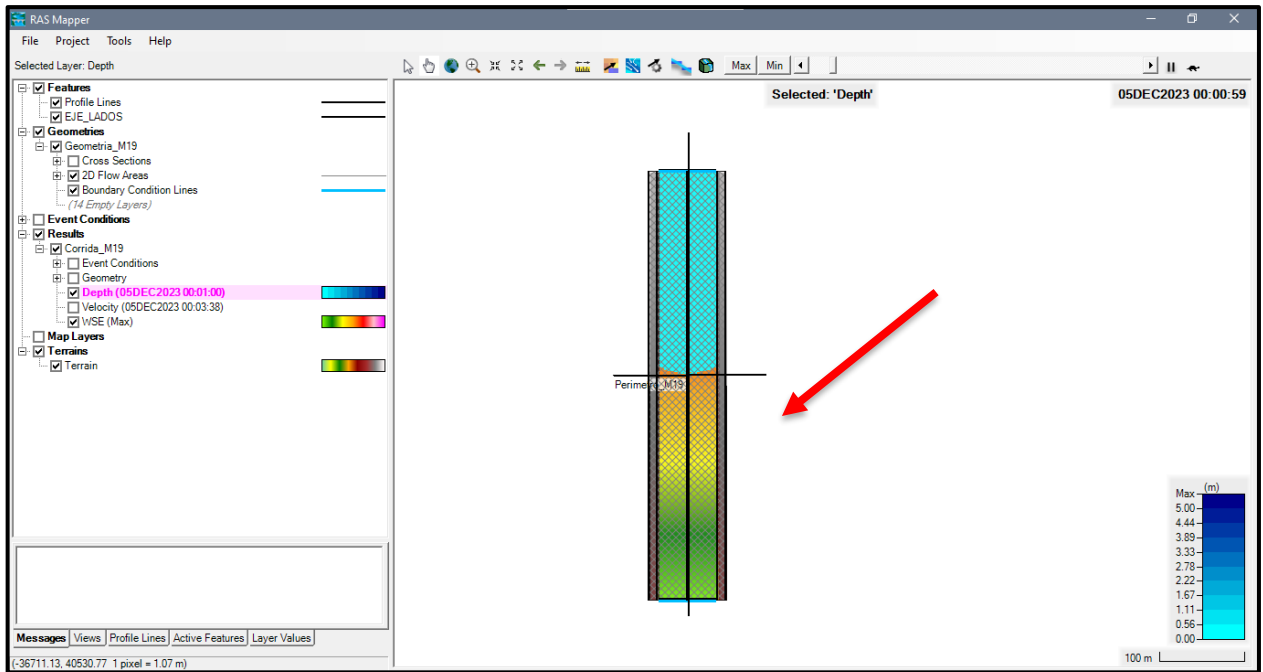
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 24 Calculo del modelo en HEC - RAS

Fuente: Elaboración propia

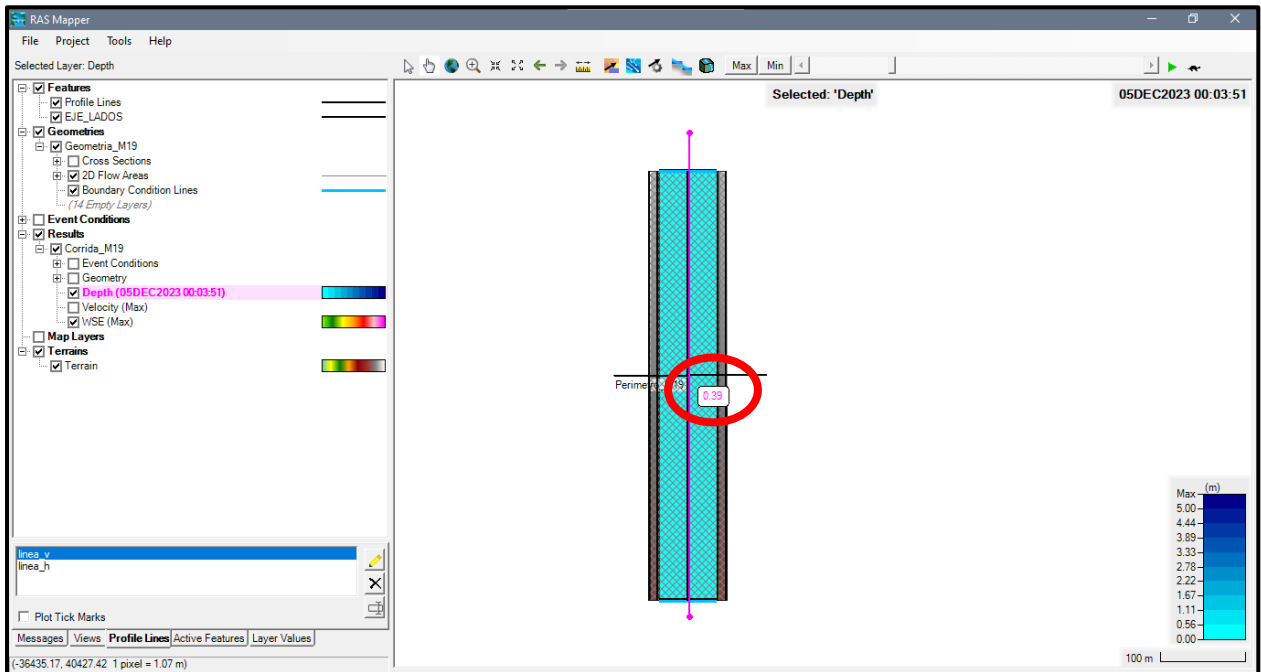
- G.** Al finalizar el cálculo, procedemos a entrar al RAS mapper para así poder ver el comportamiento del flujo en el canal y los resultados obtenidos tanto en el tirante como la velocidad, ya que son las variables a estudiar de la investigación.

Figura N° 25 Comportamiento del flujo en el canal



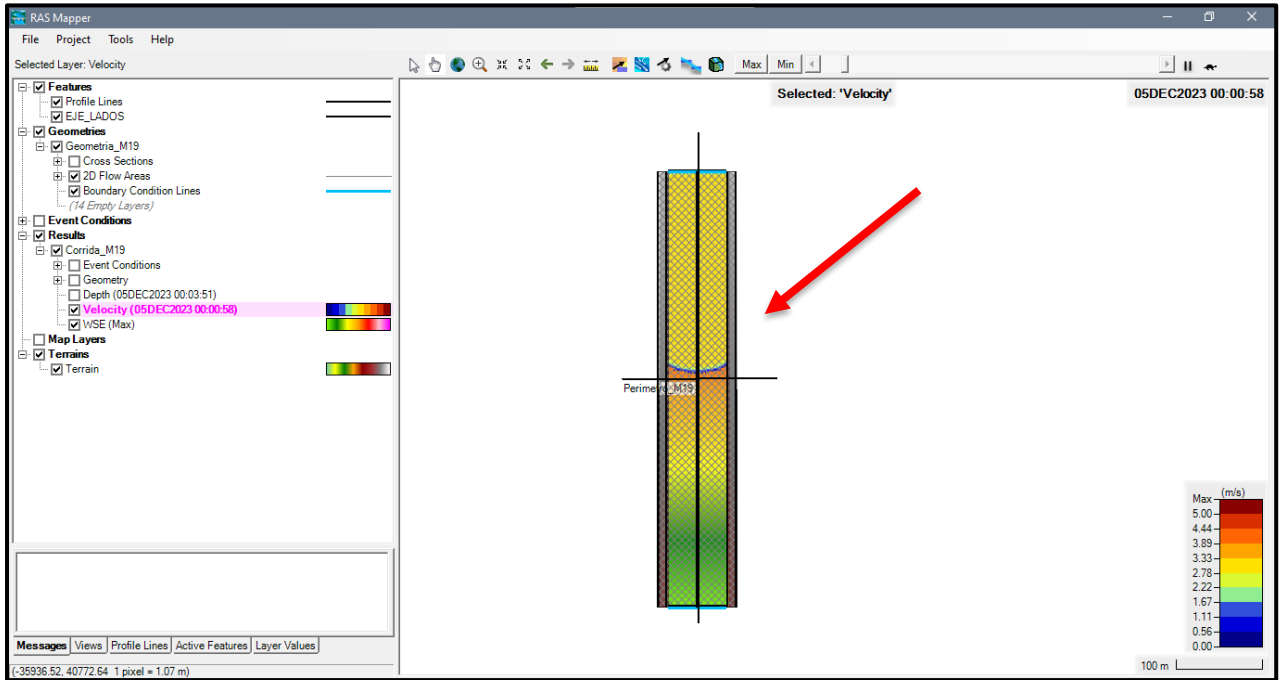
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 26 Obtención de resultado promedio del tirante en el canal



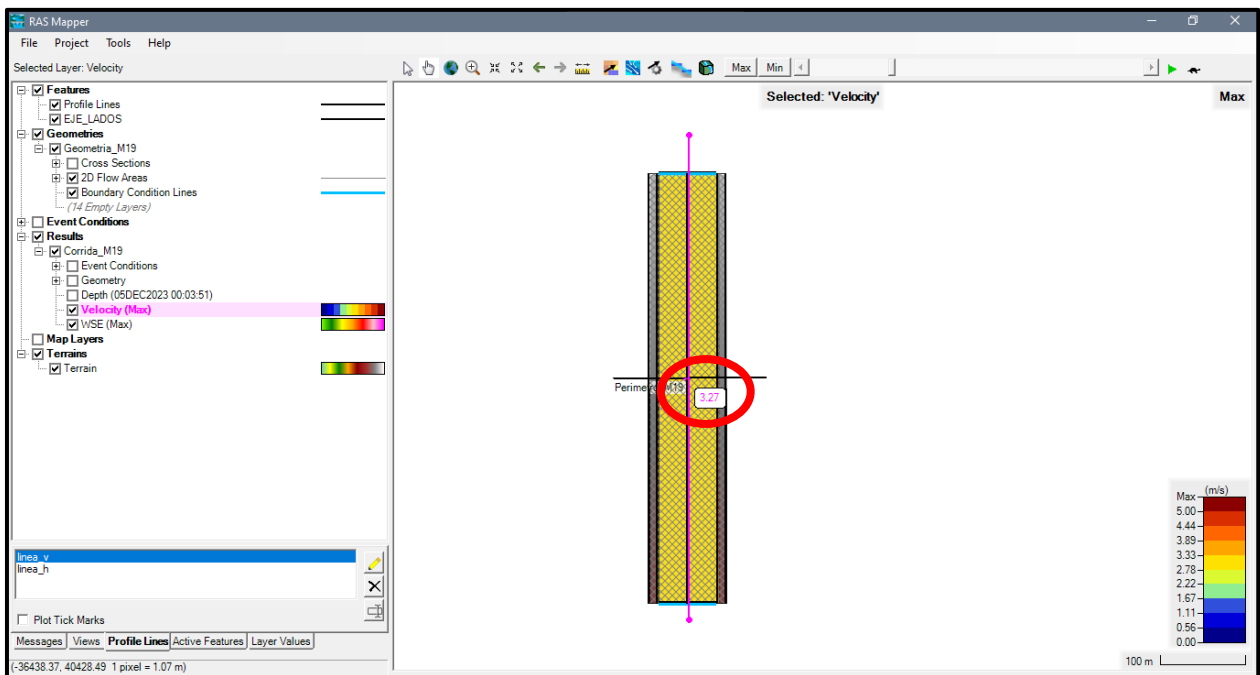
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 27 Comportamiento de la velocidad en el canal



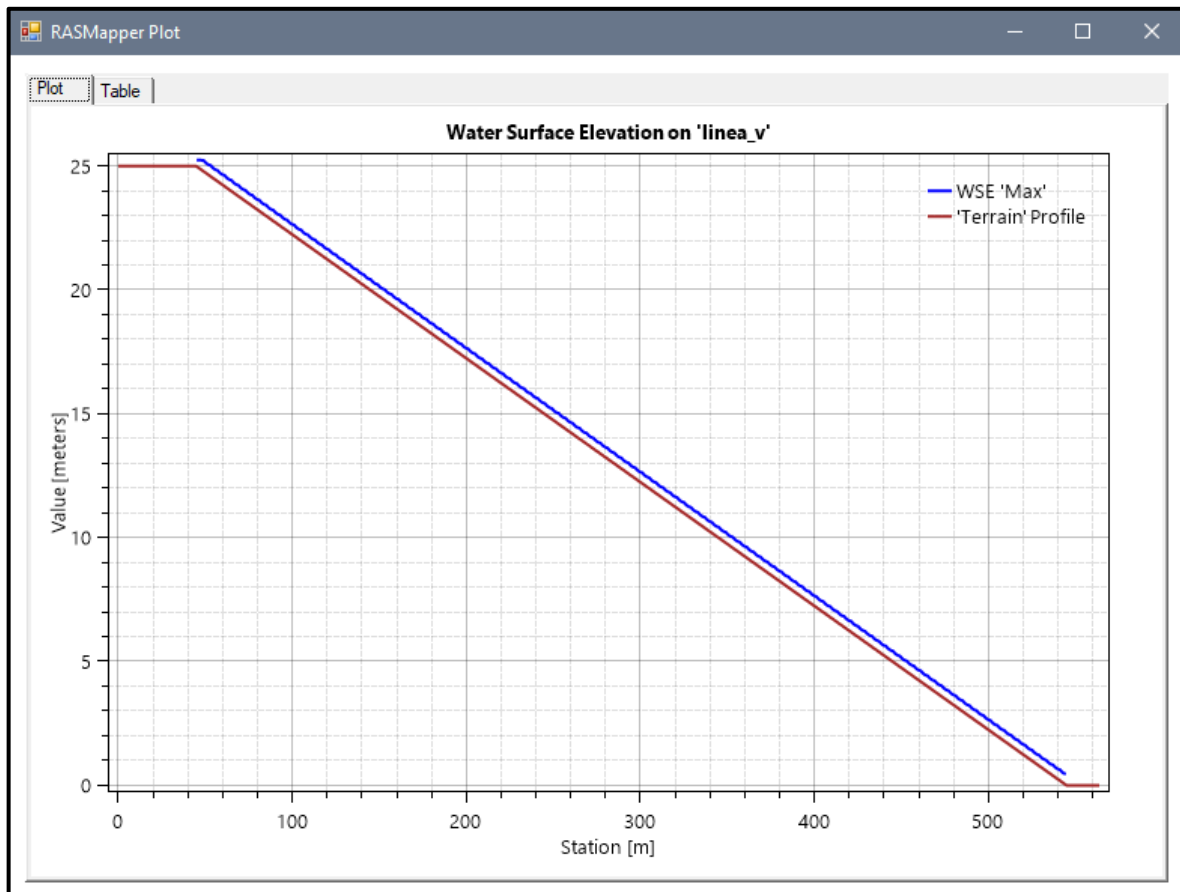
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 28 Obtención de resultado promedio de velocidad en el canal



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 29 Grafico



Fuente: Elaboración propia

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Propuesta de investigación

Realizar una comparación entre flujo hiperconcentrado y fluido newtoniano para determinar las variaciones de los tirantes y velocidades aplicando el software HEC-RAS.

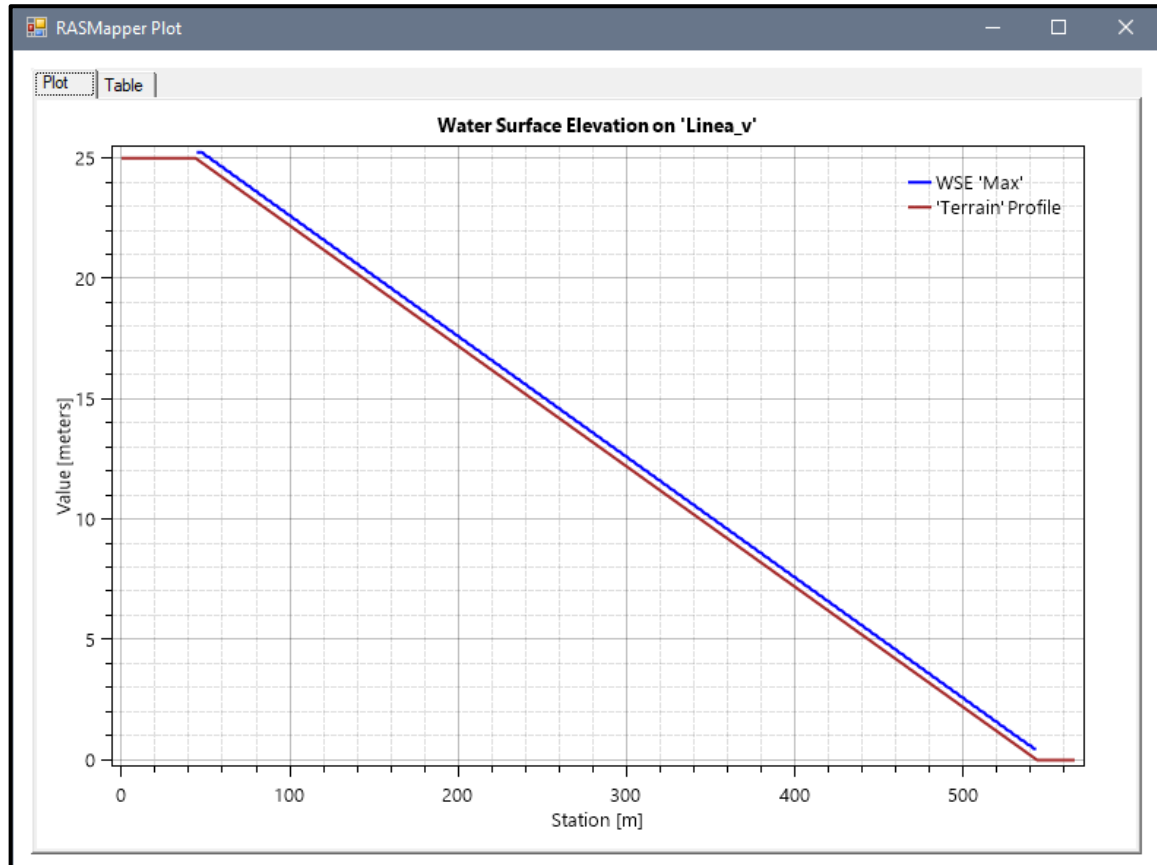
4.2. Análisis e interpretación de resultados.

ECUACIÓN "DIFFUSION WAVE"

MODELO N°1

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s²
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 30. Grafico de resultados del Modelo N°1

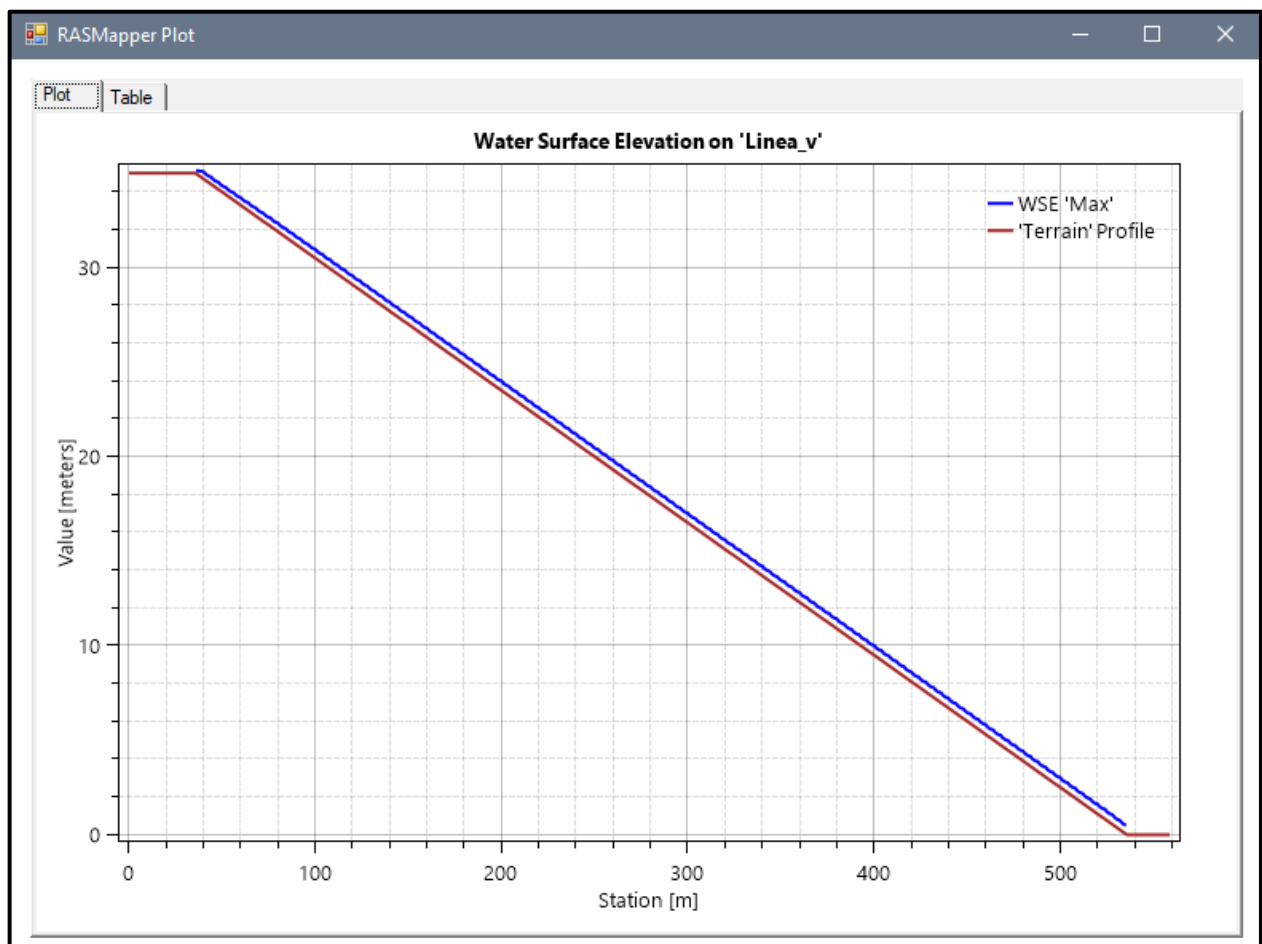


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°2

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 31 Gráfico de resultados del Modelo N°2

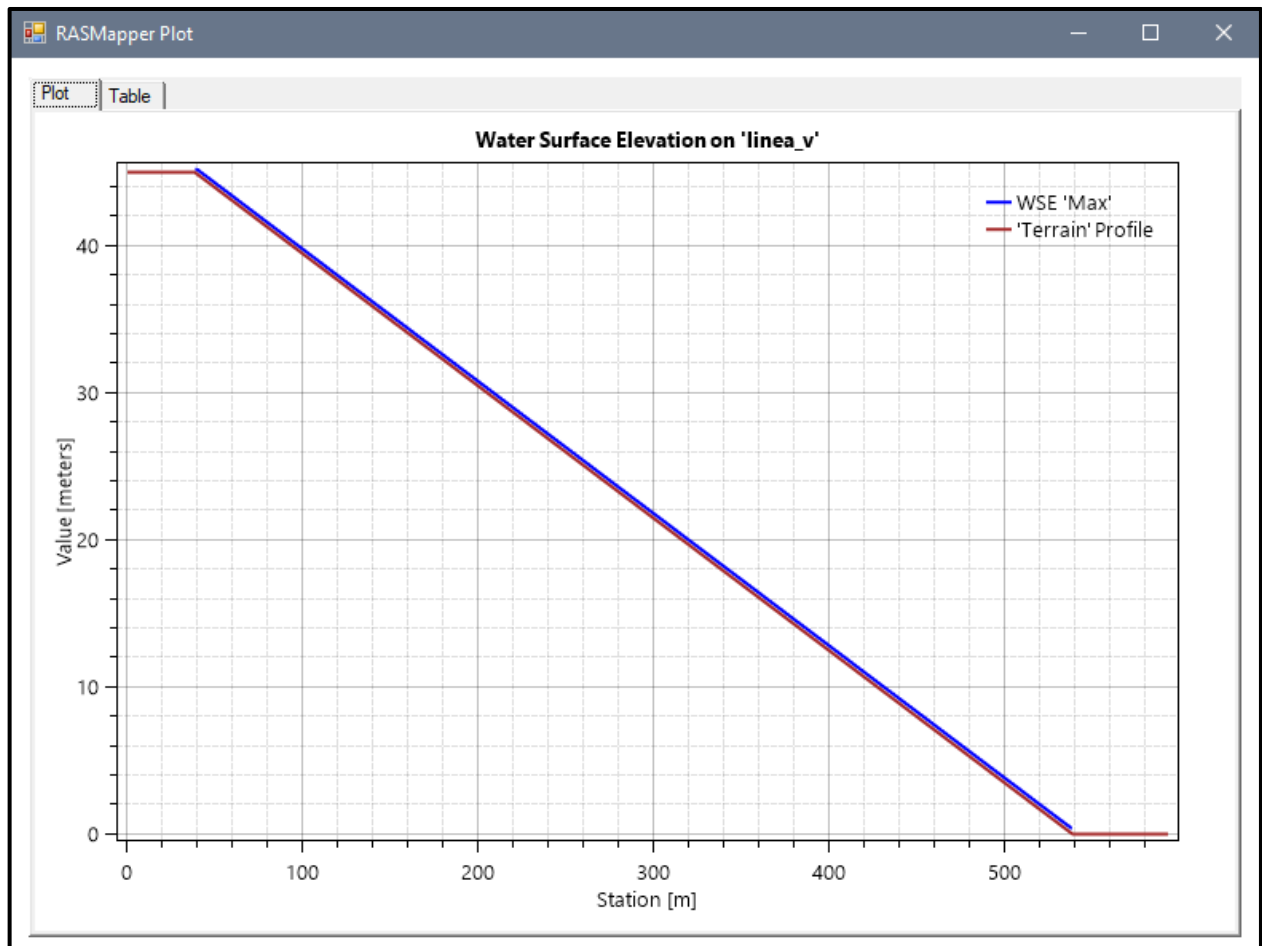


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°3

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 32 Gráfico de resultados del Modelo N°3

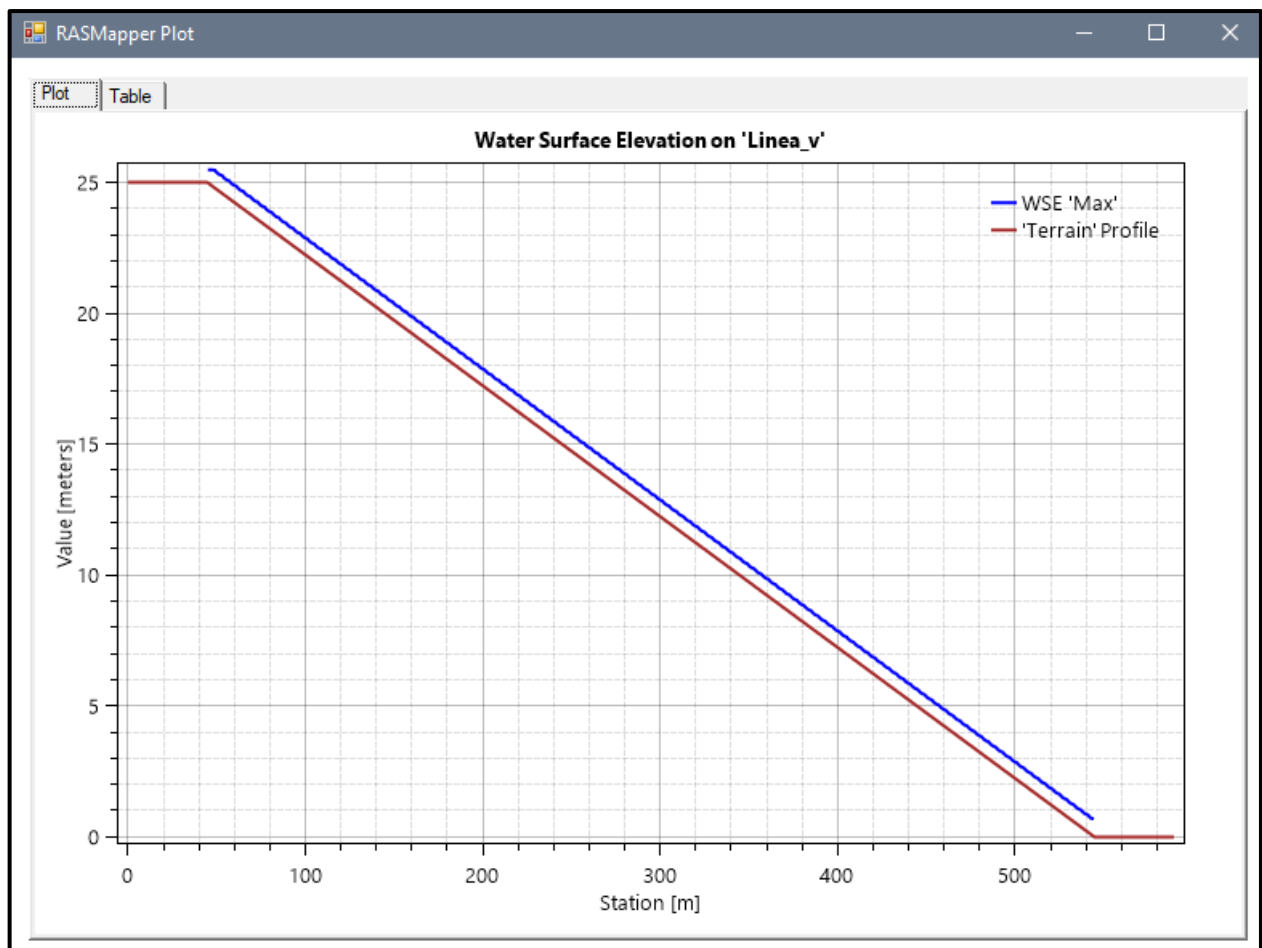


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°4

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 33 Gráfico de resultados del Modelo N°4

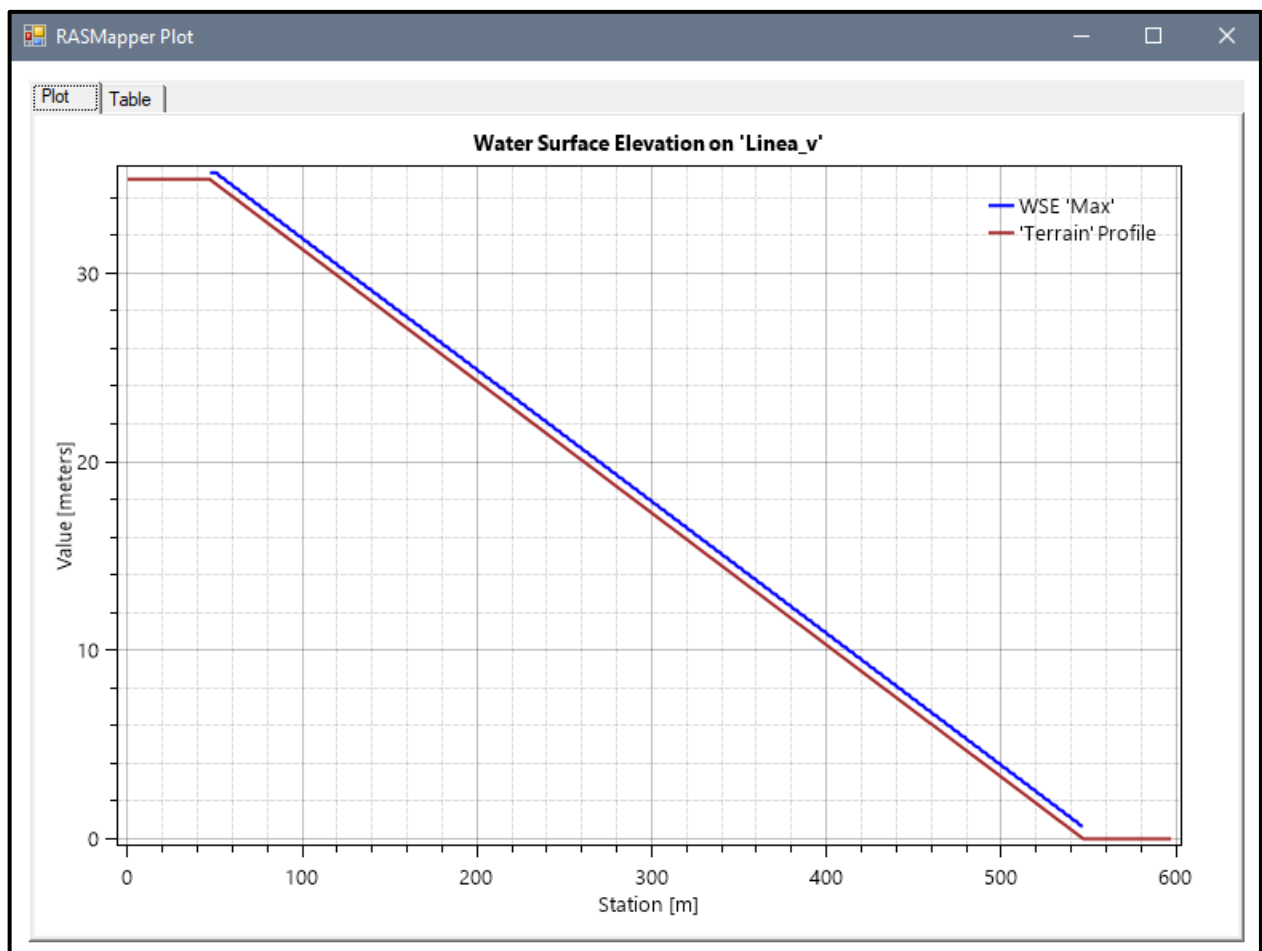


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°5

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 34 Gráfico de resultados del Modelo N°5

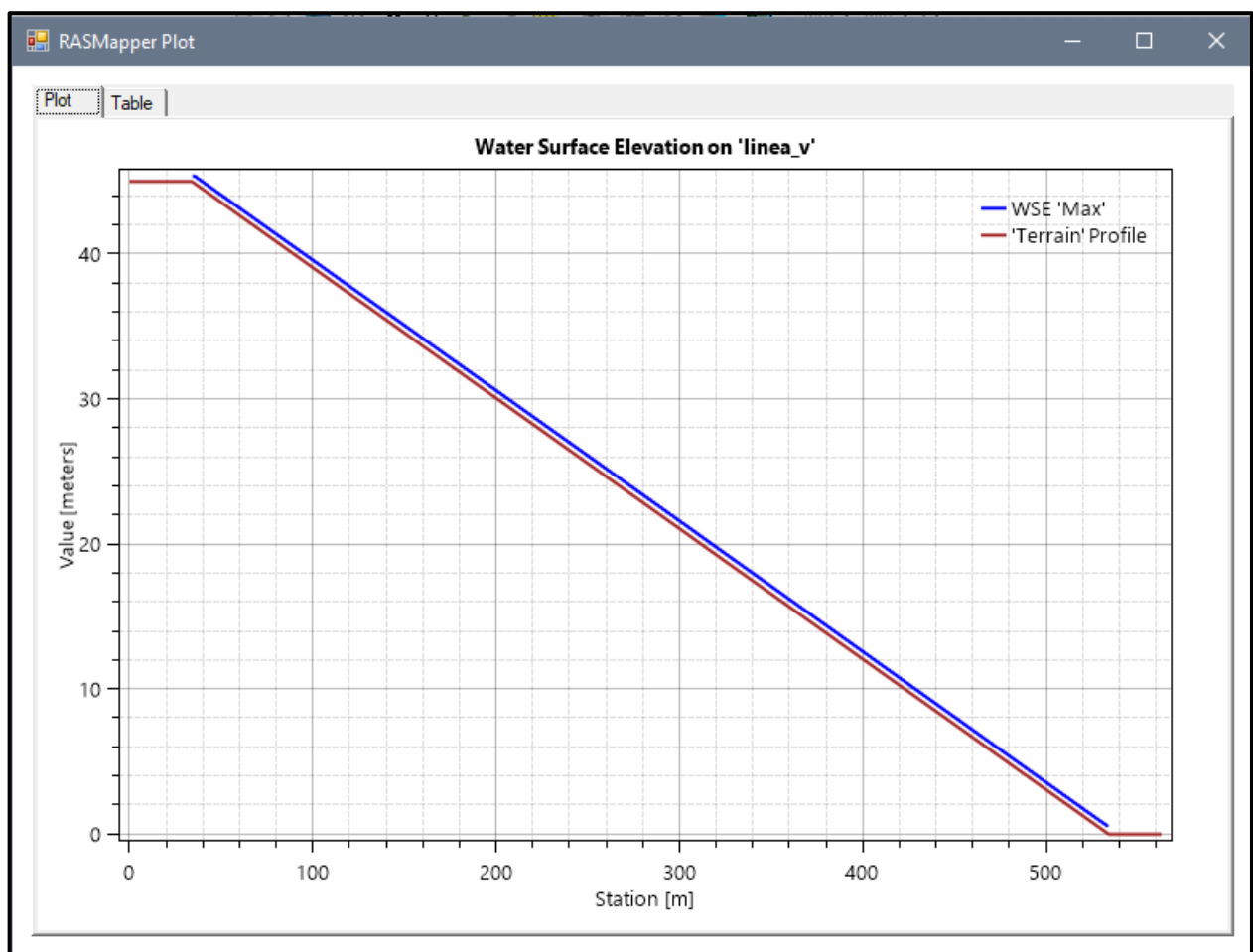


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°6

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 35 Gráfico de resultados del Modelo N°6

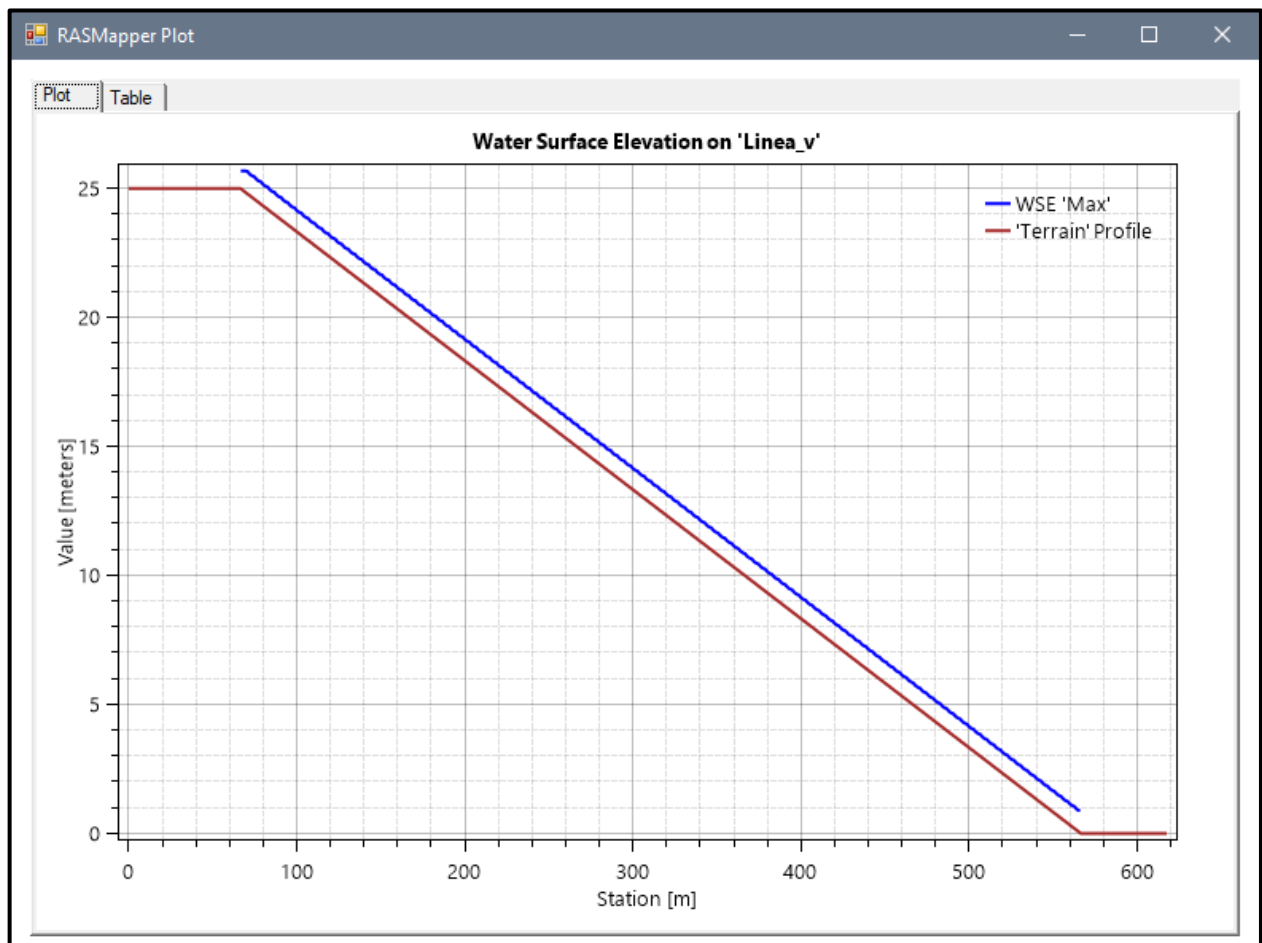


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°7

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 36 Gráfico de resultados del Modelo N°7

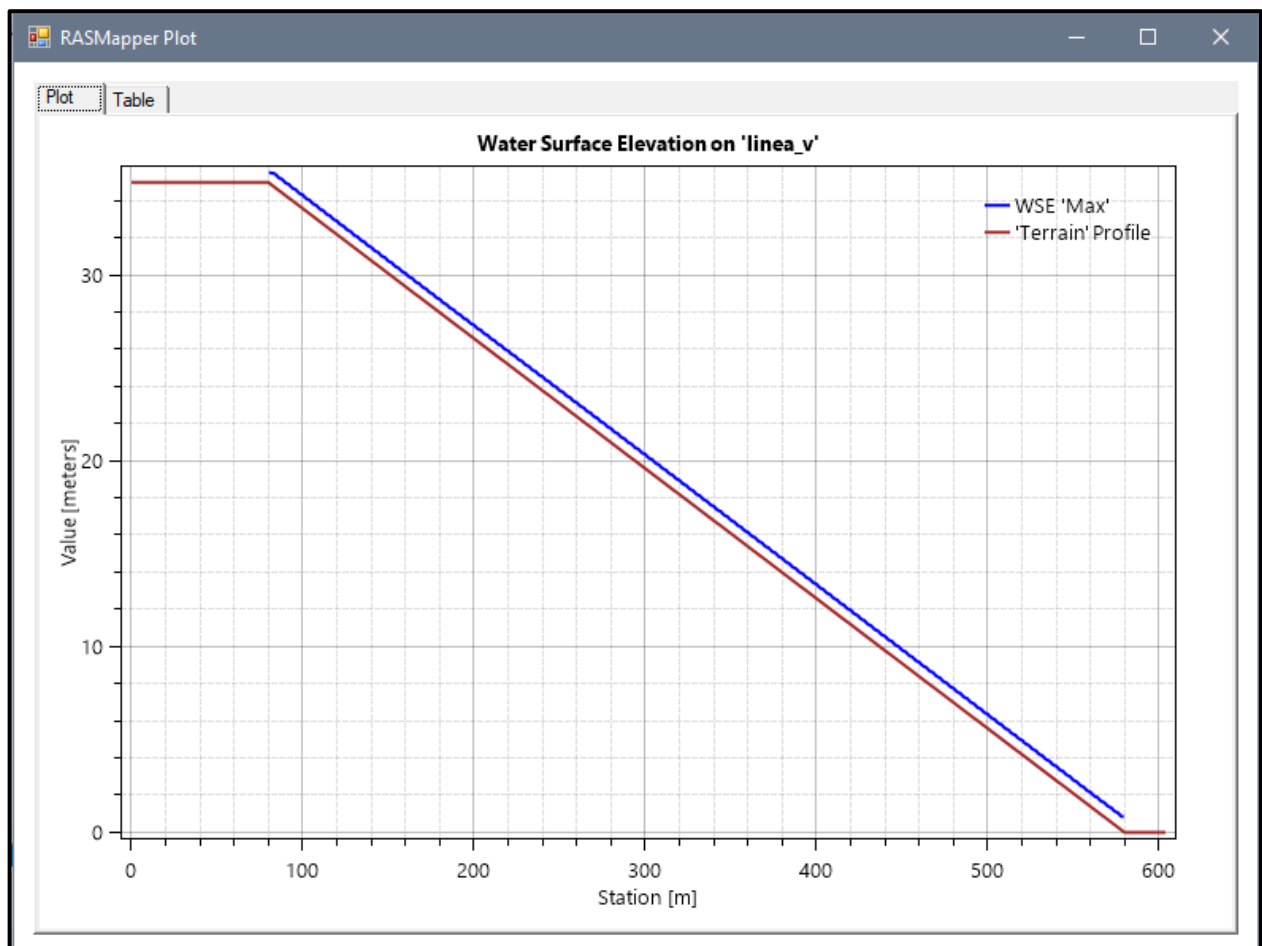


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°8

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 37 Gráfico de resultados del Modelo N°8

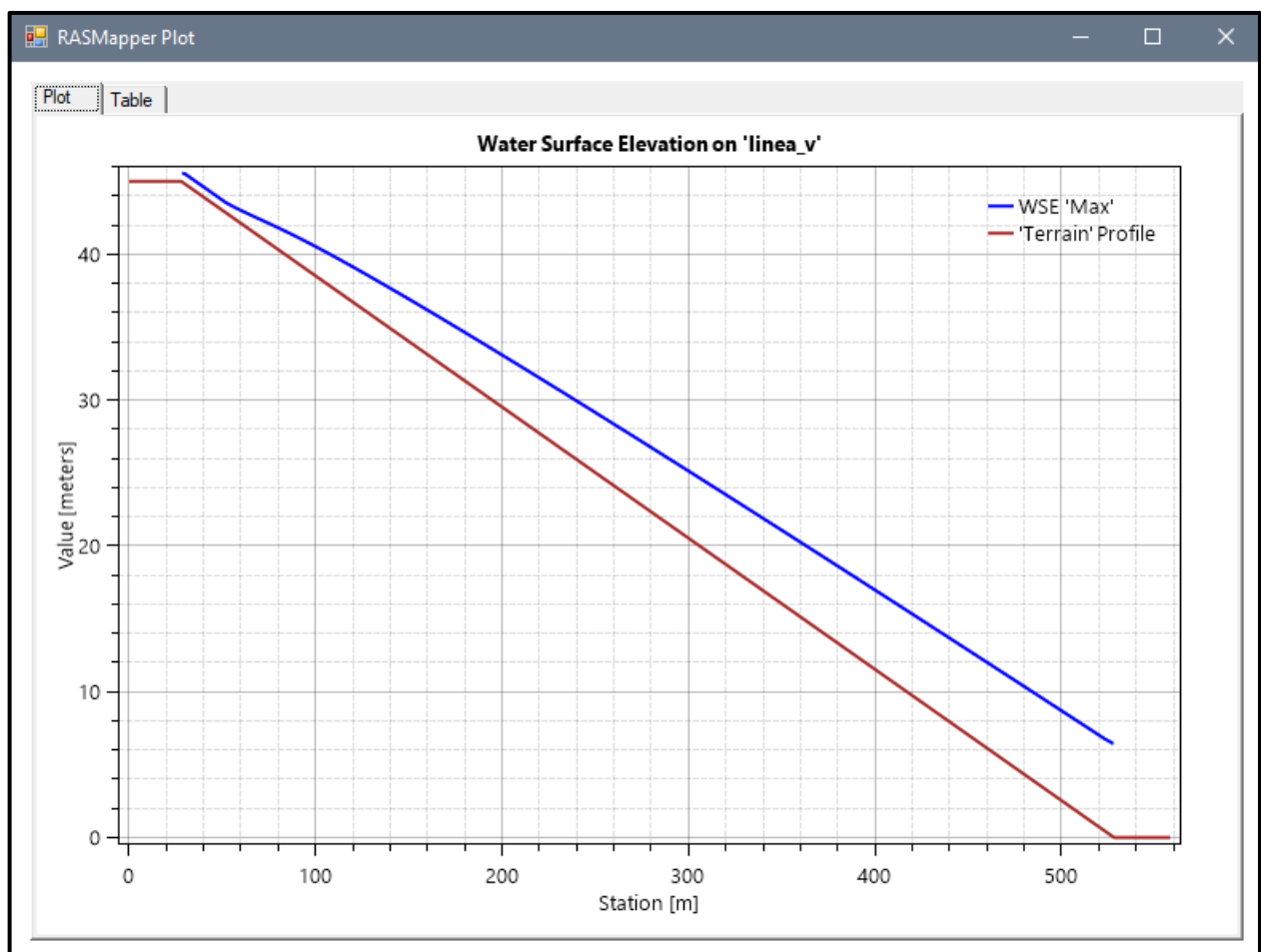


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°9

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 38 Gráfico de resultados del Modelo N°9

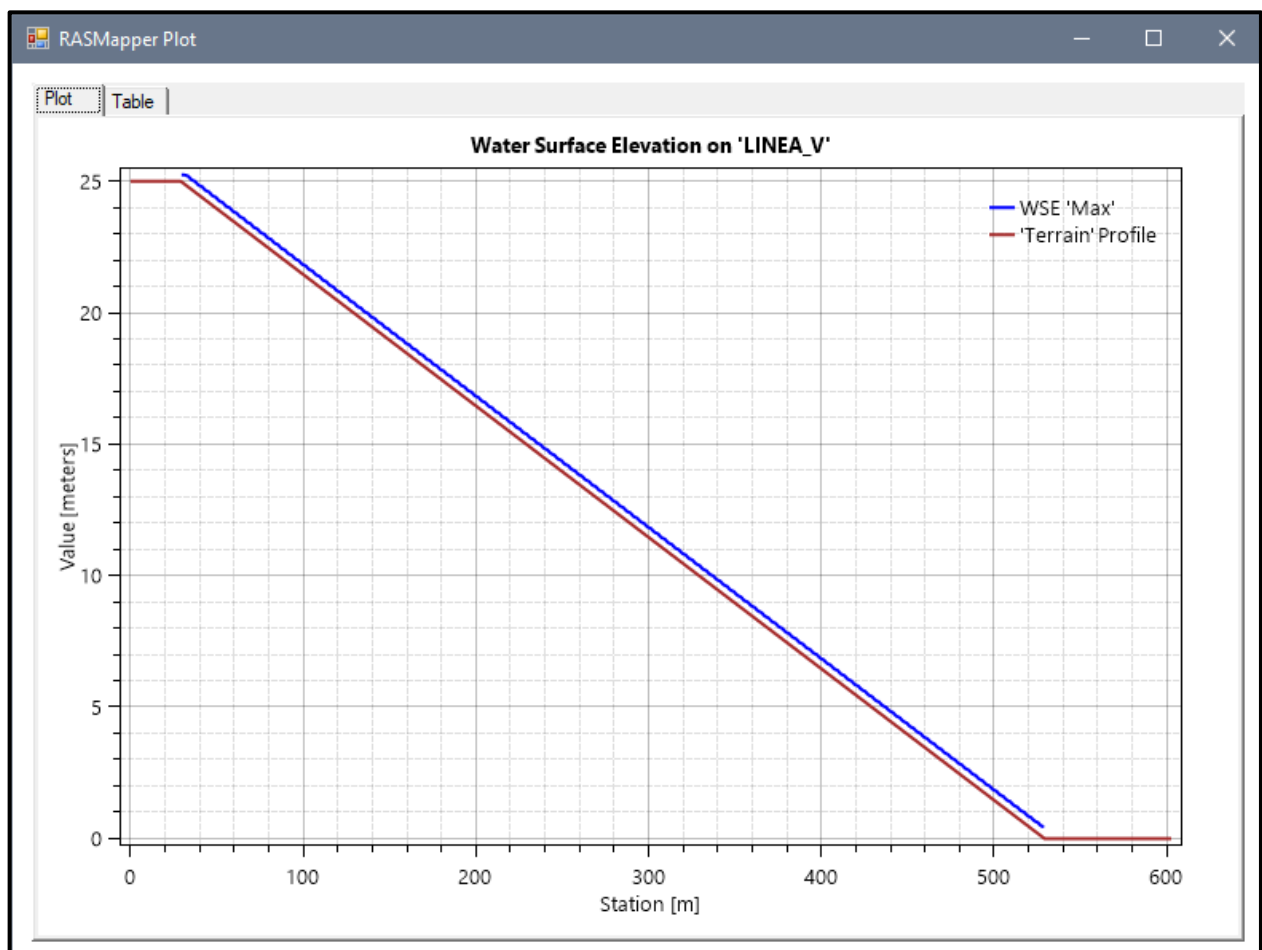


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 10

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 39 Gráfico de resultados del Modelo N°10

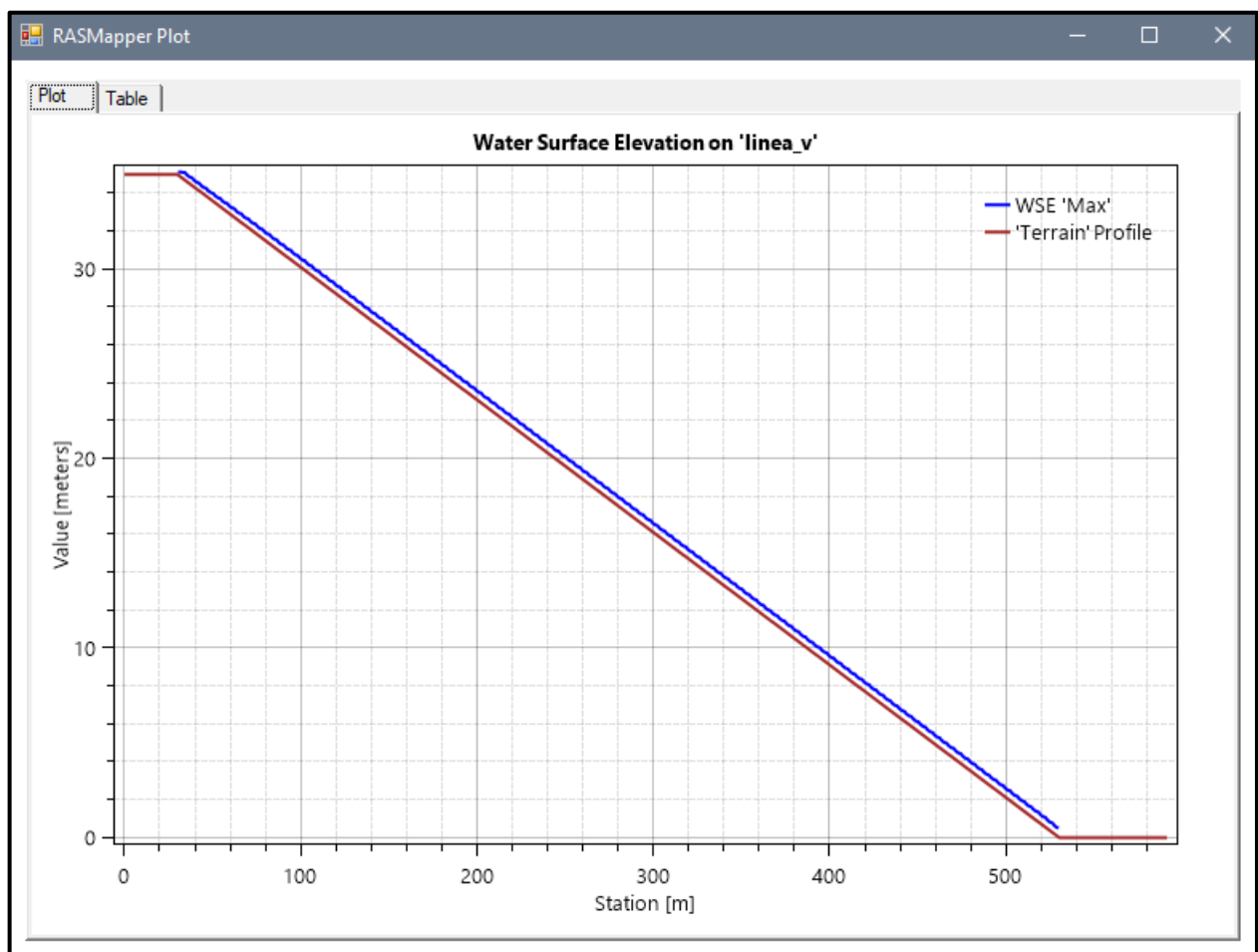


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 11

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 40 Gráfico de resultados del Modelo N°11

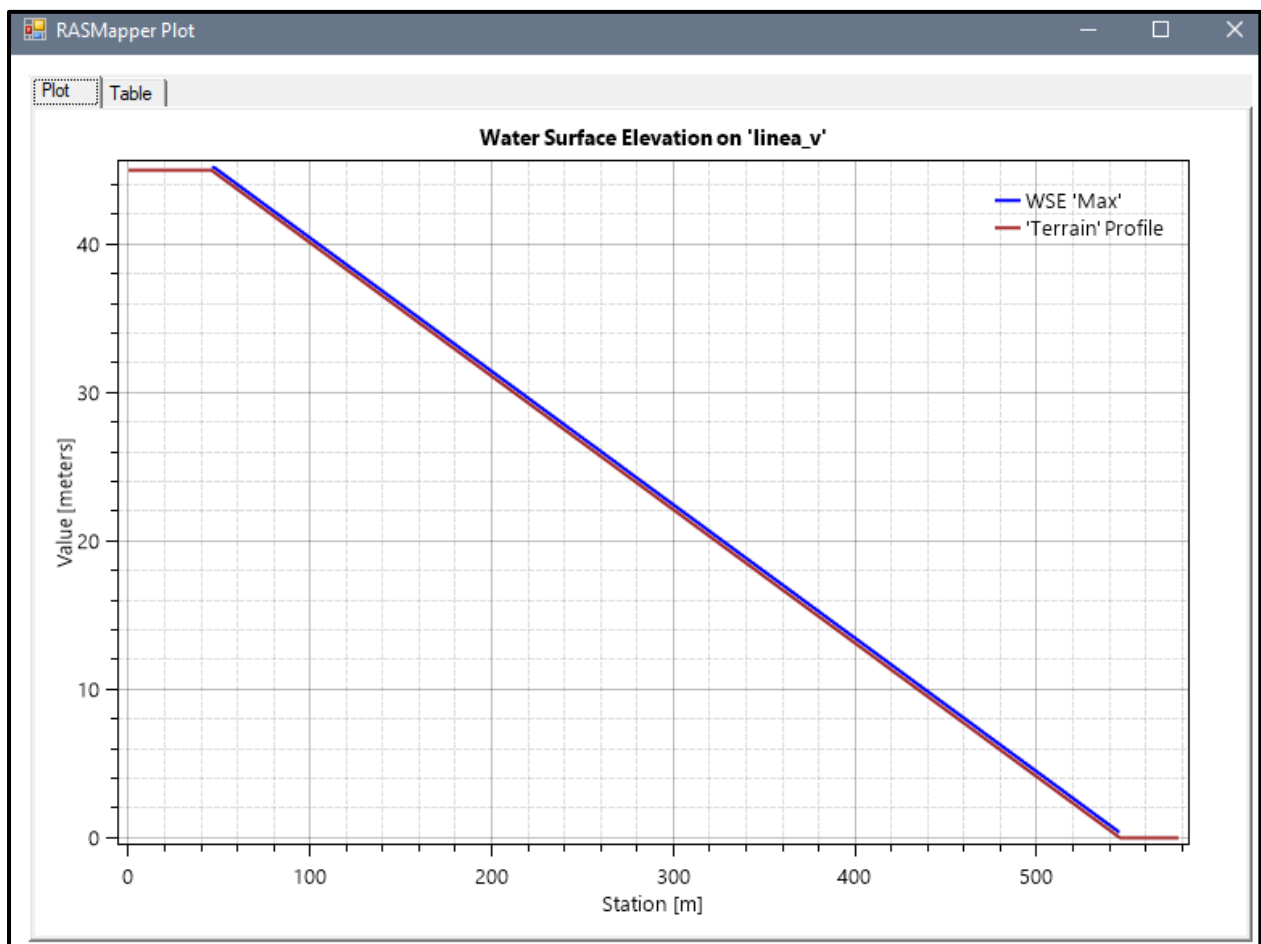


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 12

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 41 Gráfico de resultados del Modelo N° 12

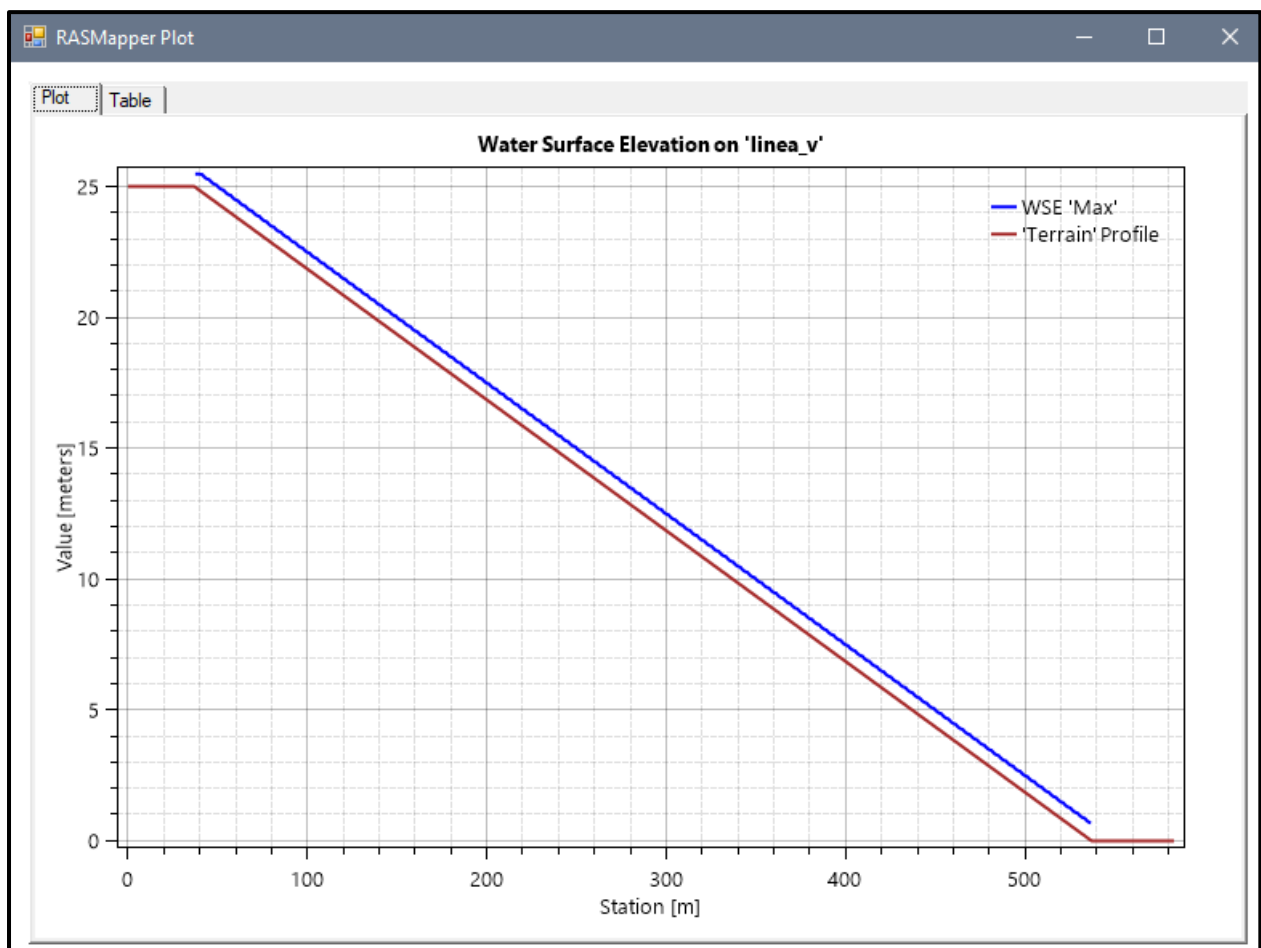


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 13

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 42 Gráfico de resultados del Modelo N° 13

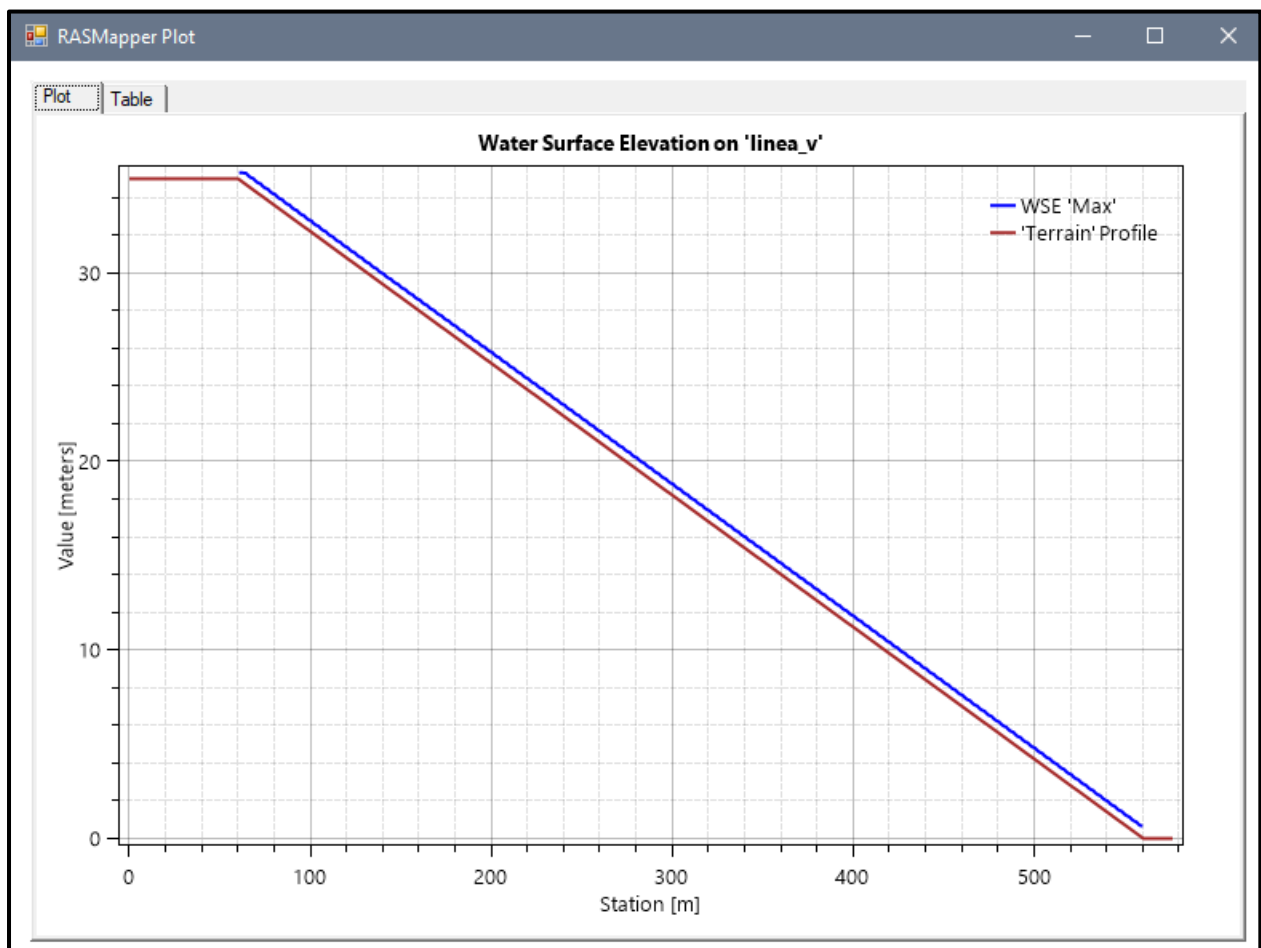


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 14

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 43 Gráfico de resultados del Modelo N°14

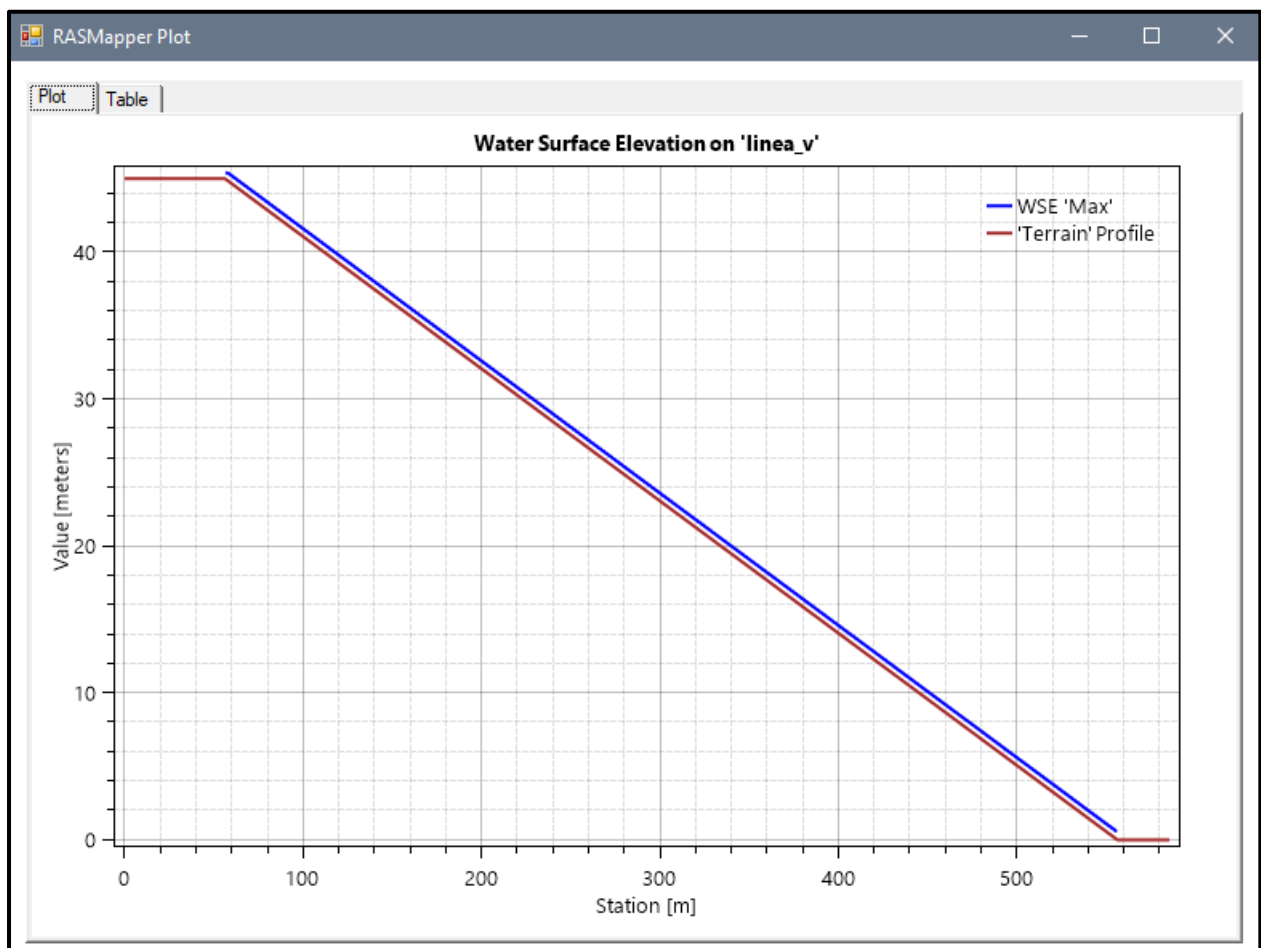


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 15

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 44 Gráfico de resultados del Modelo N°15

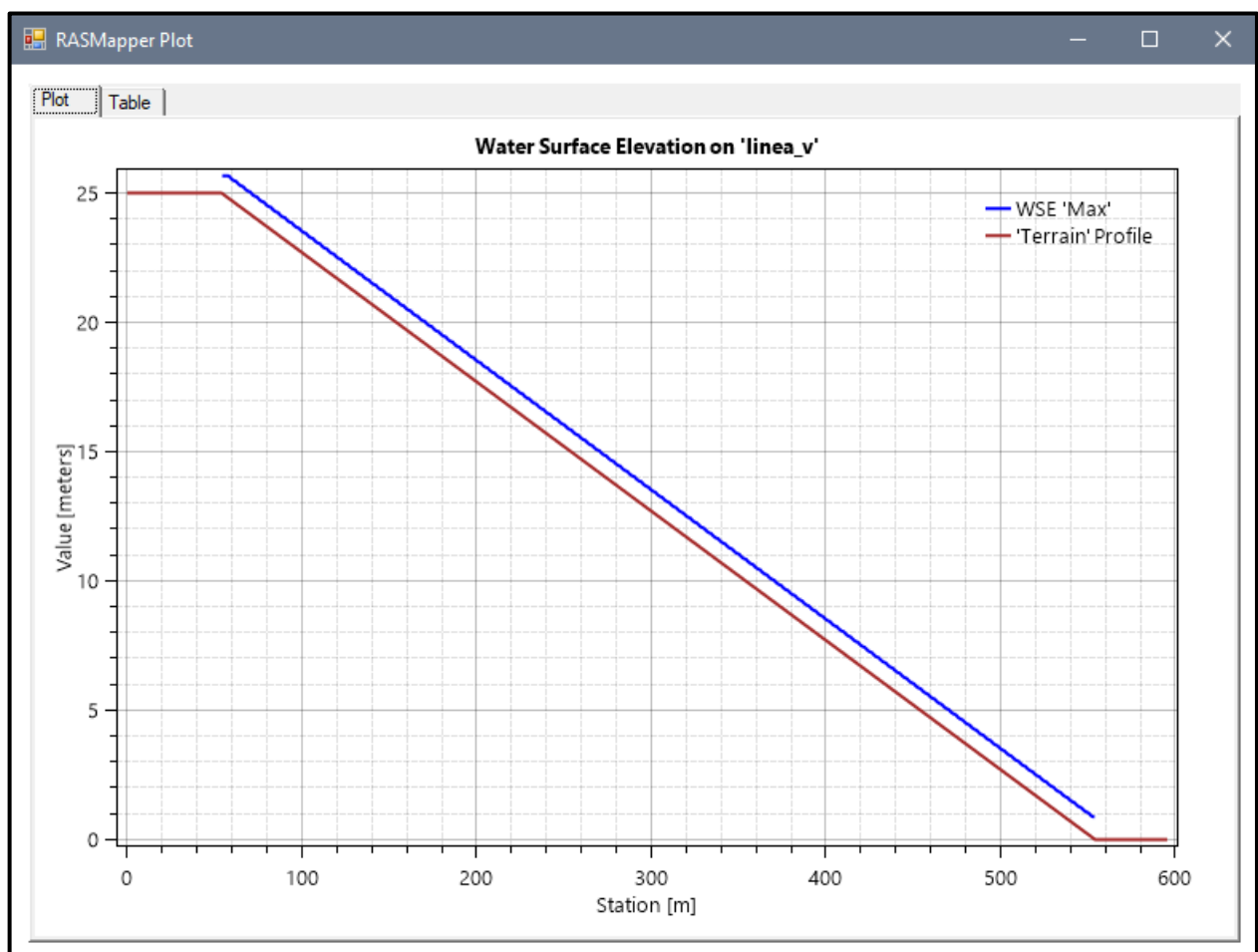


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 16

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 45 Gráfico de resultados del Modelo N°16

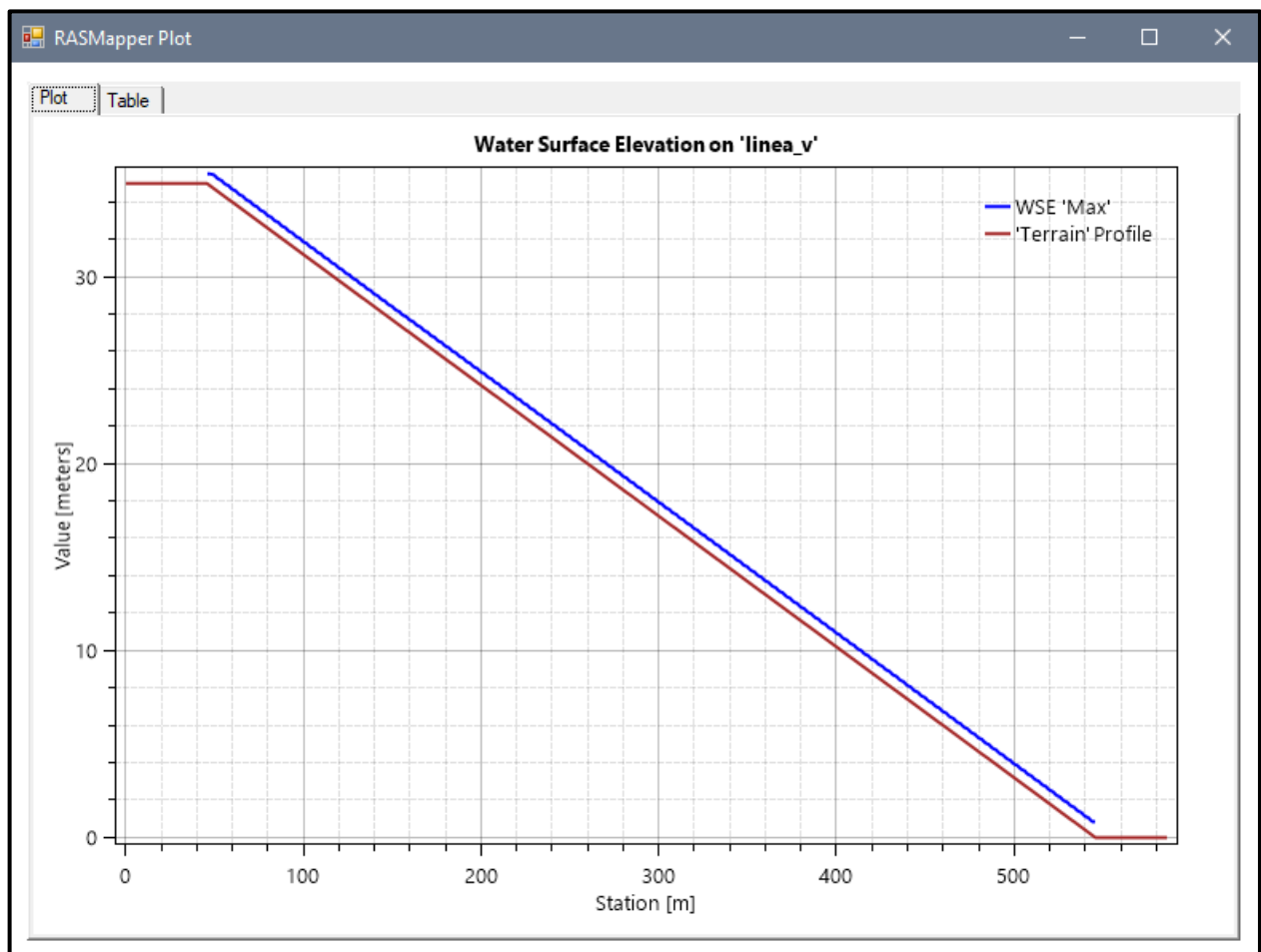


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 17

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 46 Gráfico de resultados del Modelo N°17

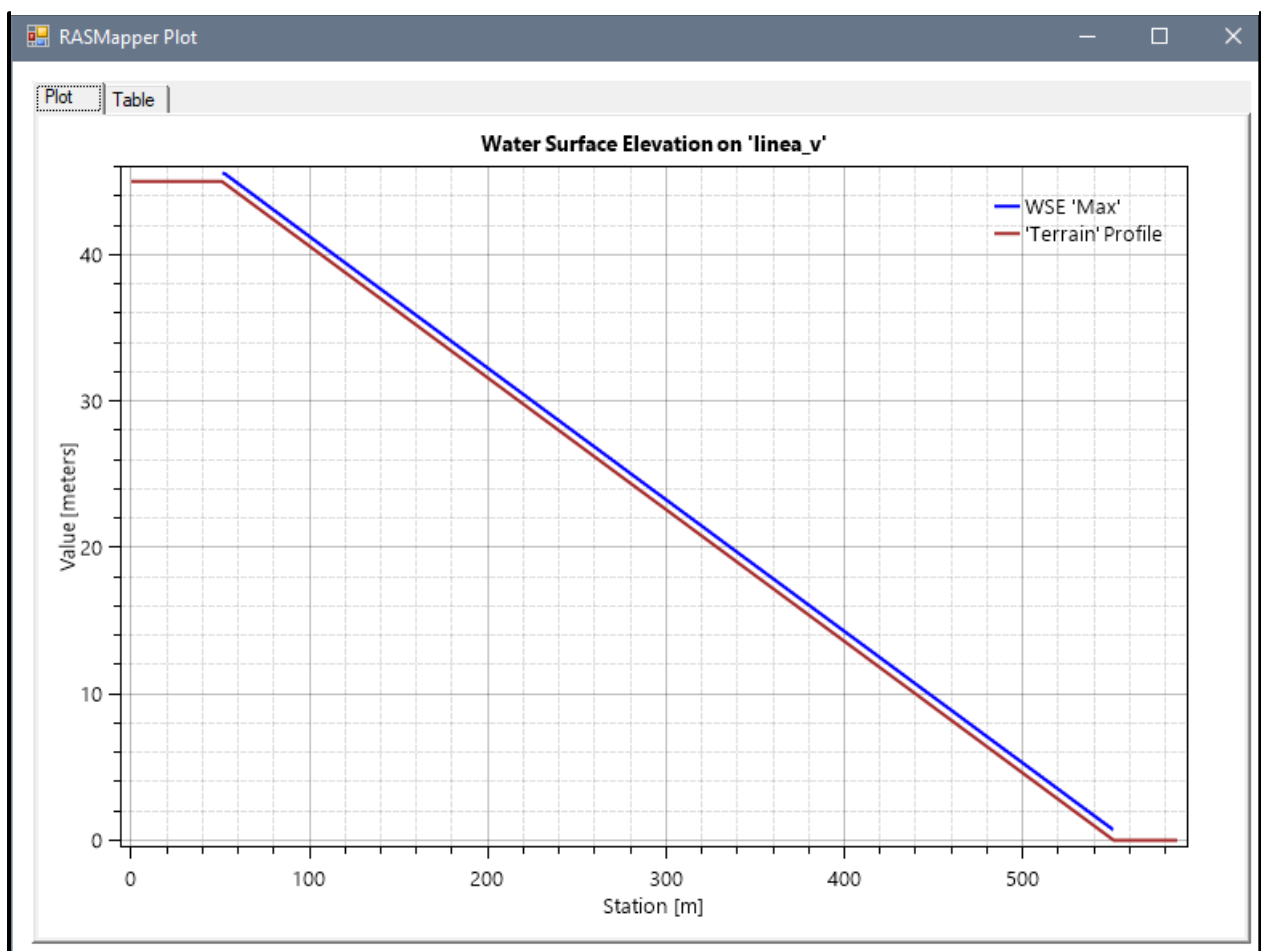


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 18

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 47 Gráfico de resultados del Modelo N°18

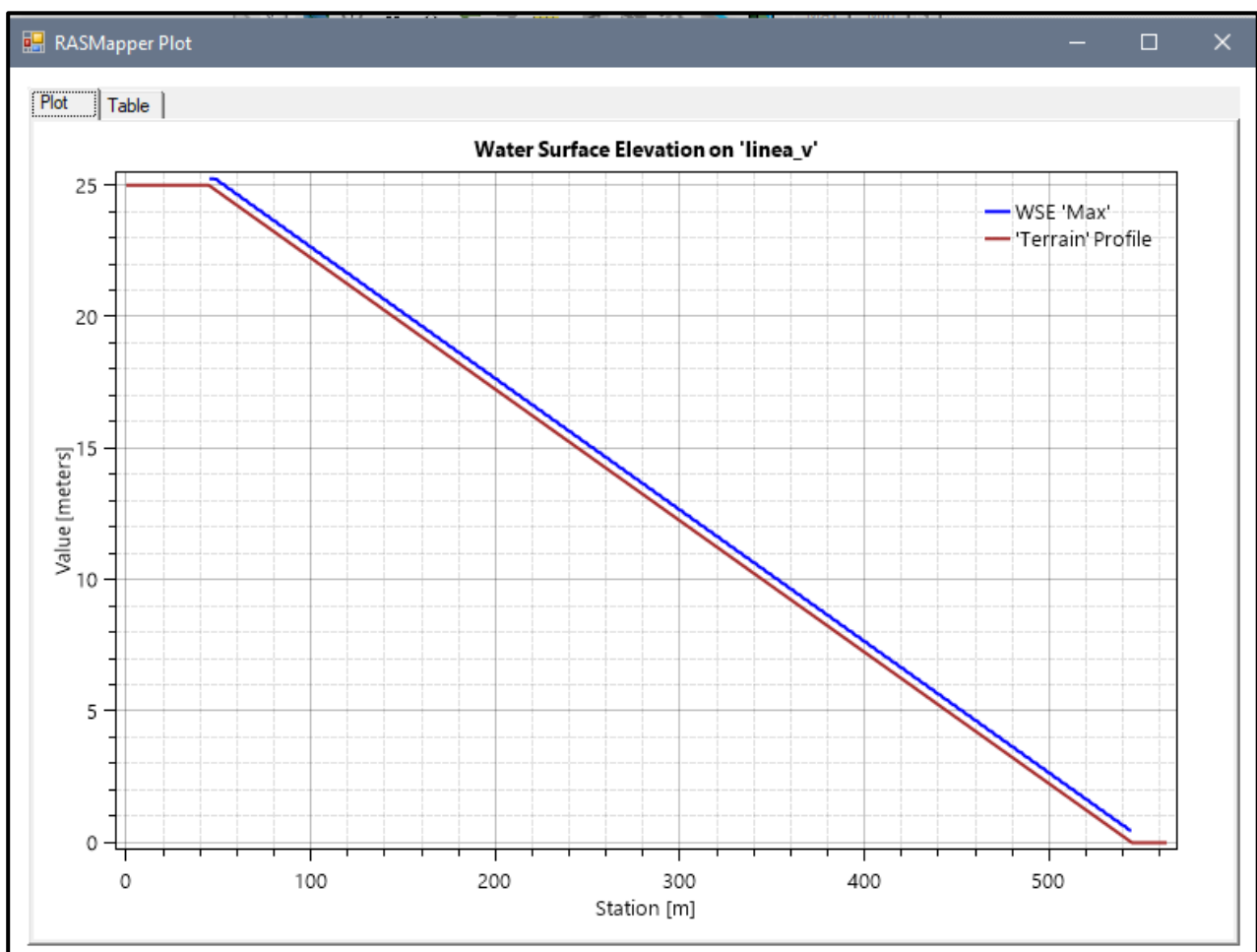


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 19

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 48 Gráfico de resultados del Modelo N°19

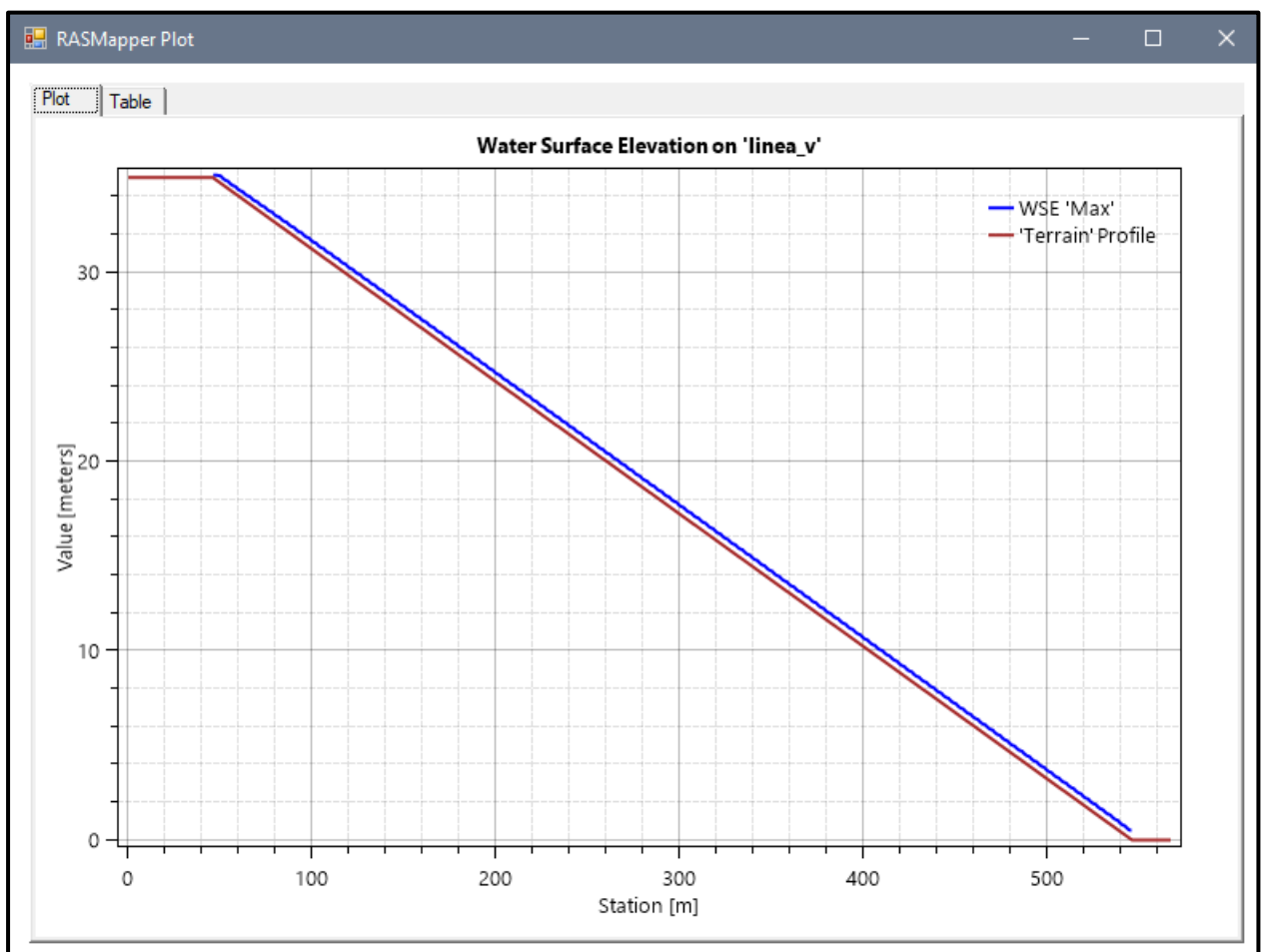


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 20

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 49 Gráfico de resultados del Modelo N°20

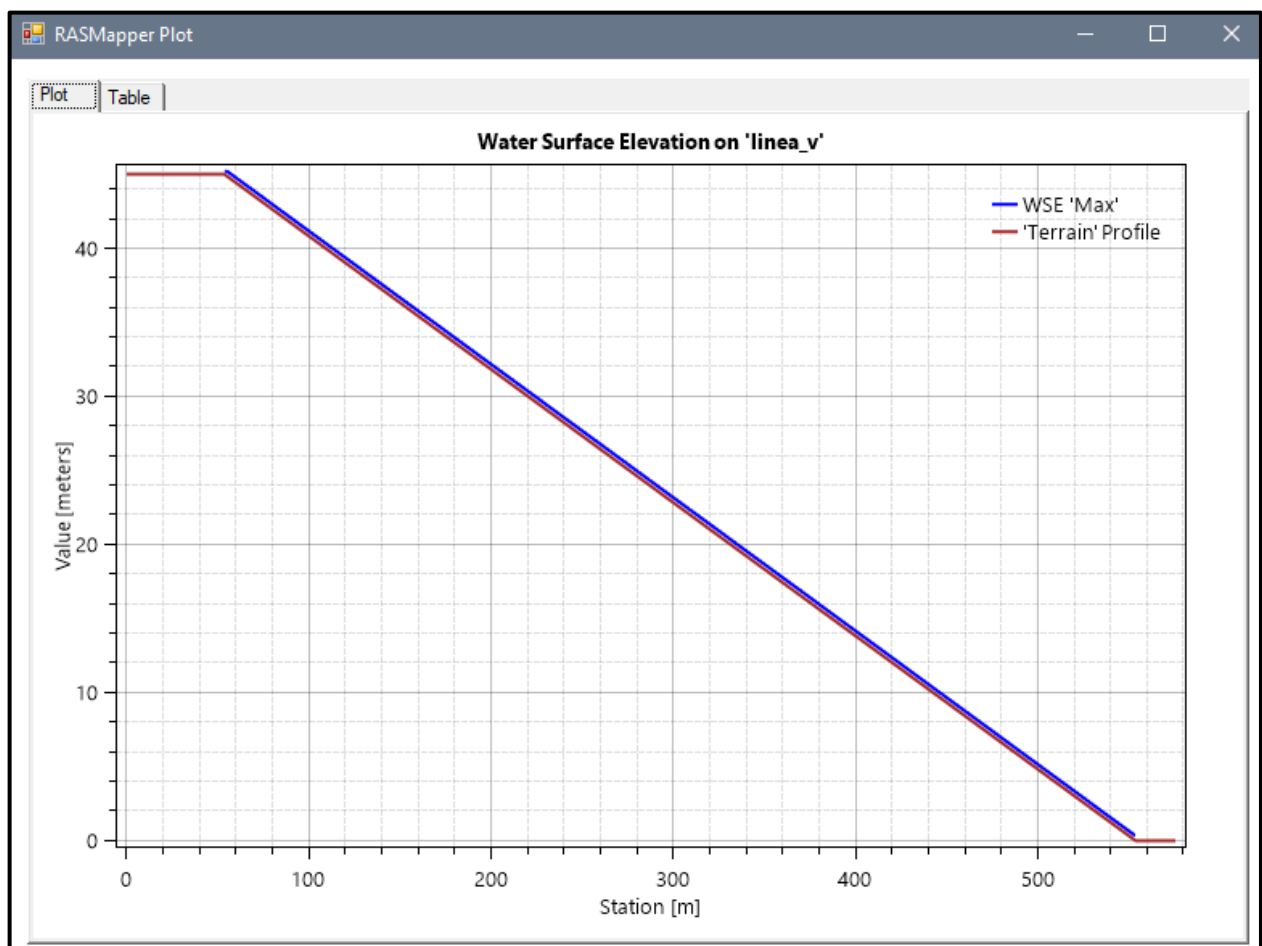


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 21

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

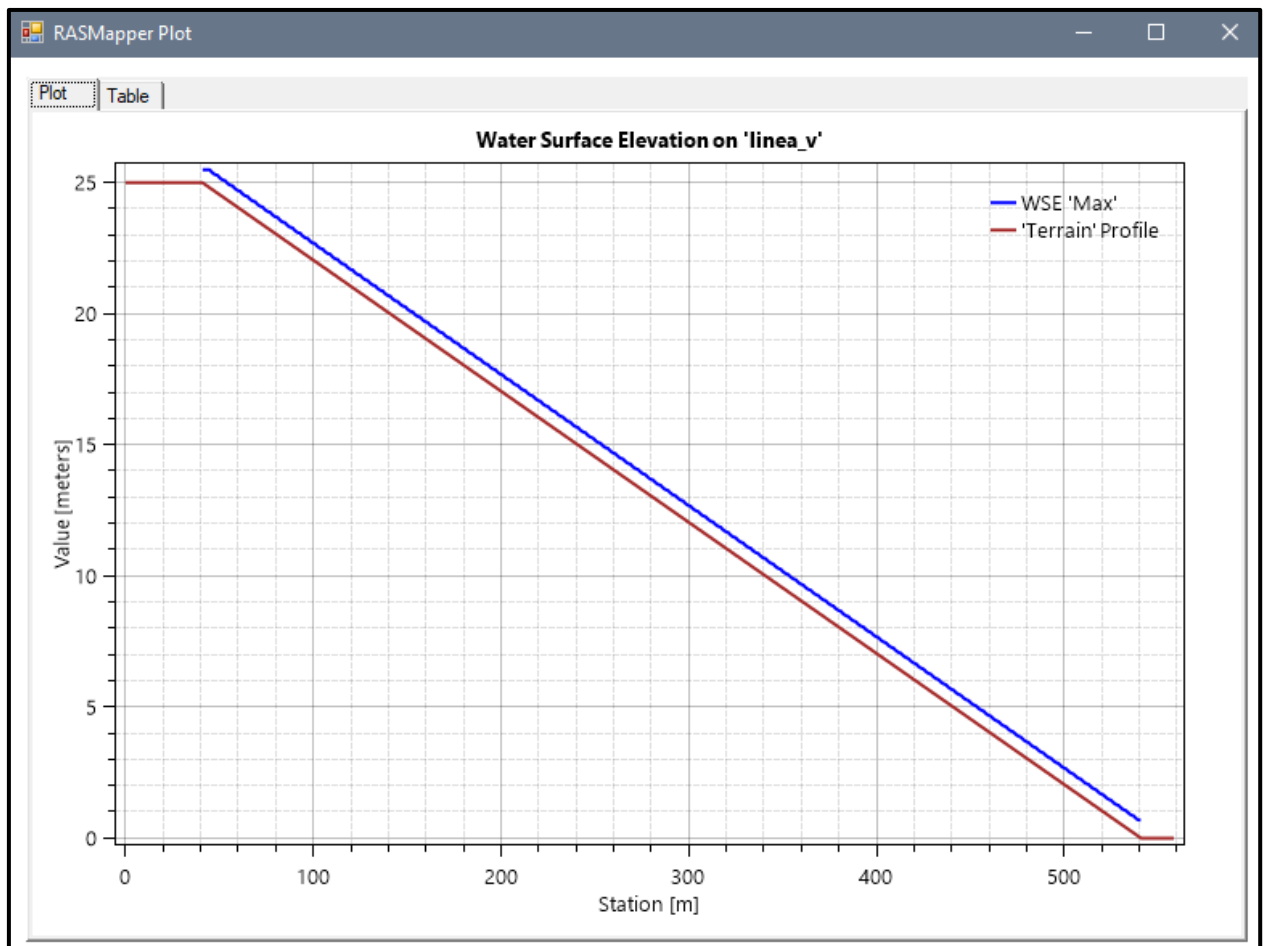
Figura N° 50 Gráfico de resultados del Modelo N°21



Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 22

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

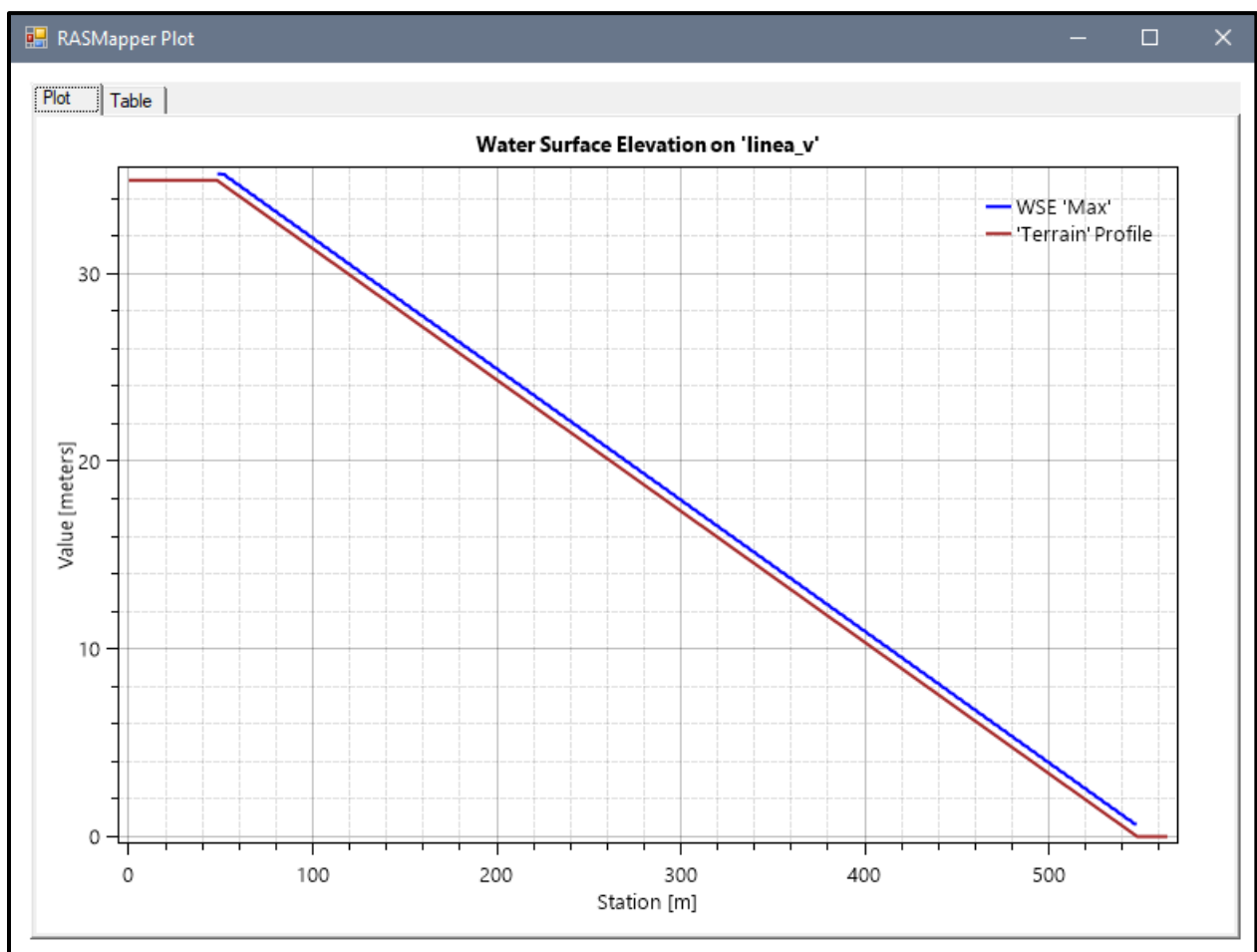
Figura N° 51 Gráfico de resultados del Modelo N°22

Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 23

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 52 Gráfico de resultados del Modelo N°23

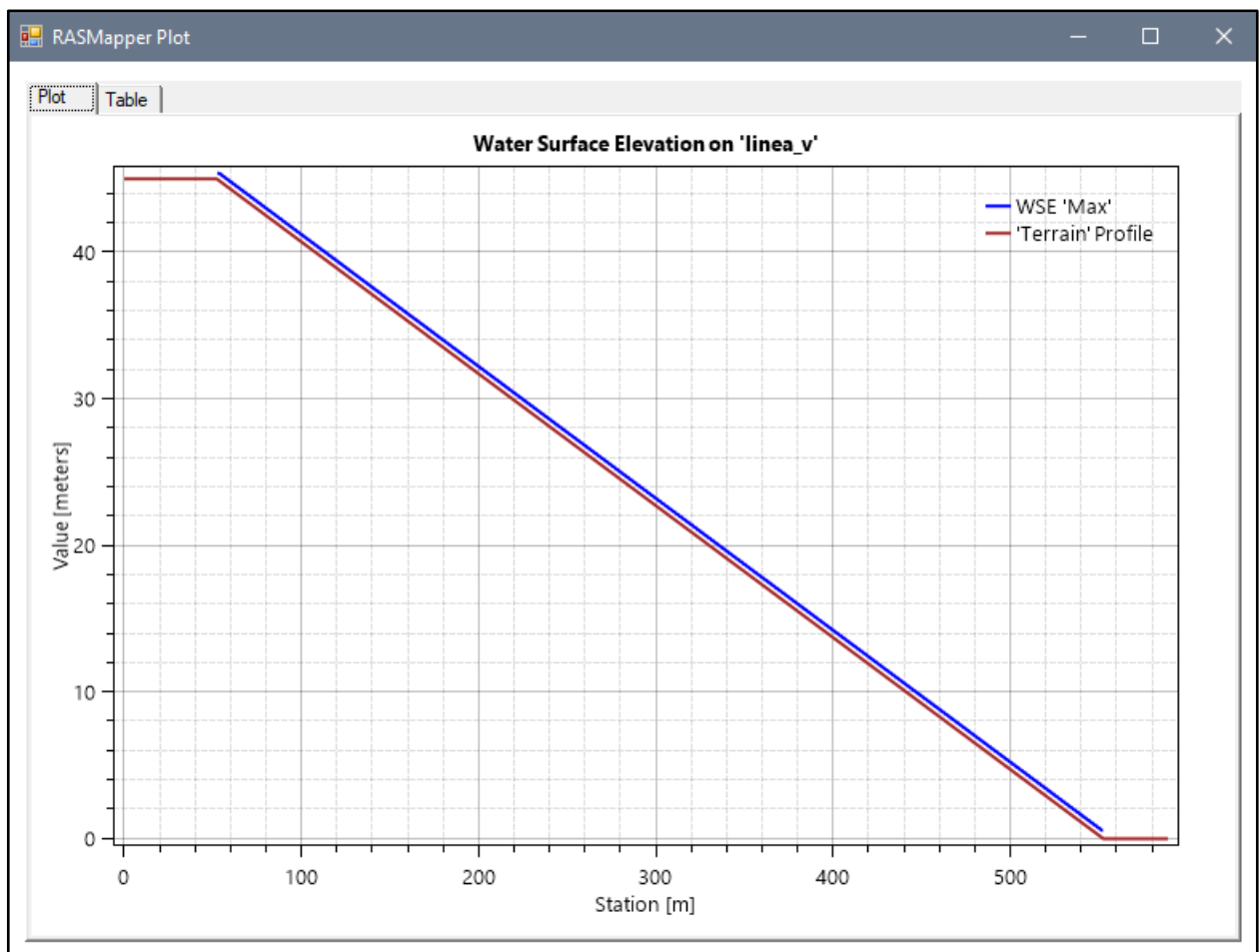


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 24

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

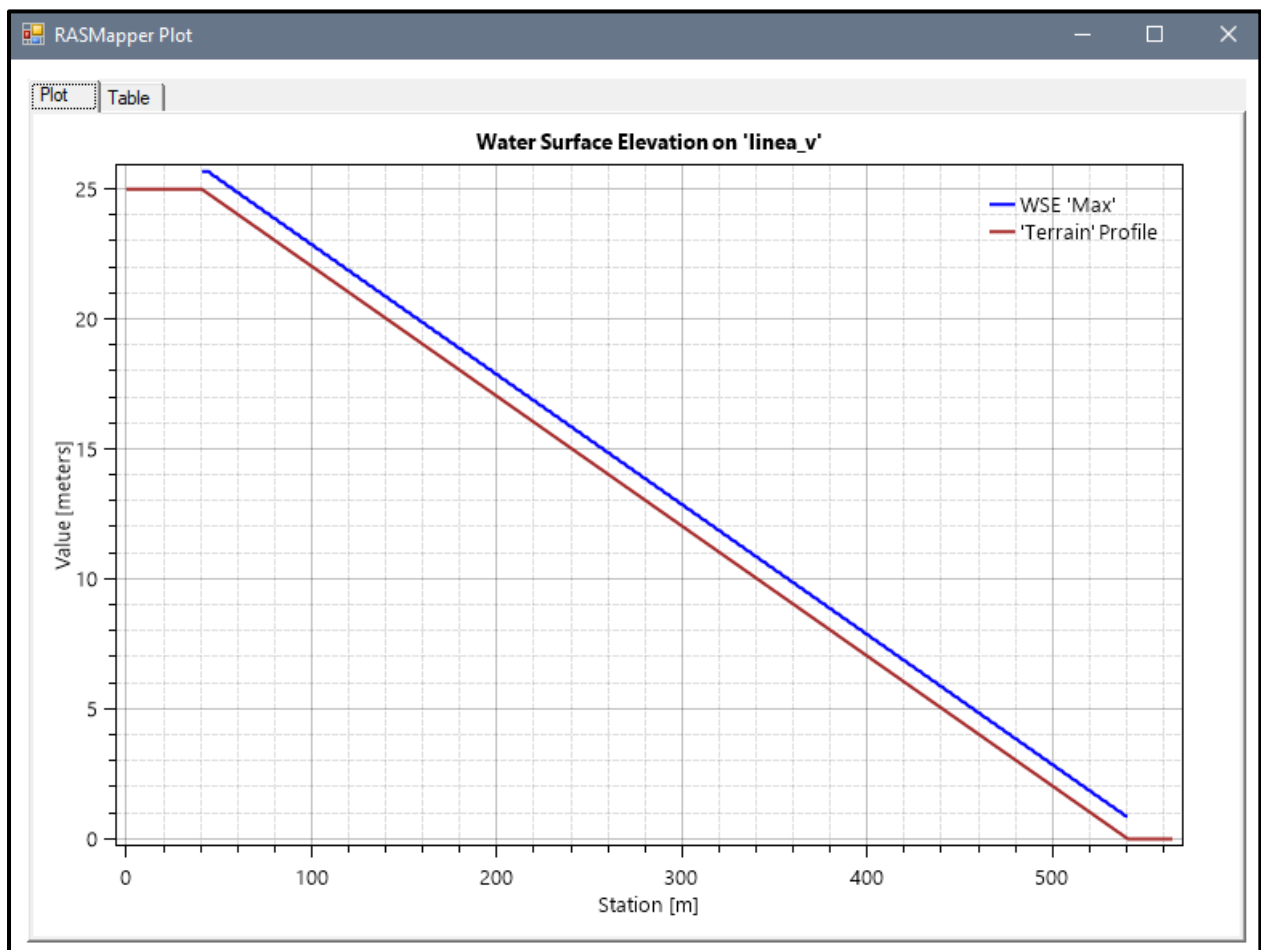
Figura N° 53 Gráfico de resultados del Modelo N°24



Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 25

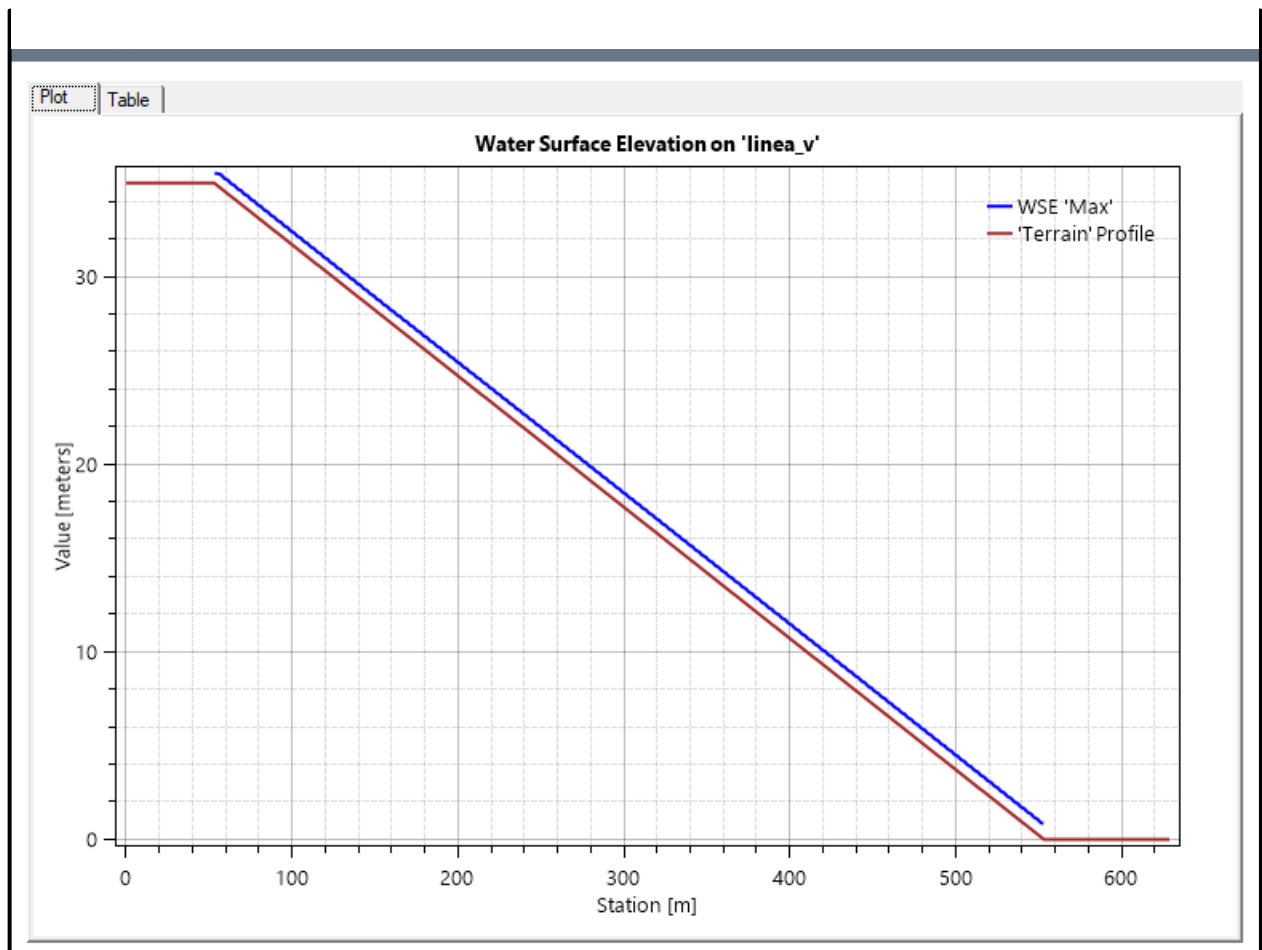
- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 54 Gráfico de resultados del Modelo N°25

Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 26

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 55 Gráfico de resultados del Modelo N°26

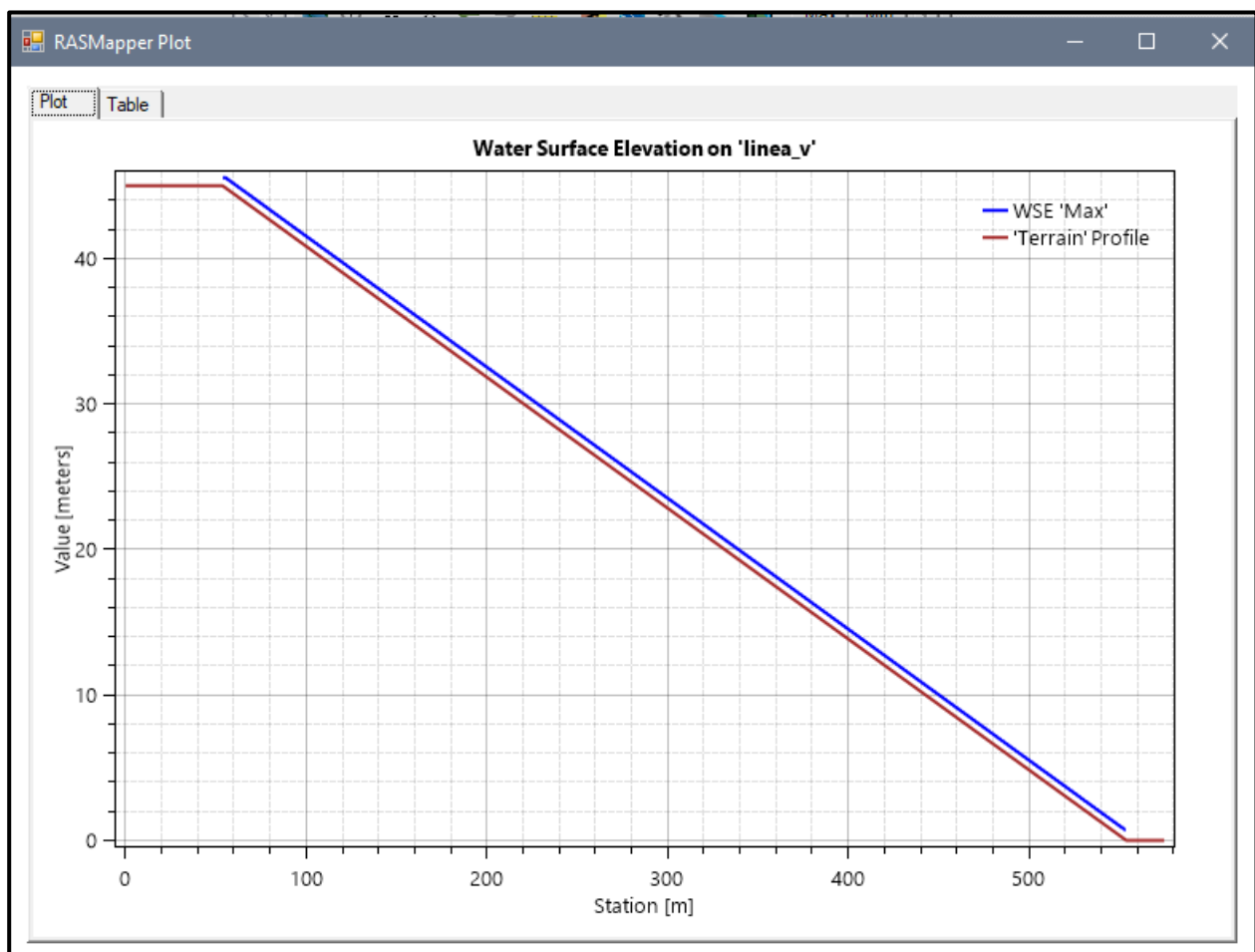
Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 27

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2

Figura N° 56 Gráfico de resultados del Modelo N°27

- Rugosidad: 0.040



Fuente: Elaboración propia

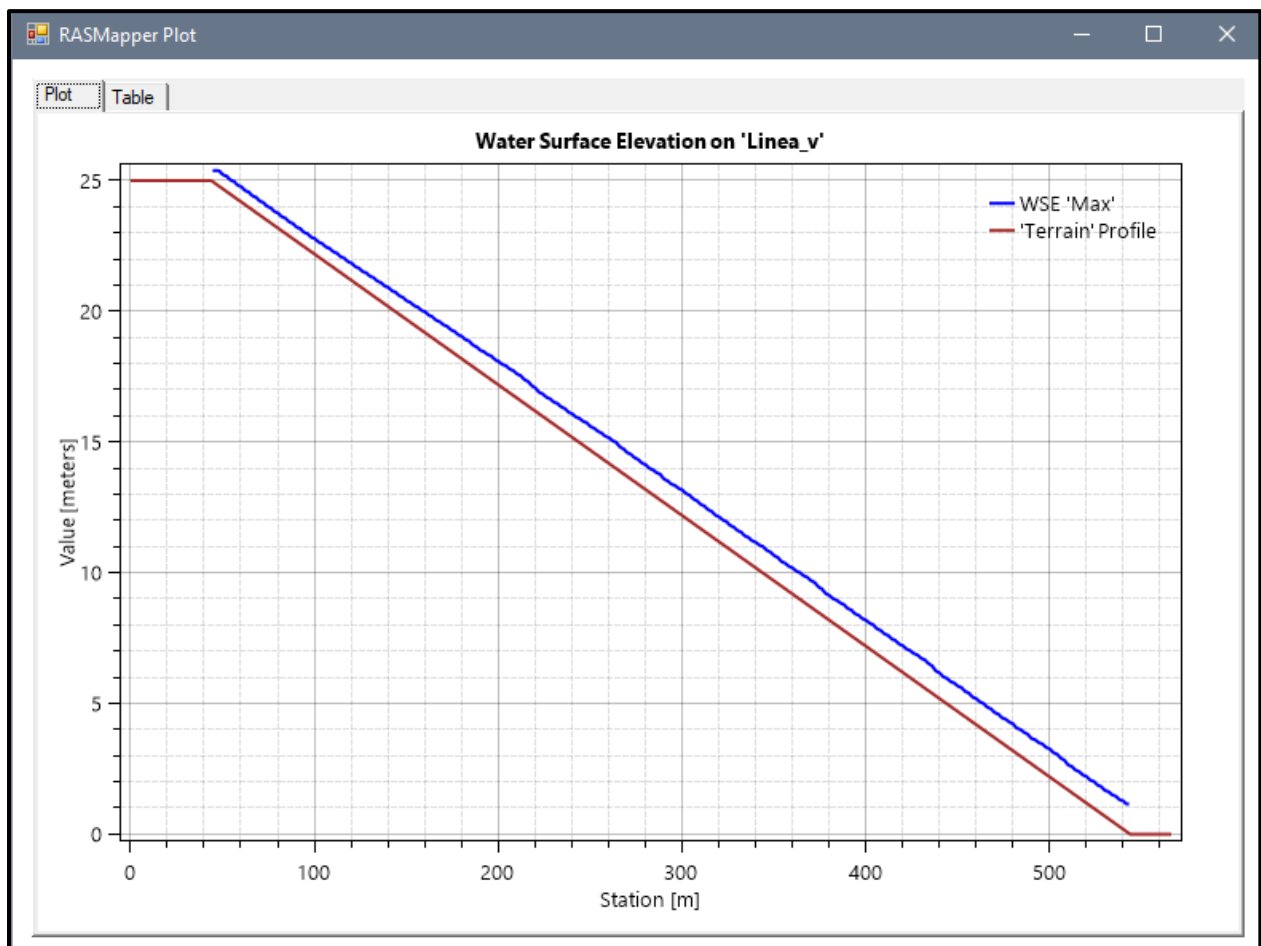
ECUACIÓN "DIFFUSION WAVE"

En los siguientes 27 modelos se le agrego las concentraciones volumétricas para así evaluar el comportamiento del tirante y velocidad.

MODELO N°1

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- $C_v = 0.35$

Figura N° 57 Gráfico de resultados del Modelo N°1 adicionando C_v

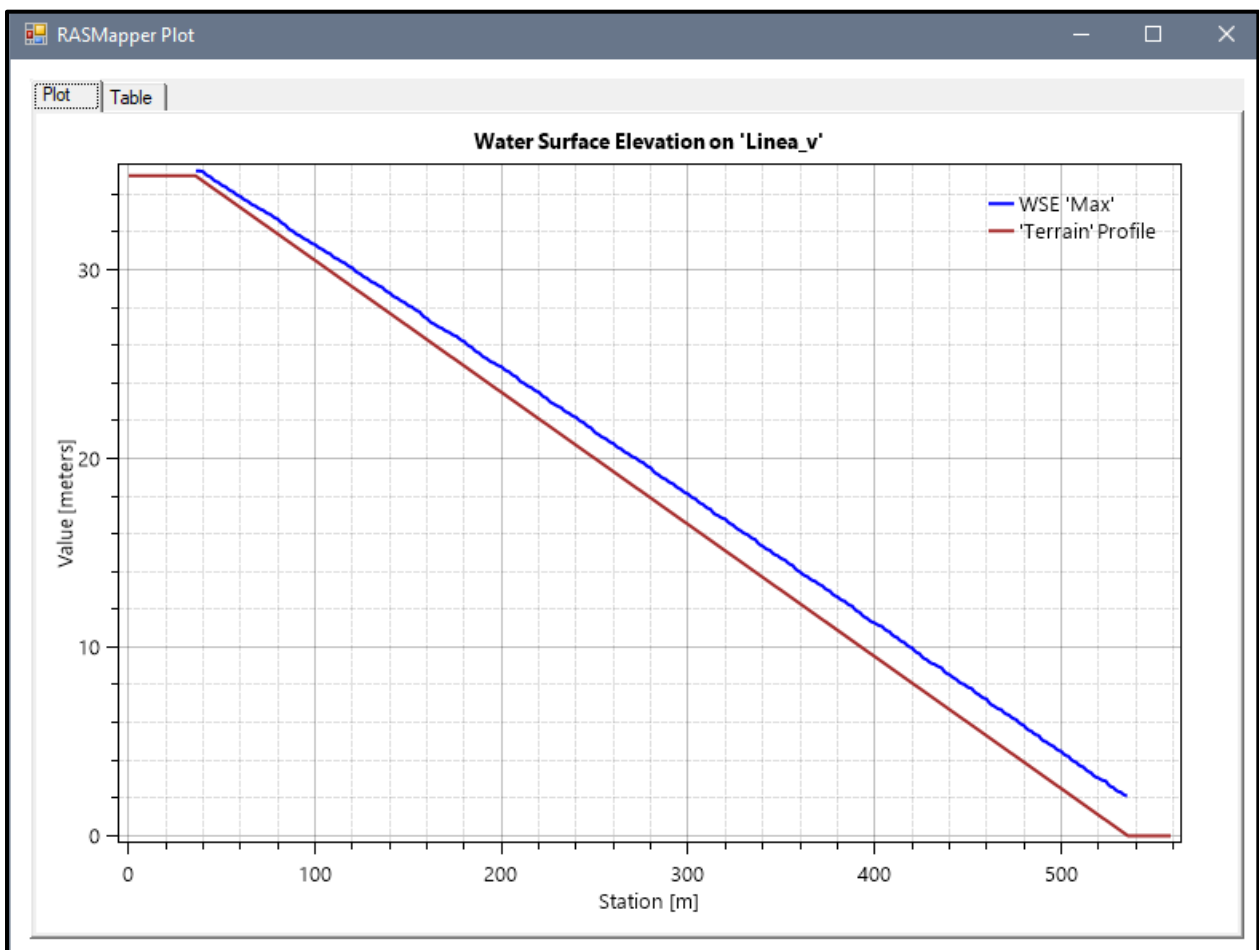


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°2

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 58 Gráfico de resultados del Modelo N°2 adicionando Cv

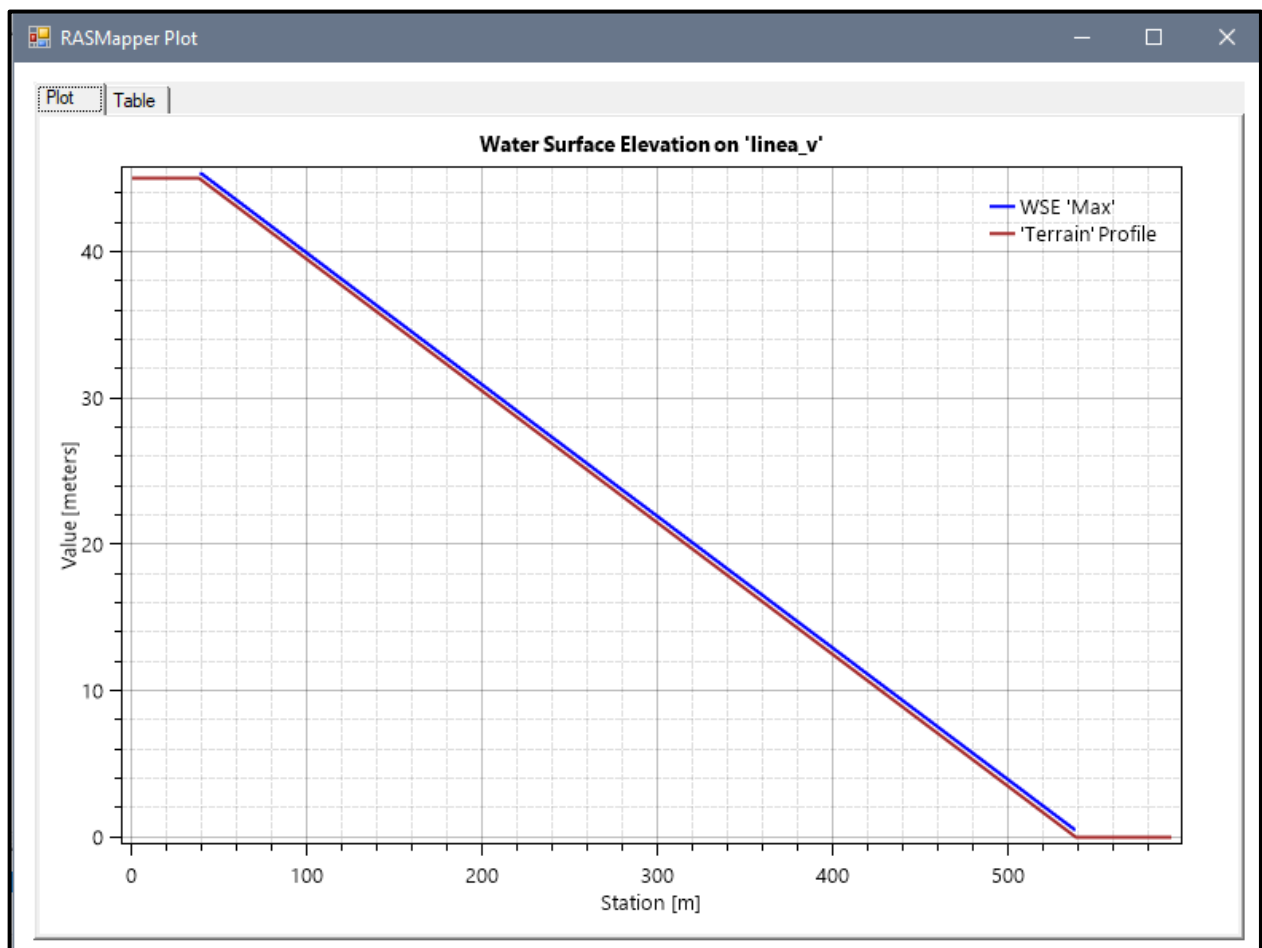


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°3

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 59 Gráfico de resultados del Modelo N°3 adicionando Cv

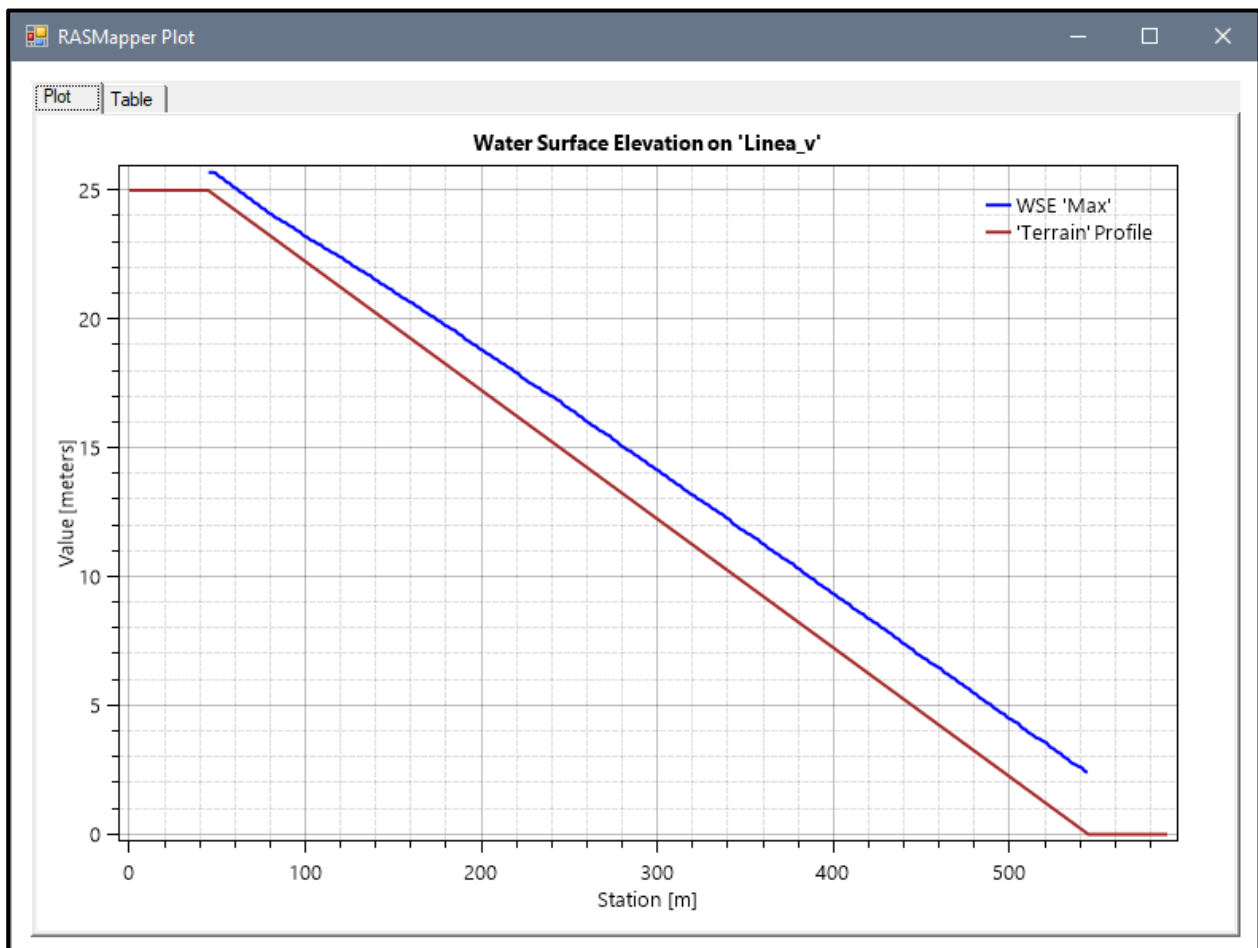


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°4

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 60 Gráfico de resultados del Modelo N°4 adicionando Cv

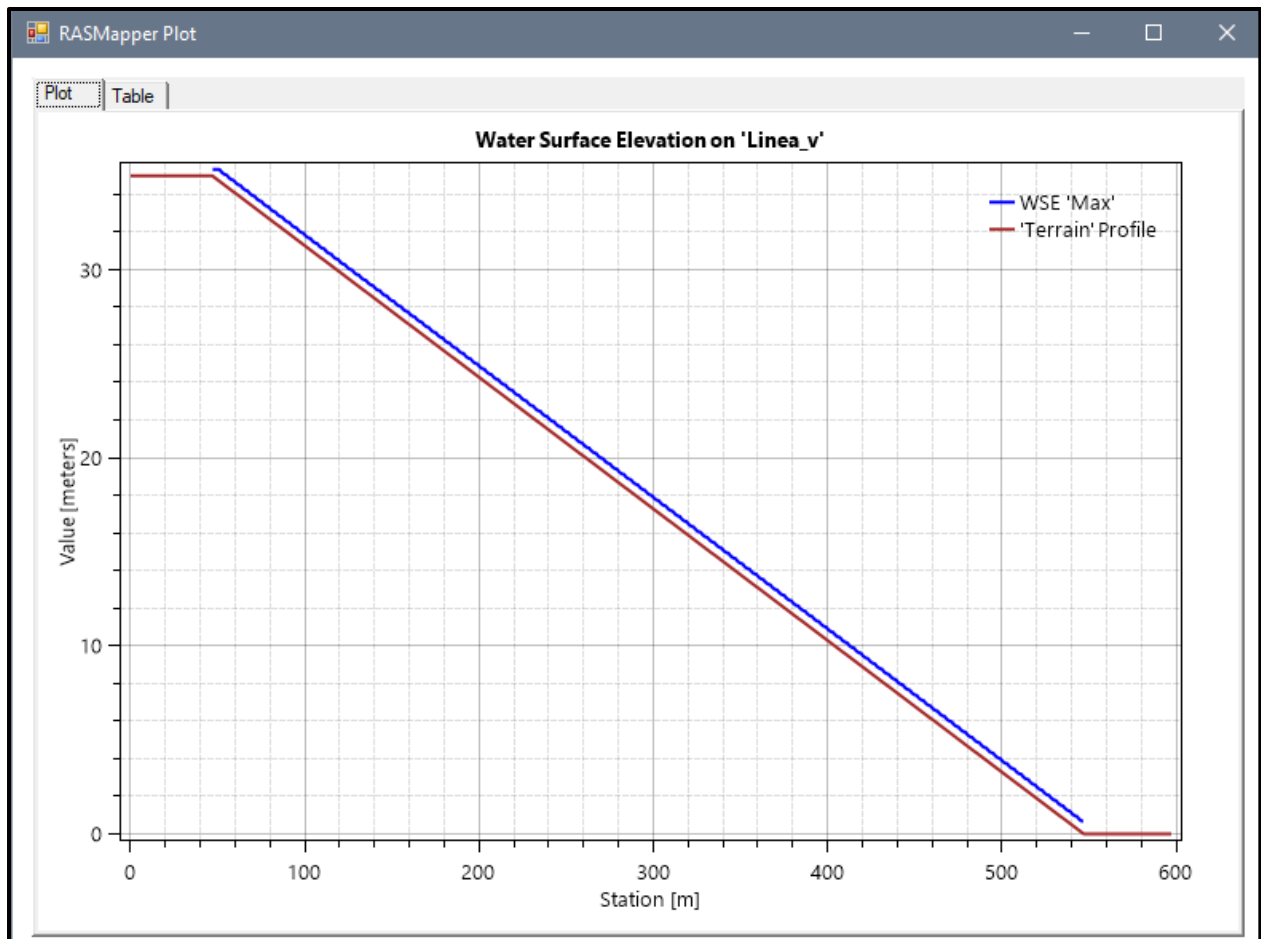


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°5

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 61 Gráfico de resultados del Modelo N°5 adicionando Cv

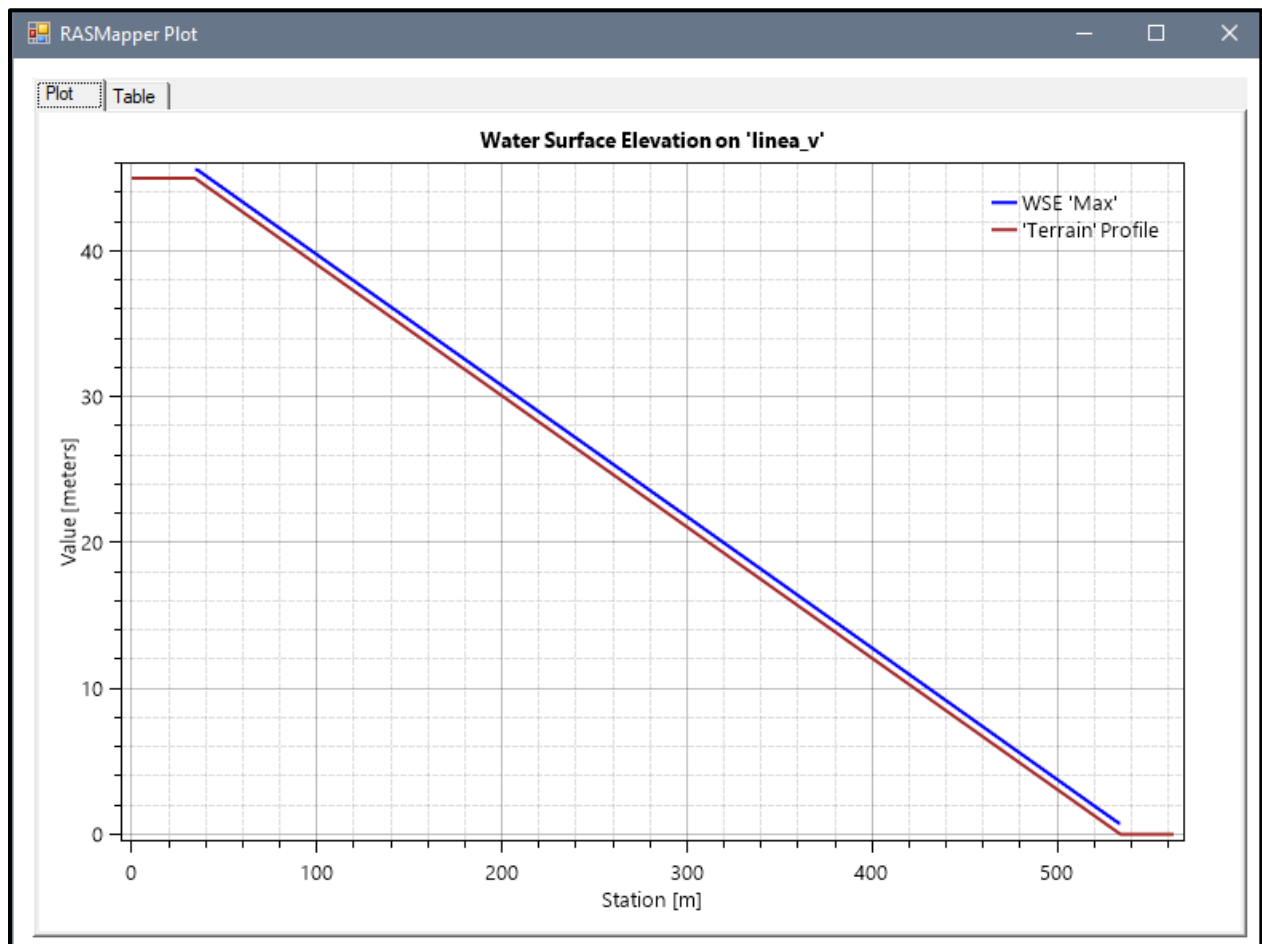


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°6

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- $C_v=0.35$

Figura N° 62 Gráfico de resultados del Modelo N°6 adicionando C_v

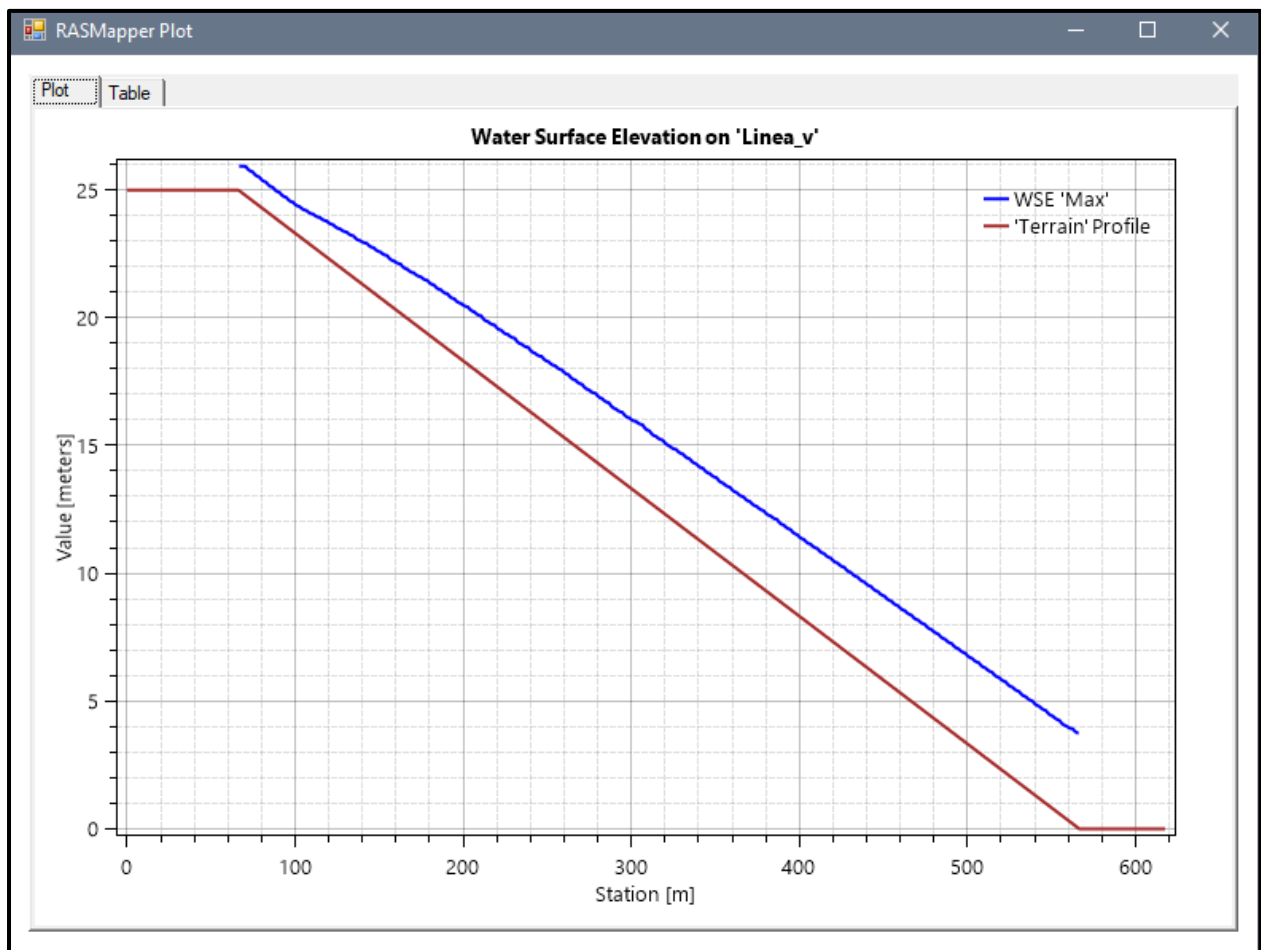


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°7

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 63 Gráfico de resultados del Modelo N°7 adicionando Cv

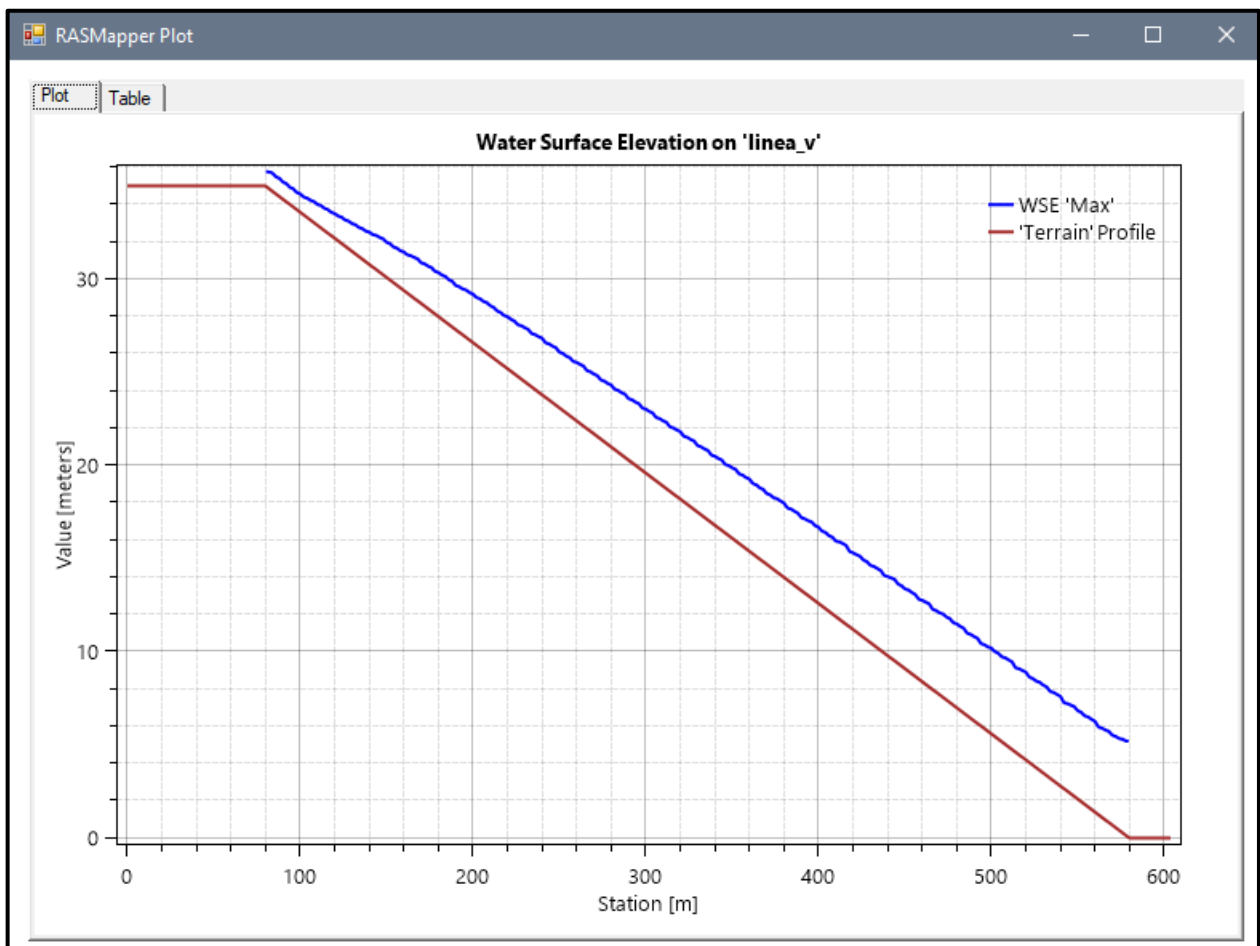


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°8

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 64 Gráfico de resultados del Modelo N°8 adicionando Cv

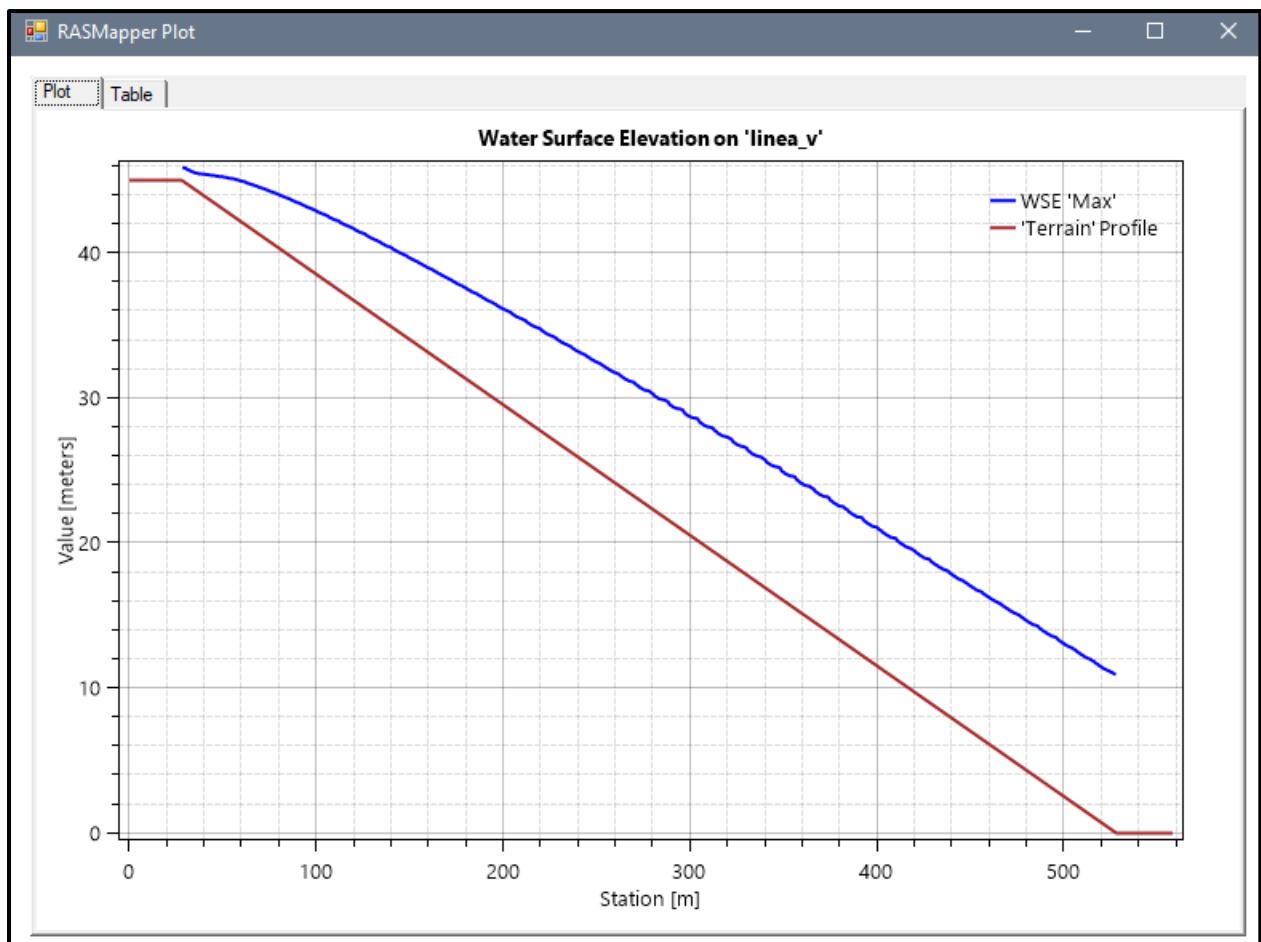


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°9

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 65 Gráfico de resultados del Modelo N°9 adicionando Cv

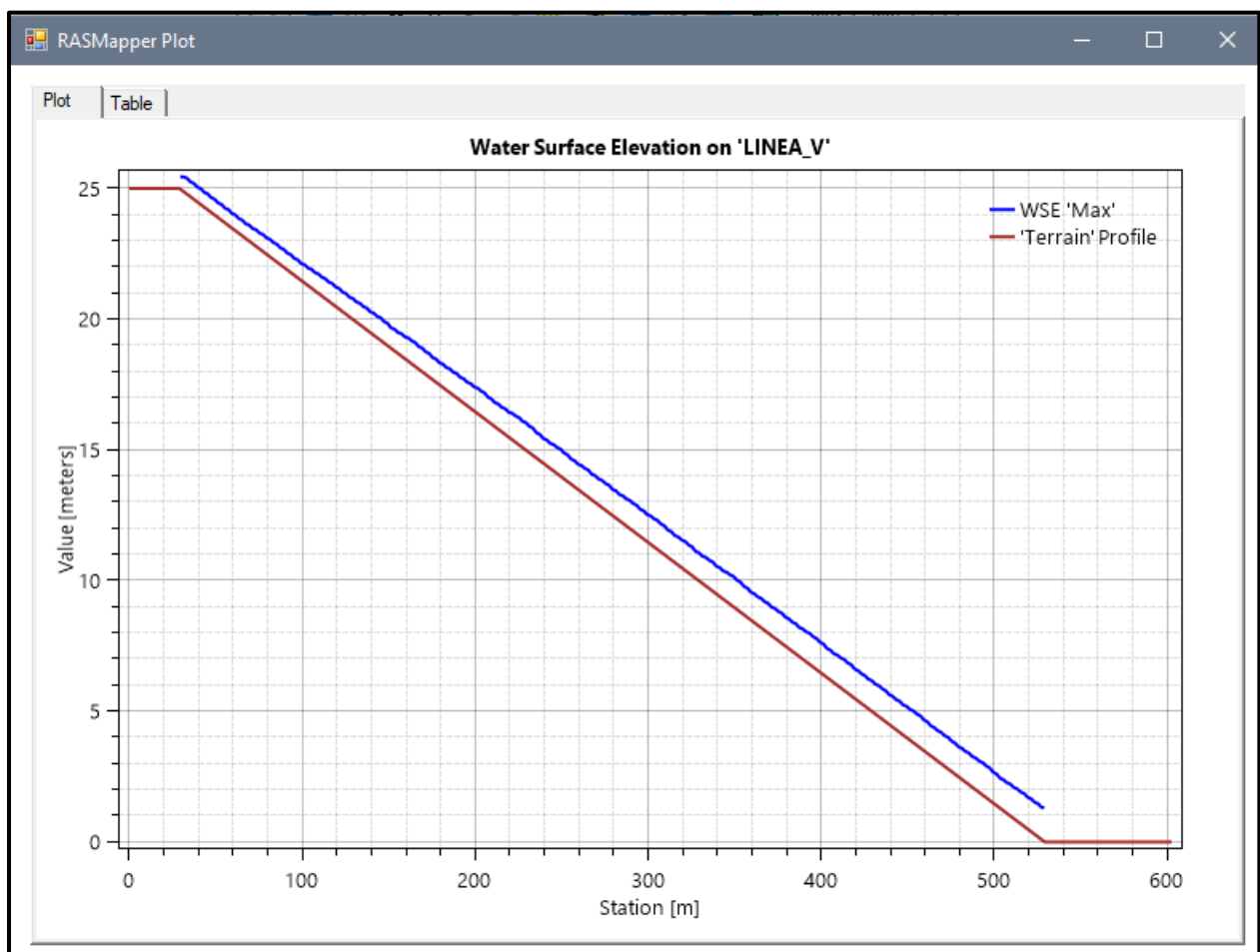


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 10

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s²
- Rugosidad: 0.040
- $C_v = 0.45$

Figura N° 66 Gráfico de resultados del Modelo N°10 adicionando C_v

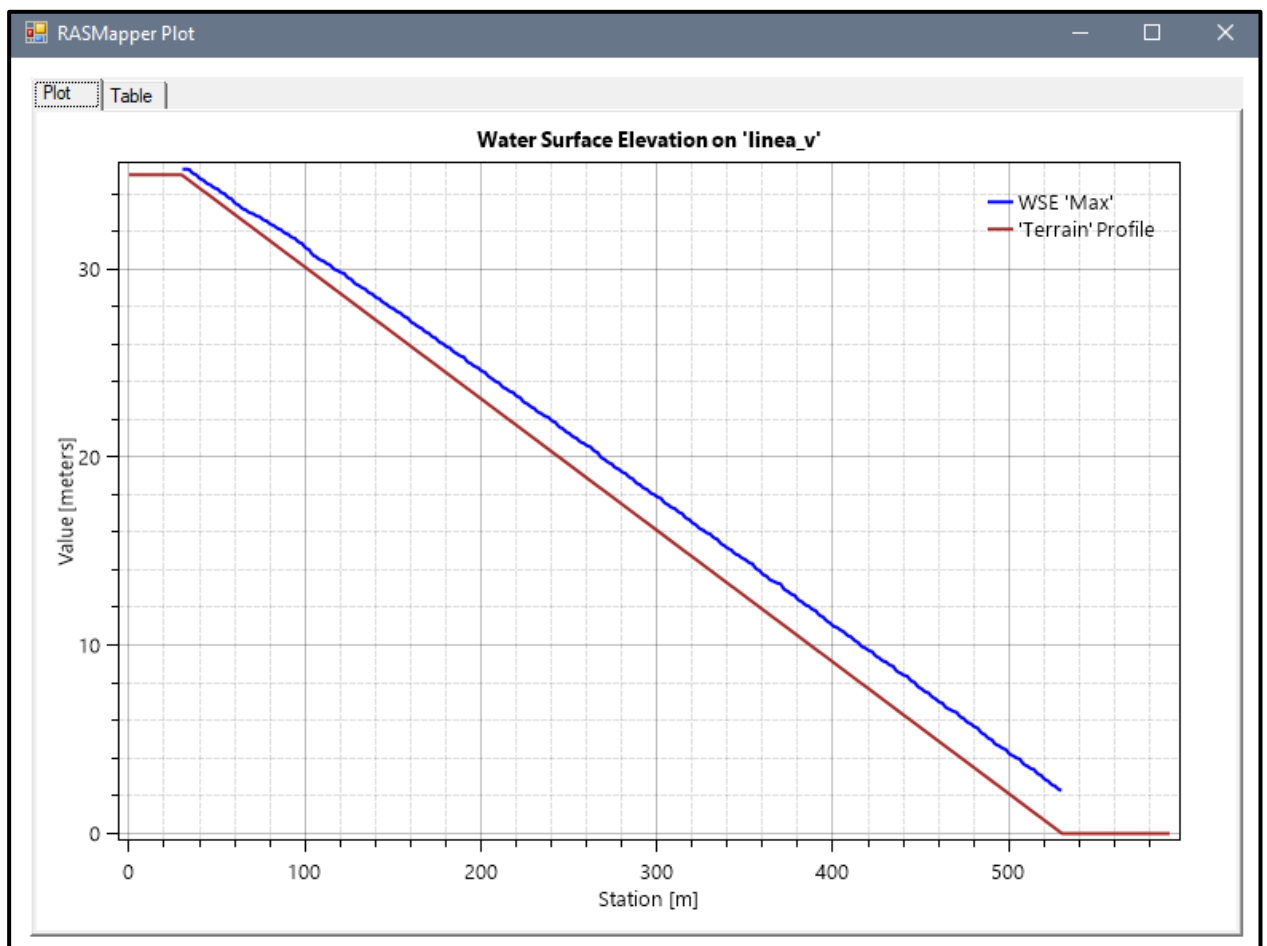


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 11

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 67 Gráfico de resultados del Modelo N°11 adicionando Cv

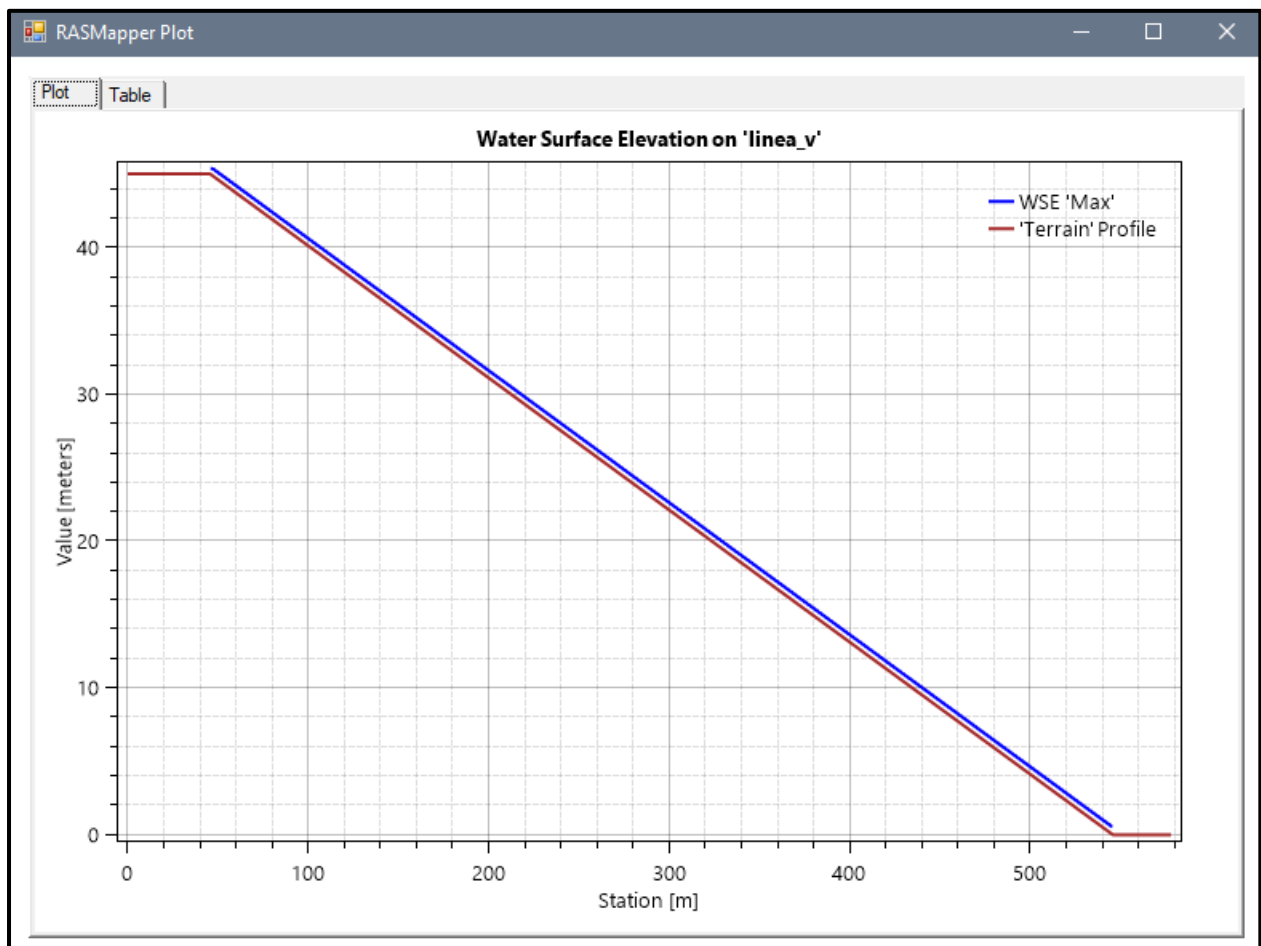


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 12

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 100m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 68 Gráfico de resultados del Modelo N°12 adicionando Cv

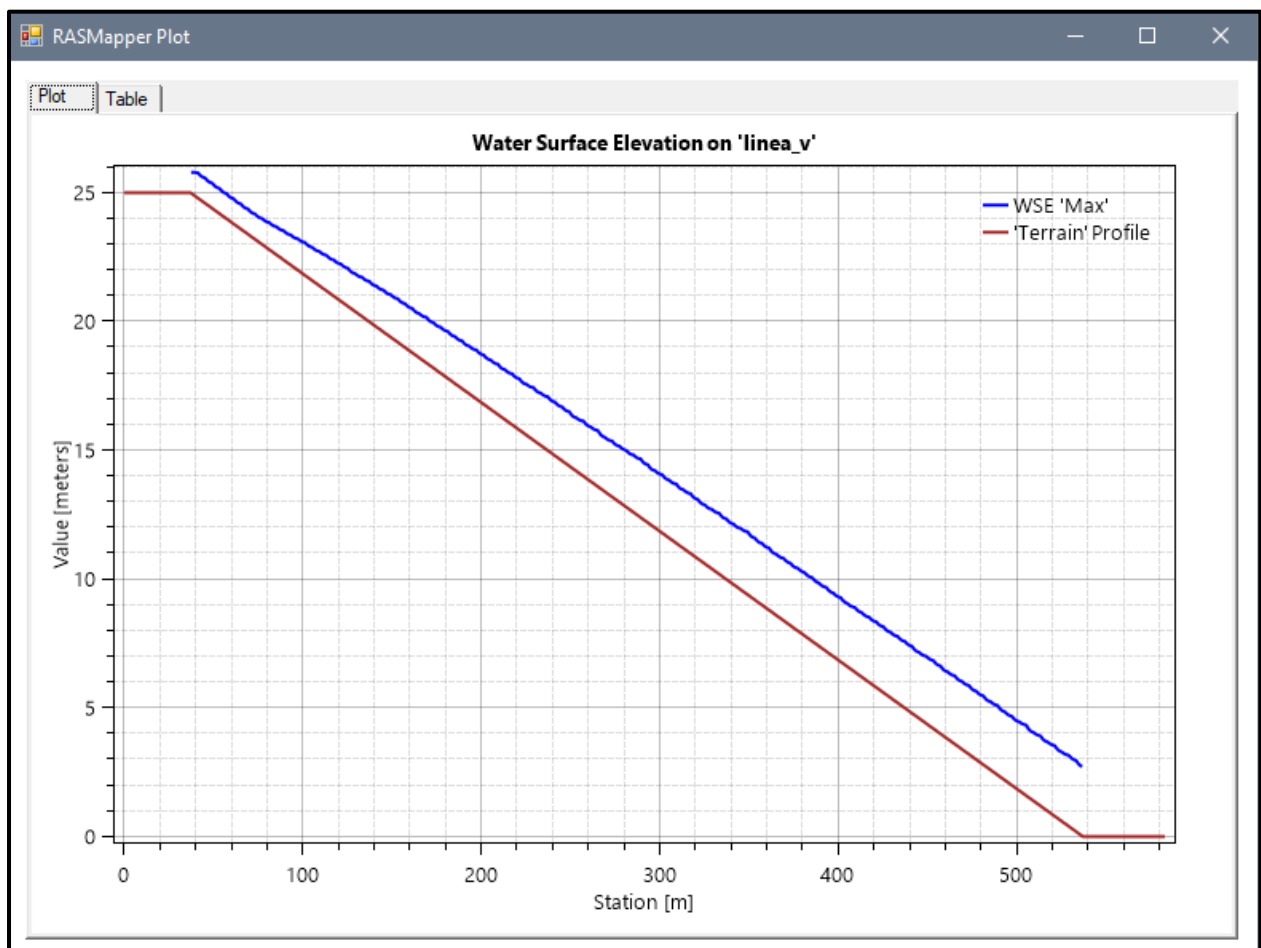


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 13

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 69 Gráfico de resultados del Modelo N°13 adicionando Cv

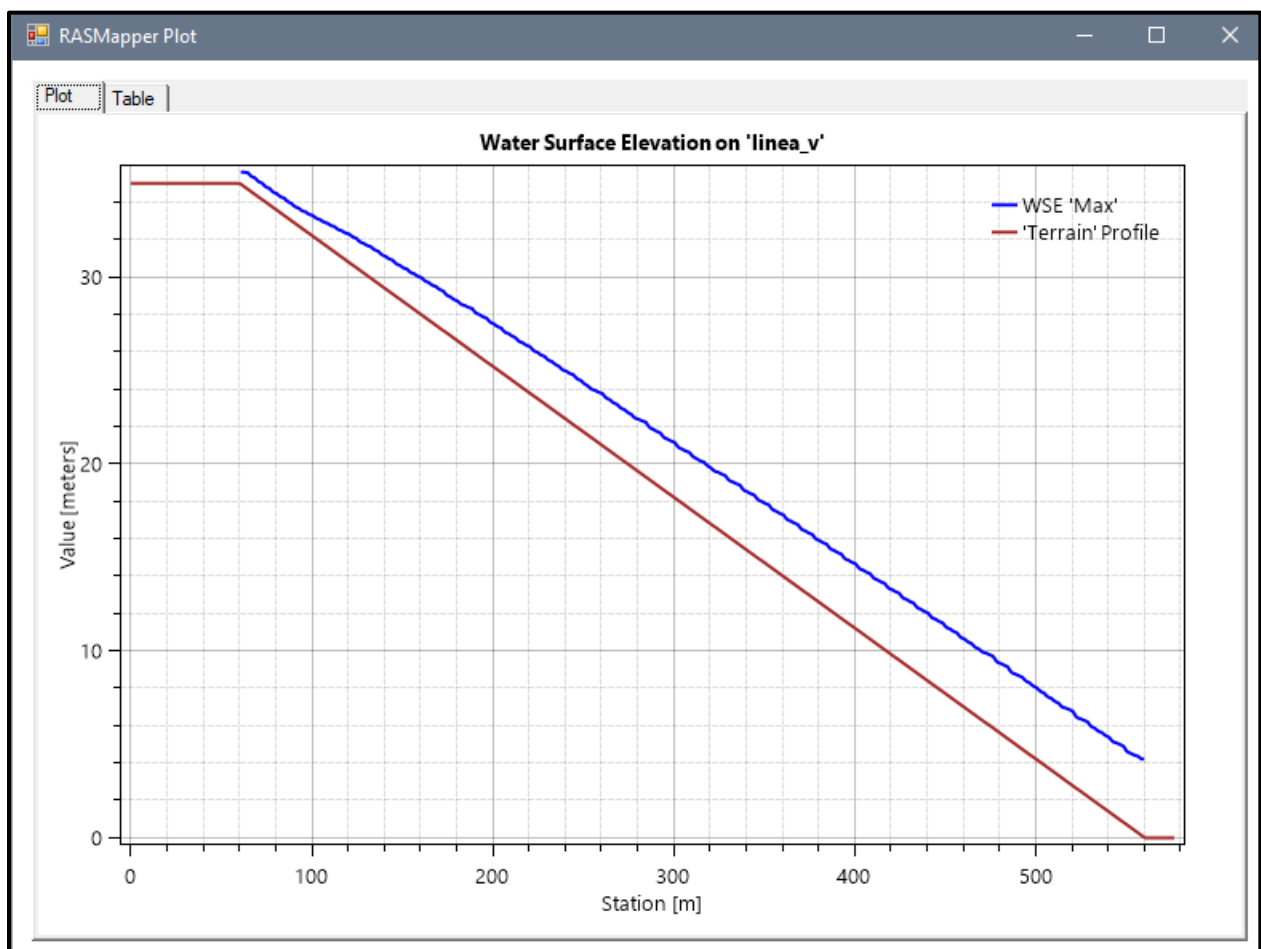


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 14

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 70 Gráfico de resultados del Modelo N°14 adicionando Cv

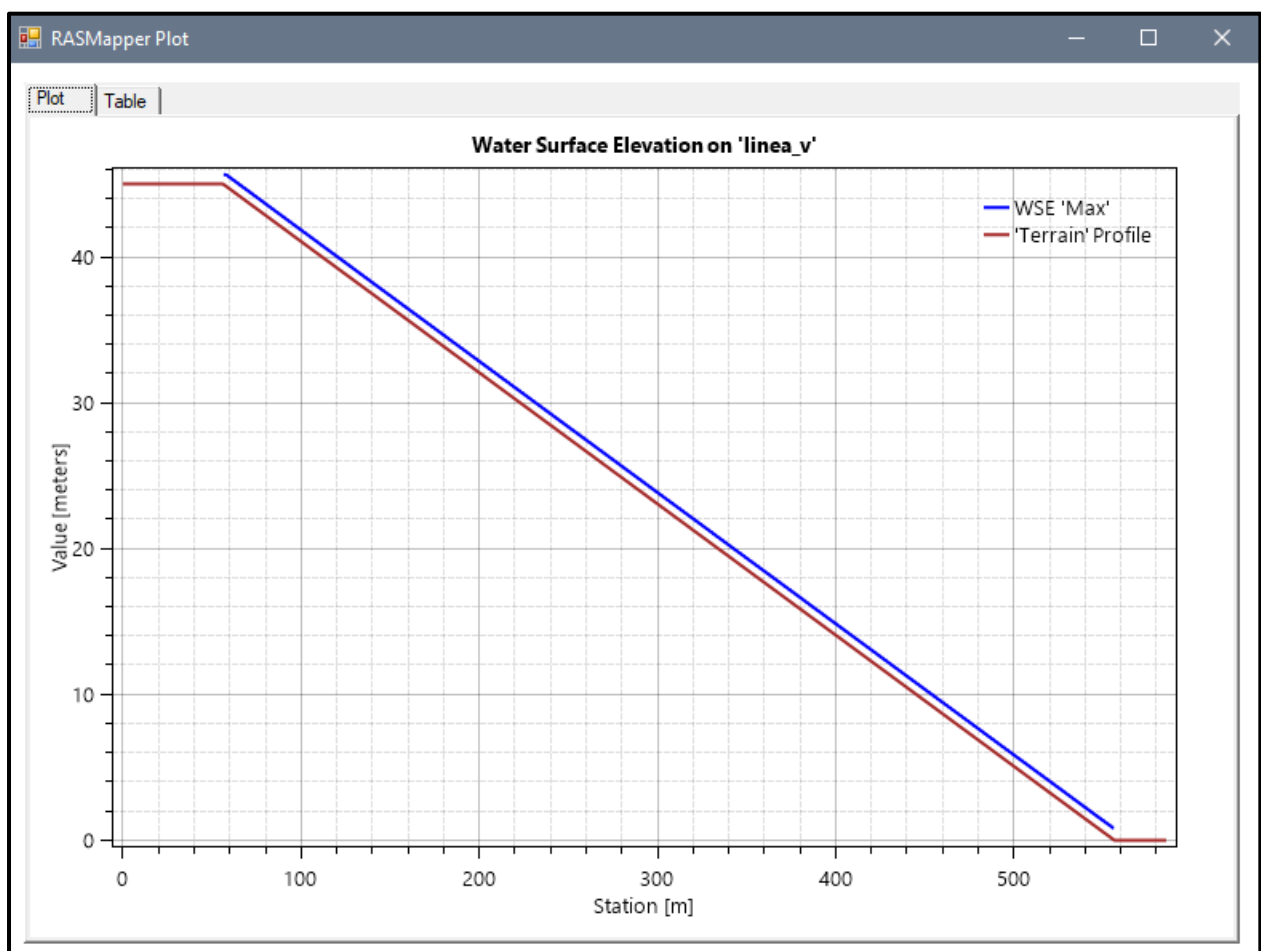


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 15

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 200m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 71 Gráfico de resultados del Modelo N°15 adicionando Cv

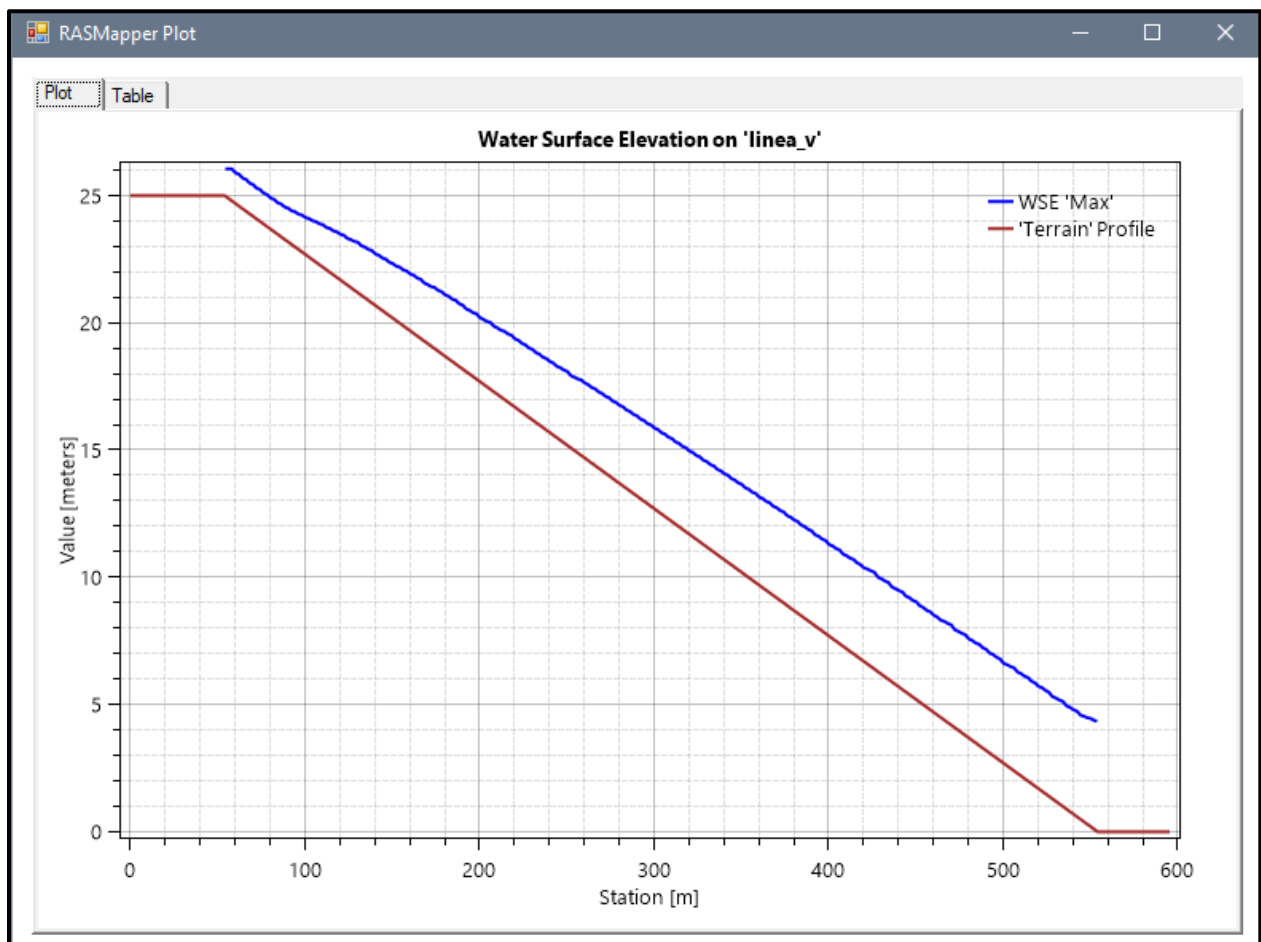


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 16

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 72 Gráfico de resultados del Modelo N°16 adicionando Cv

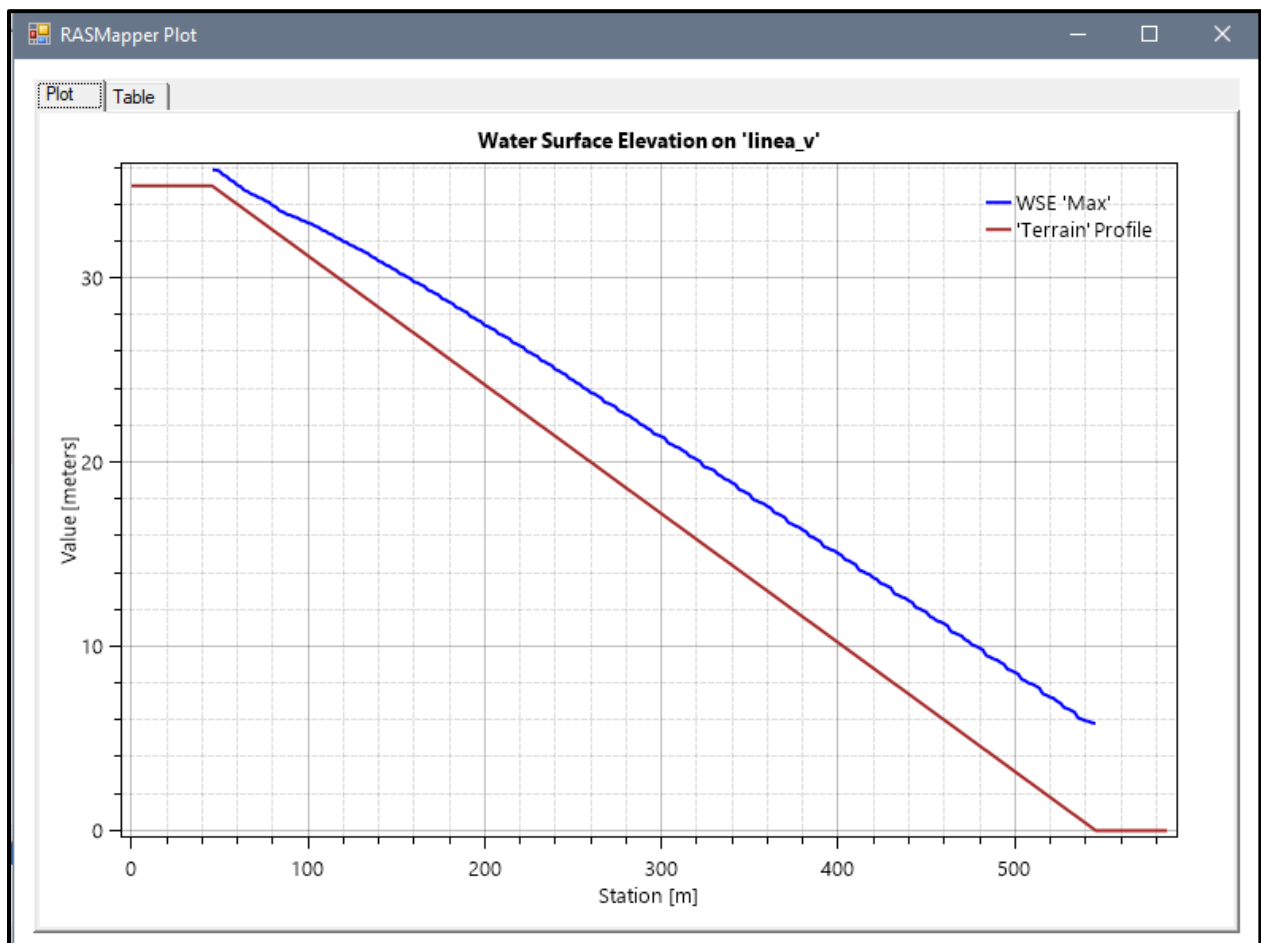


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 17

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 73 Gráfico de resultados del Modelo N°17 adicionando Cv

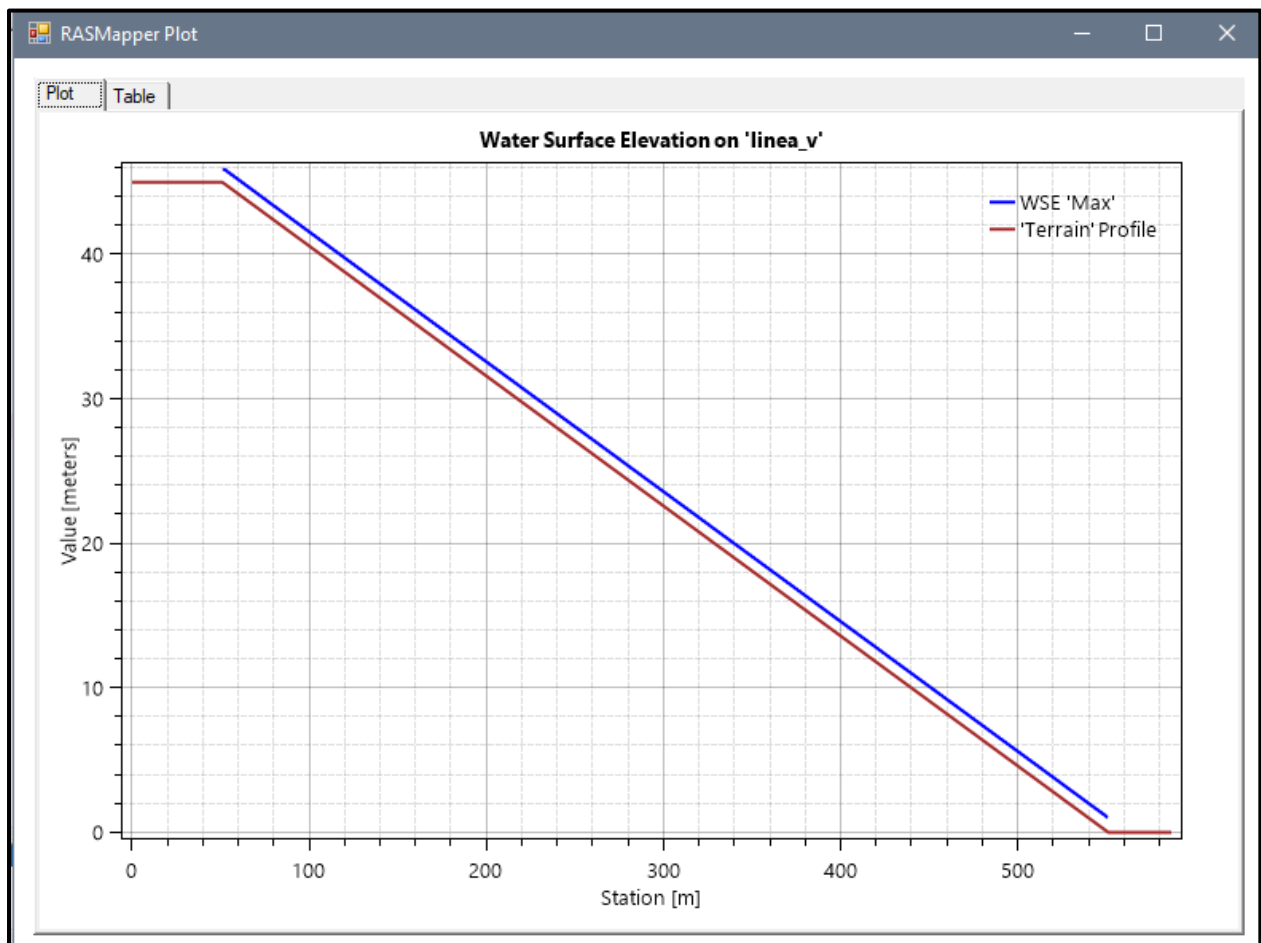


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 18

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 74 Gráfico de resultados del Modelo N°18 adicionando Cv

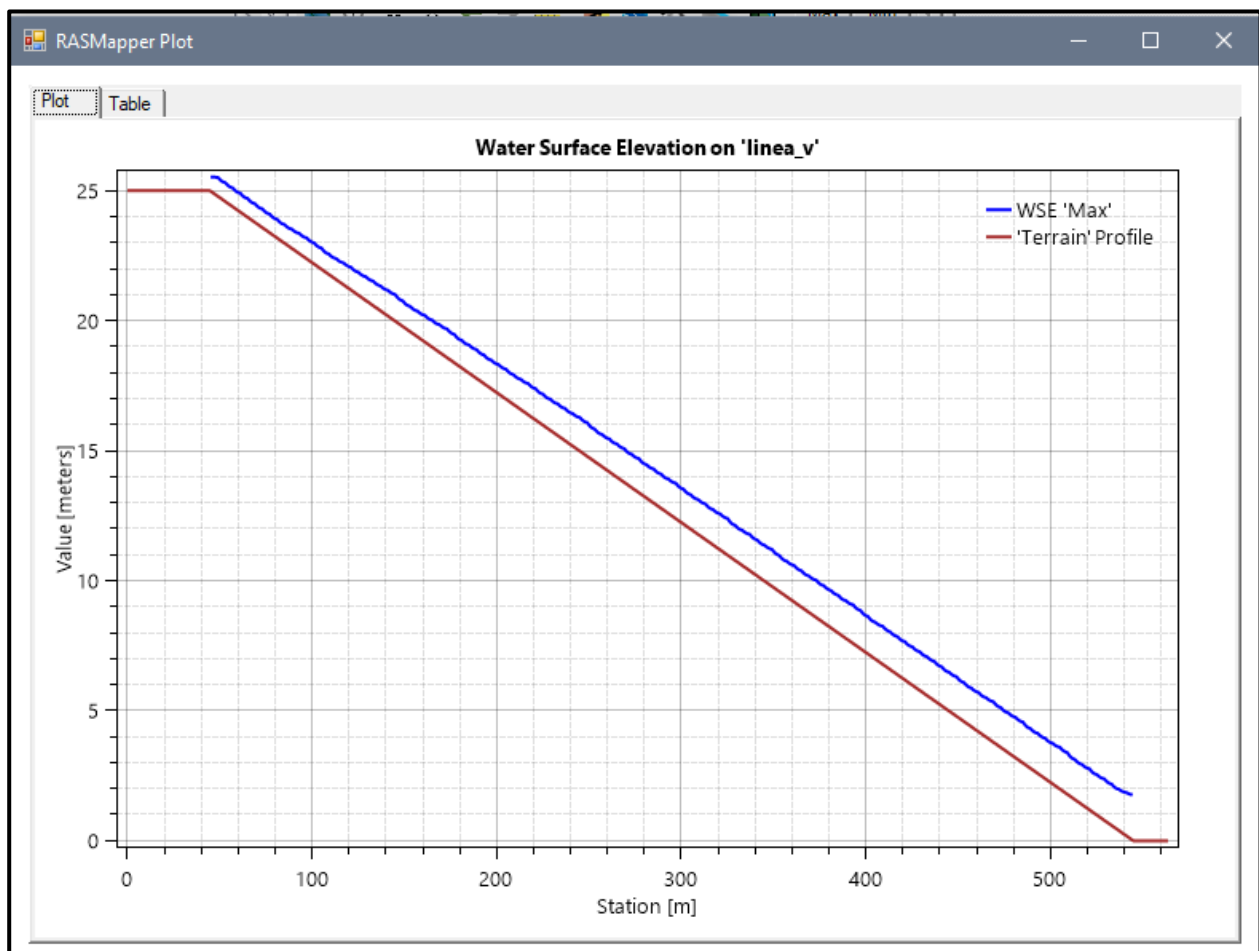


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 19

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 75 Gráfico de resultados del Modelo N°19 adicionando Cv

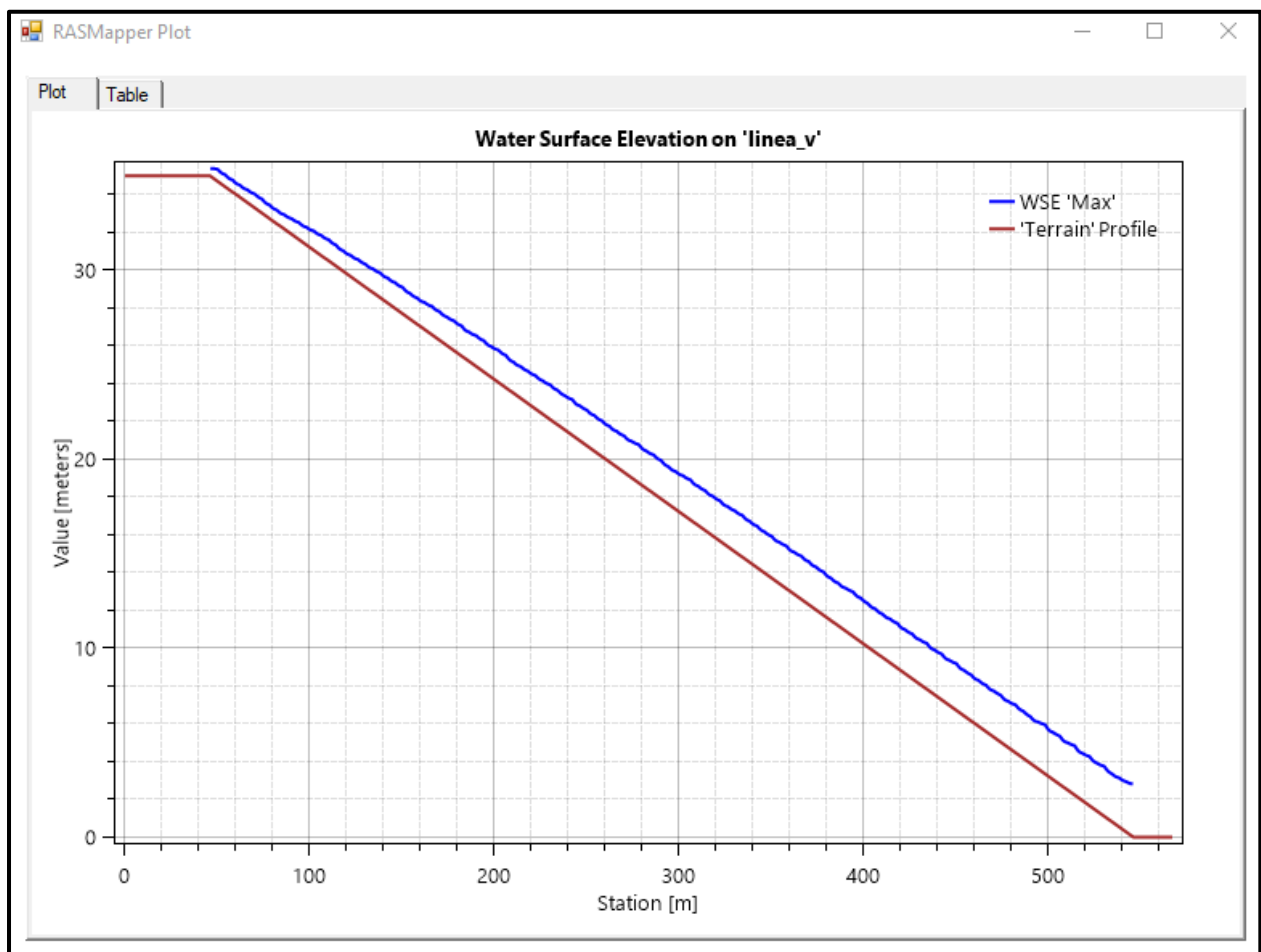


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 20

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 76 Gráfico de resultados del Modelo N°20 adicionando Cv

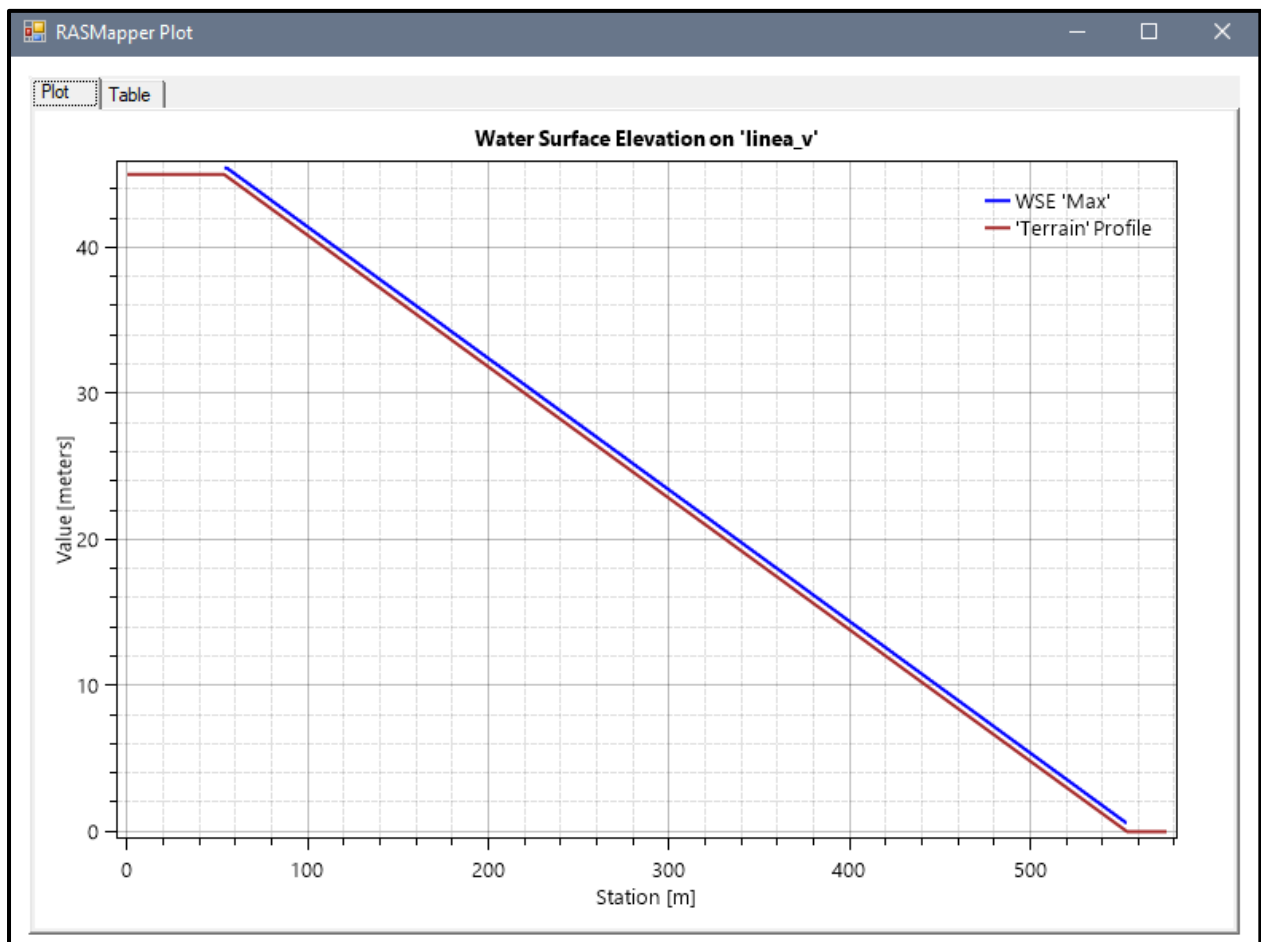


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 21

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 77 Gráfico de resultados del Modelo N°21 adicionando Cv

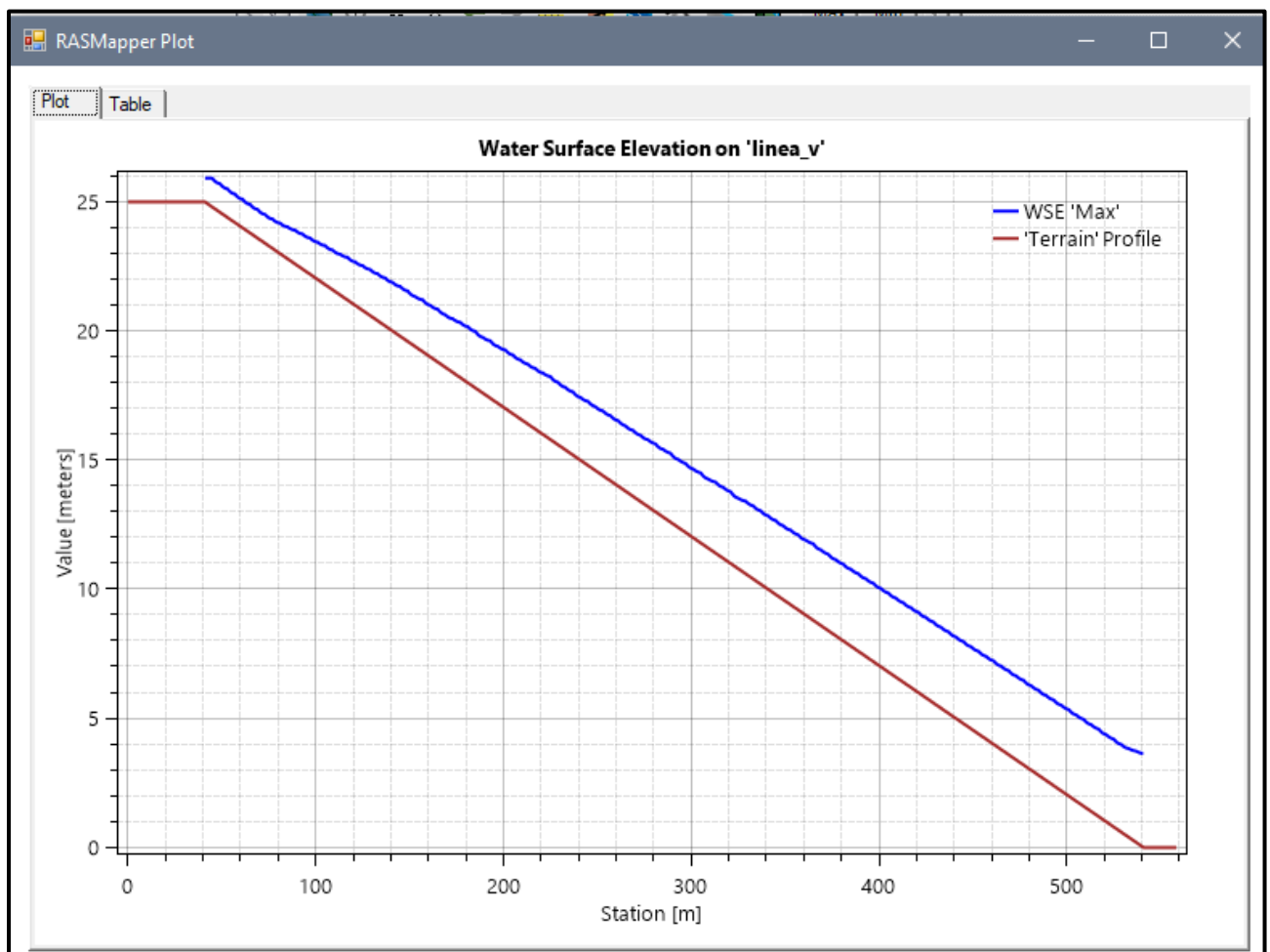


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 22

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 78 Gráfico de resultados del Modelo N°22 adicionando Cv

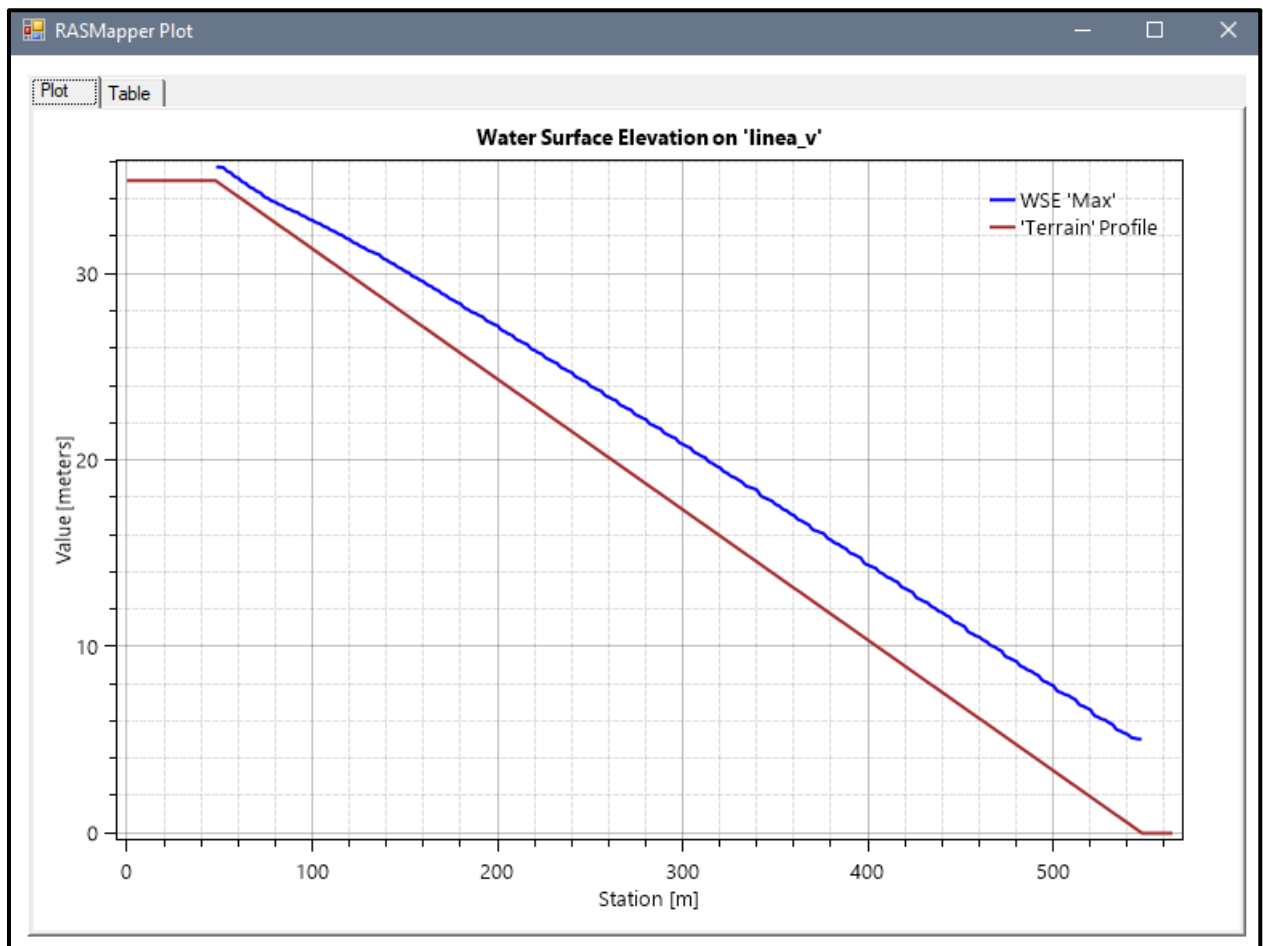


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 23

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 79 Gráfico de resultados del Modelo N°23 adicionando Cv

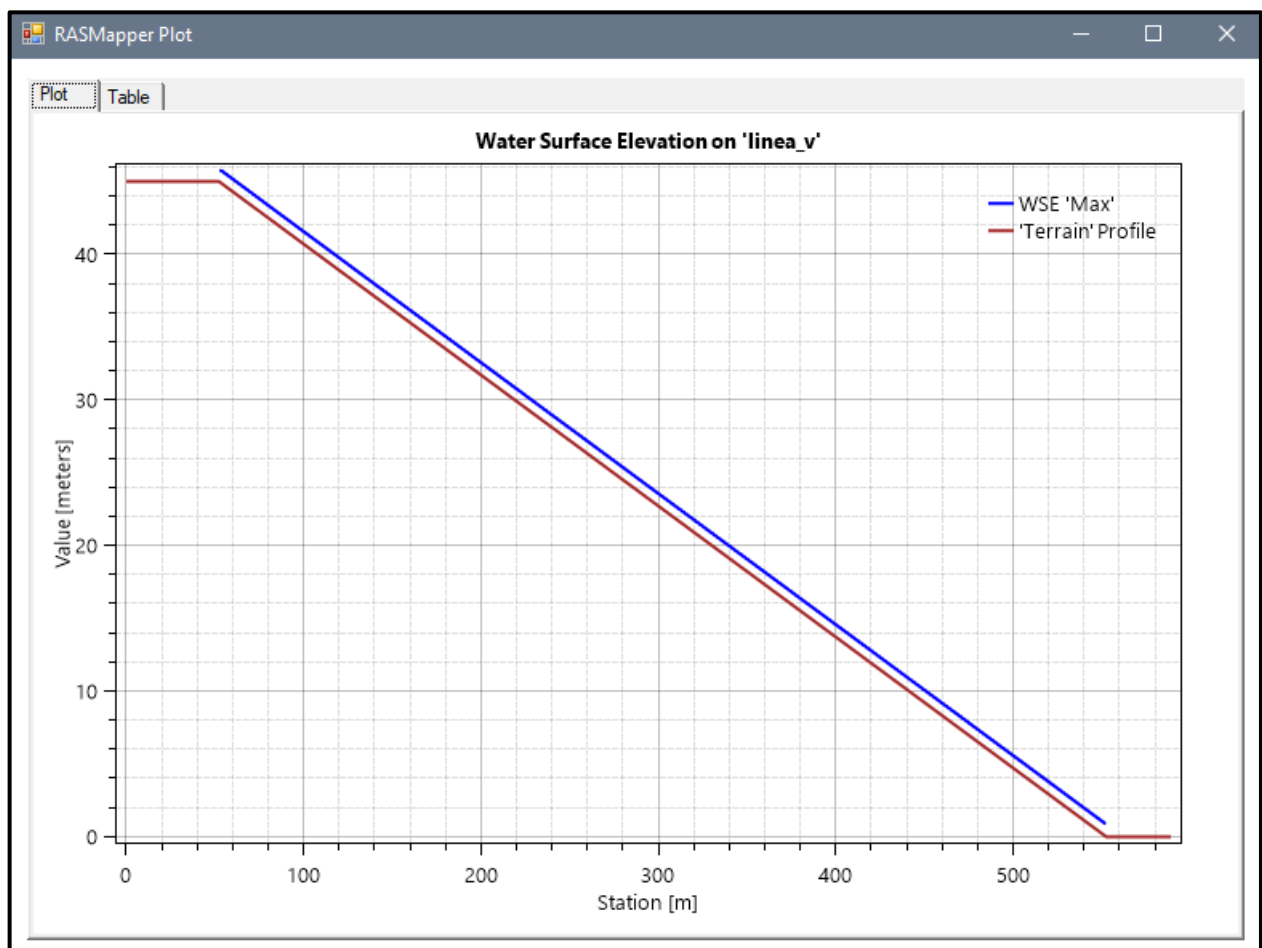


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 24

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 80 Gráfico de resultados del Modelo N°24 adicionando Cv

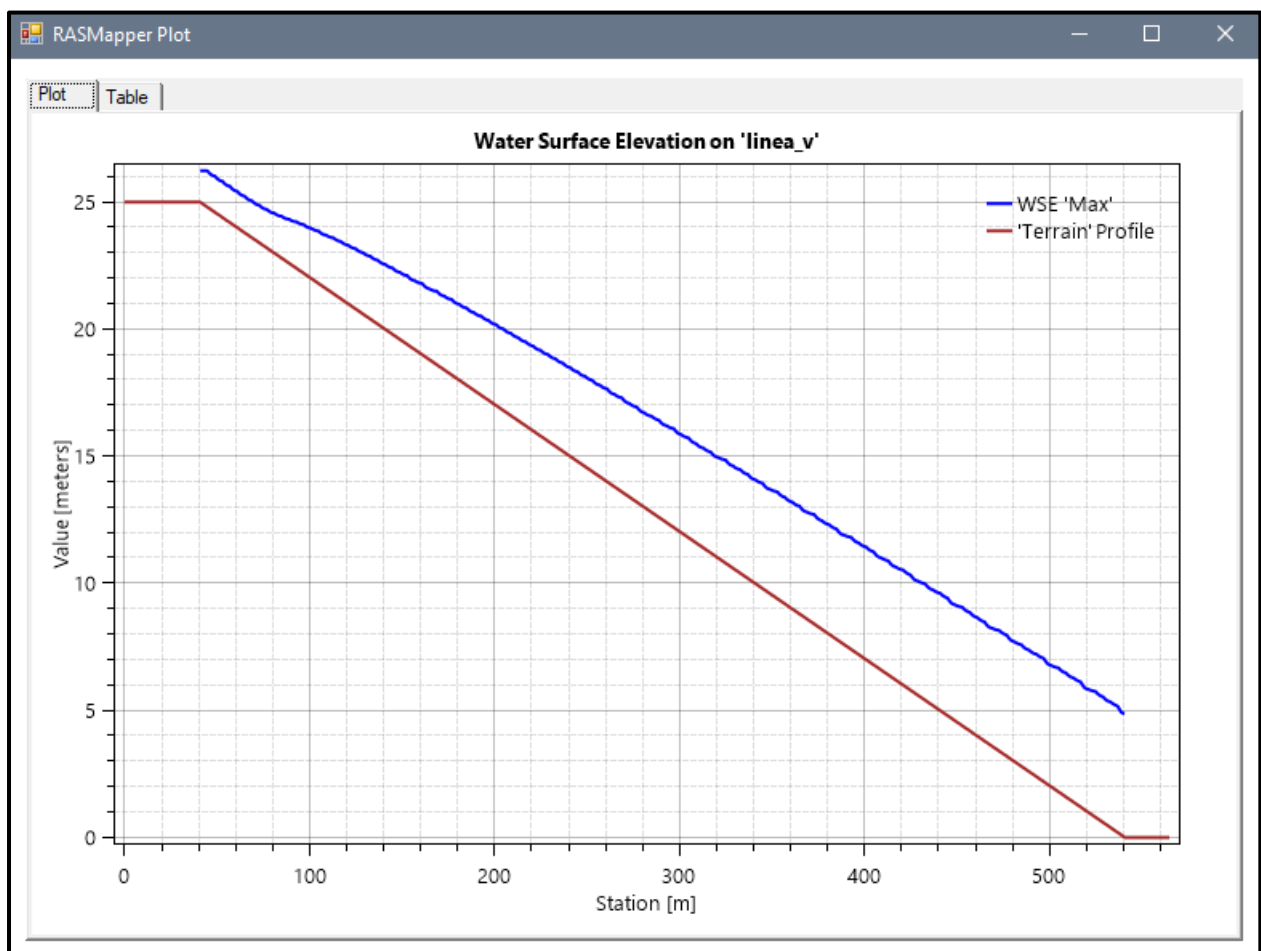


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 25

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 81 Gráfico de resultados del Modelo N°25 adicionando Cv

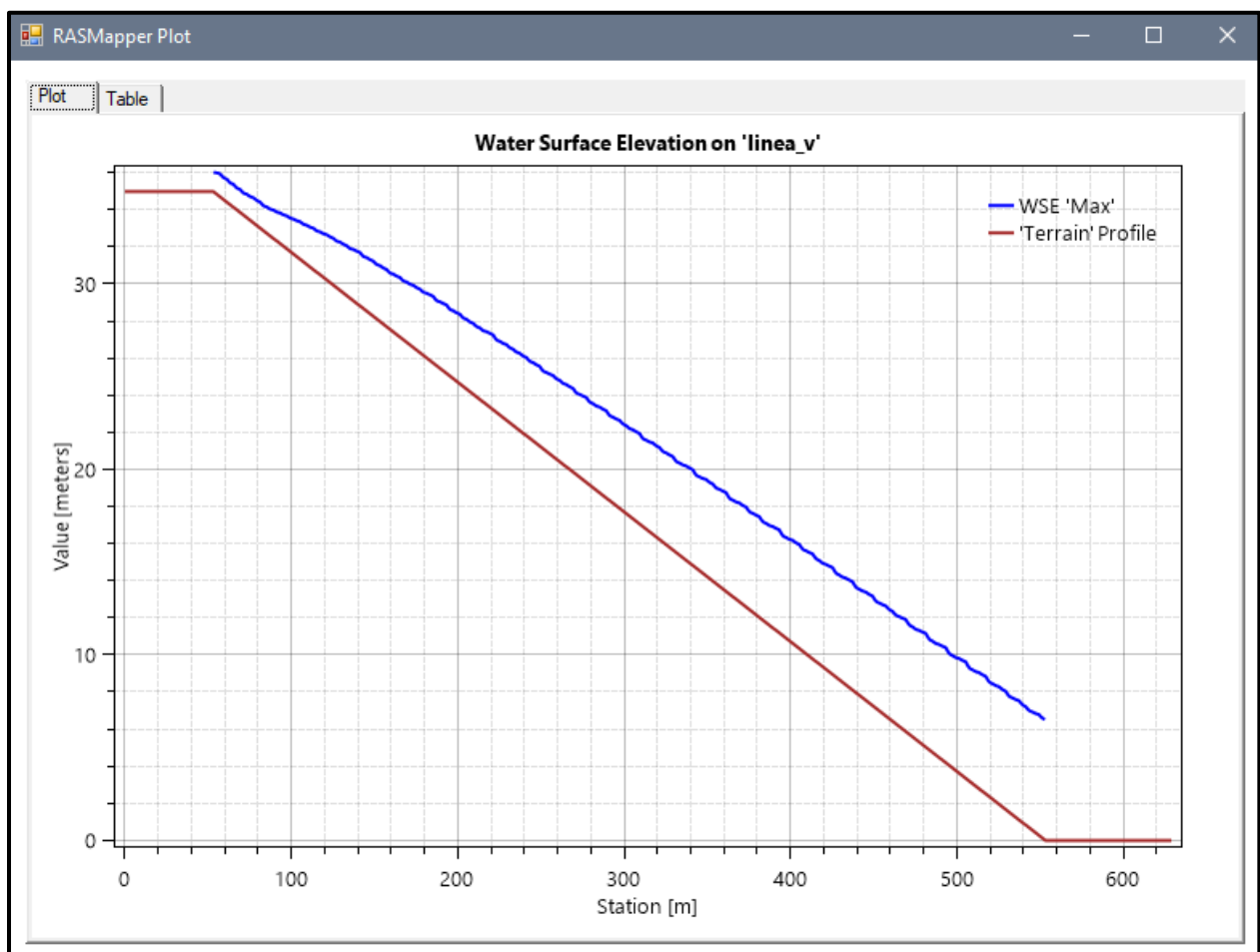


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 26

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- $C_v=0.55$

Figura N° 82 Gráfico de resultados del Modelo N°26 adicionando C_v

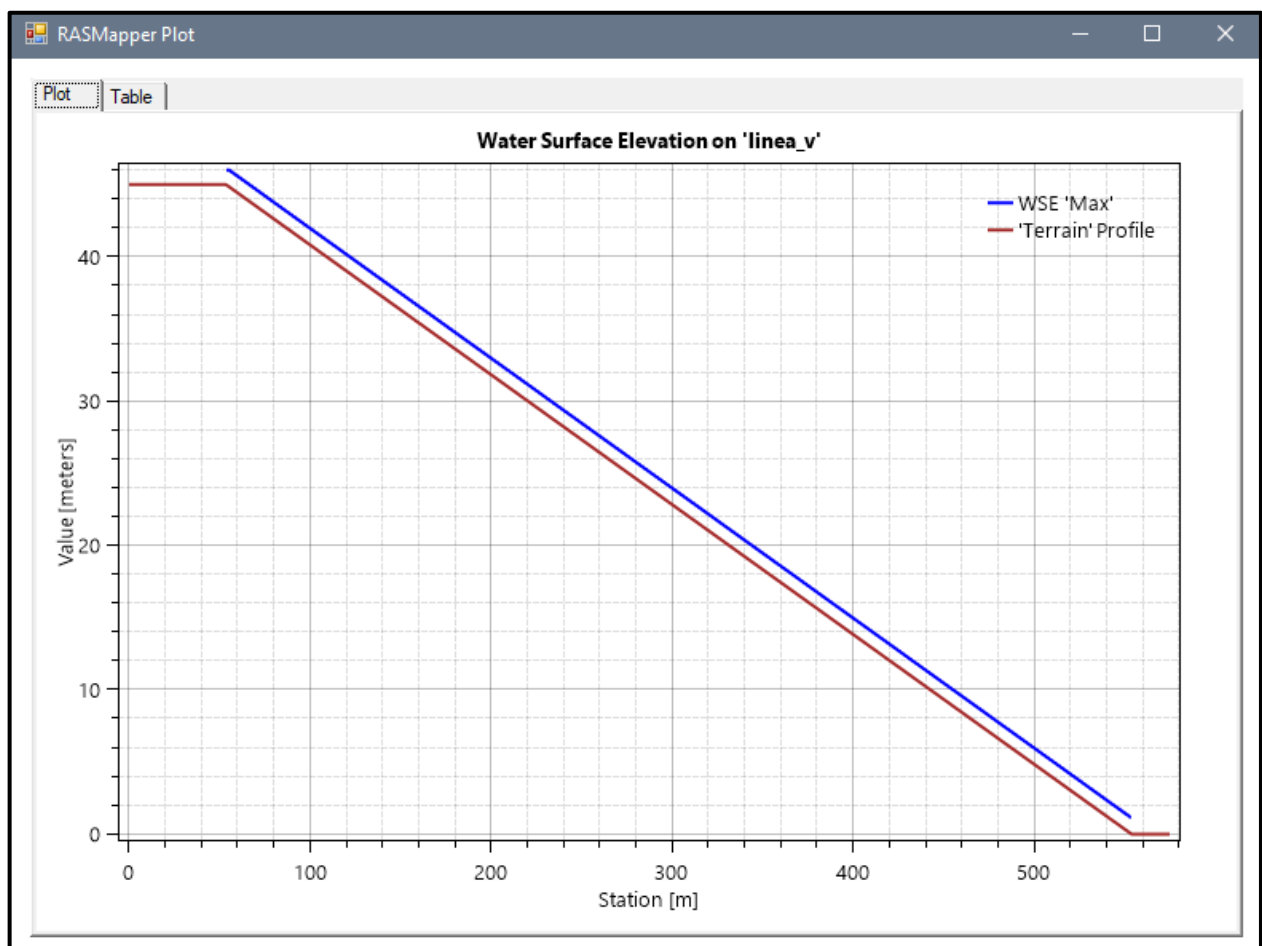


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 27

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 83 Gráfico de resultados del Modelo N°27 adicionando Cv



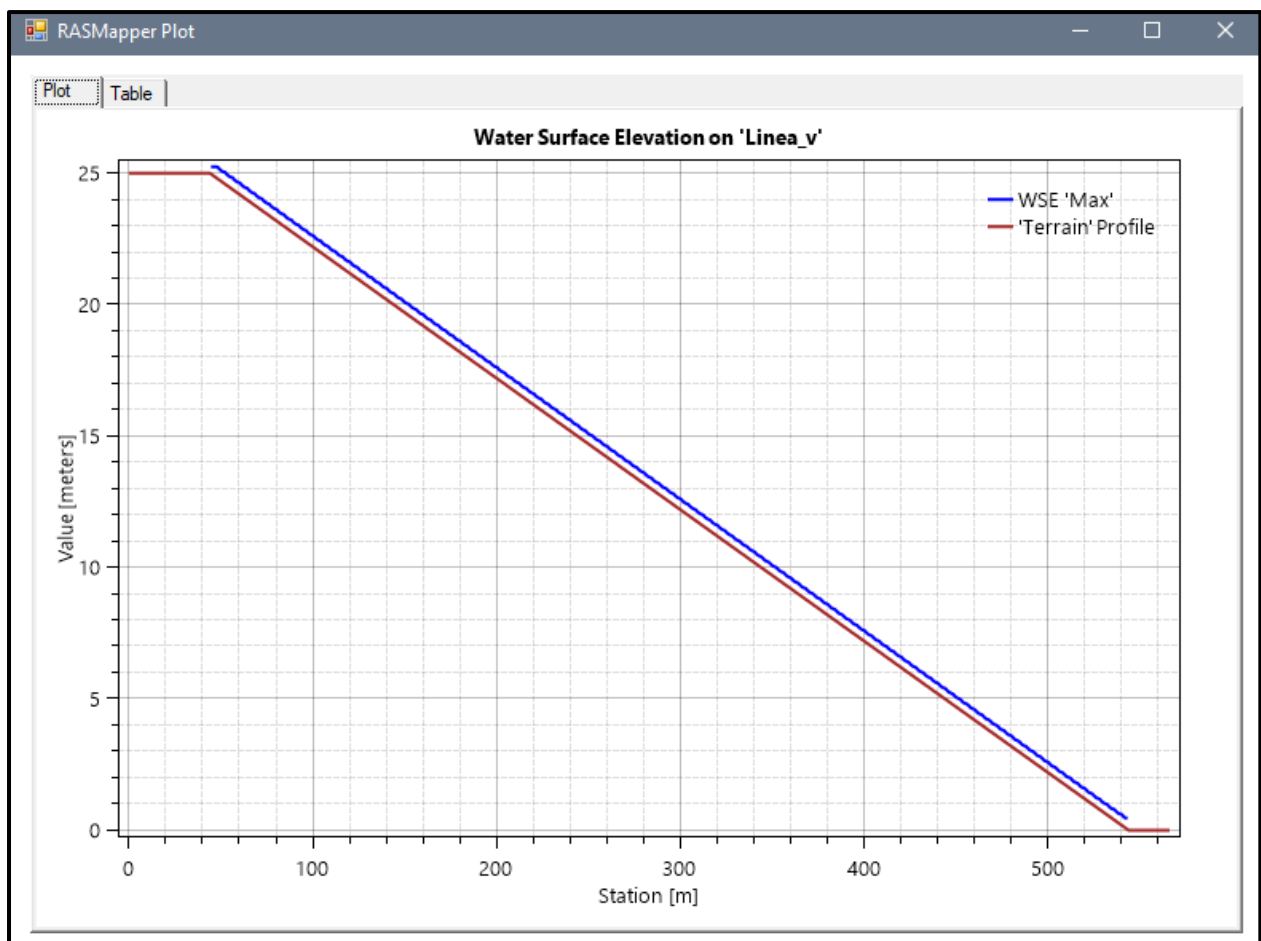
Fuente: Elaboración propia

ECUACIÓN " SWE-ELM"

MODELO N°1

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 84 Gráfico de resultados del Modelo N°1

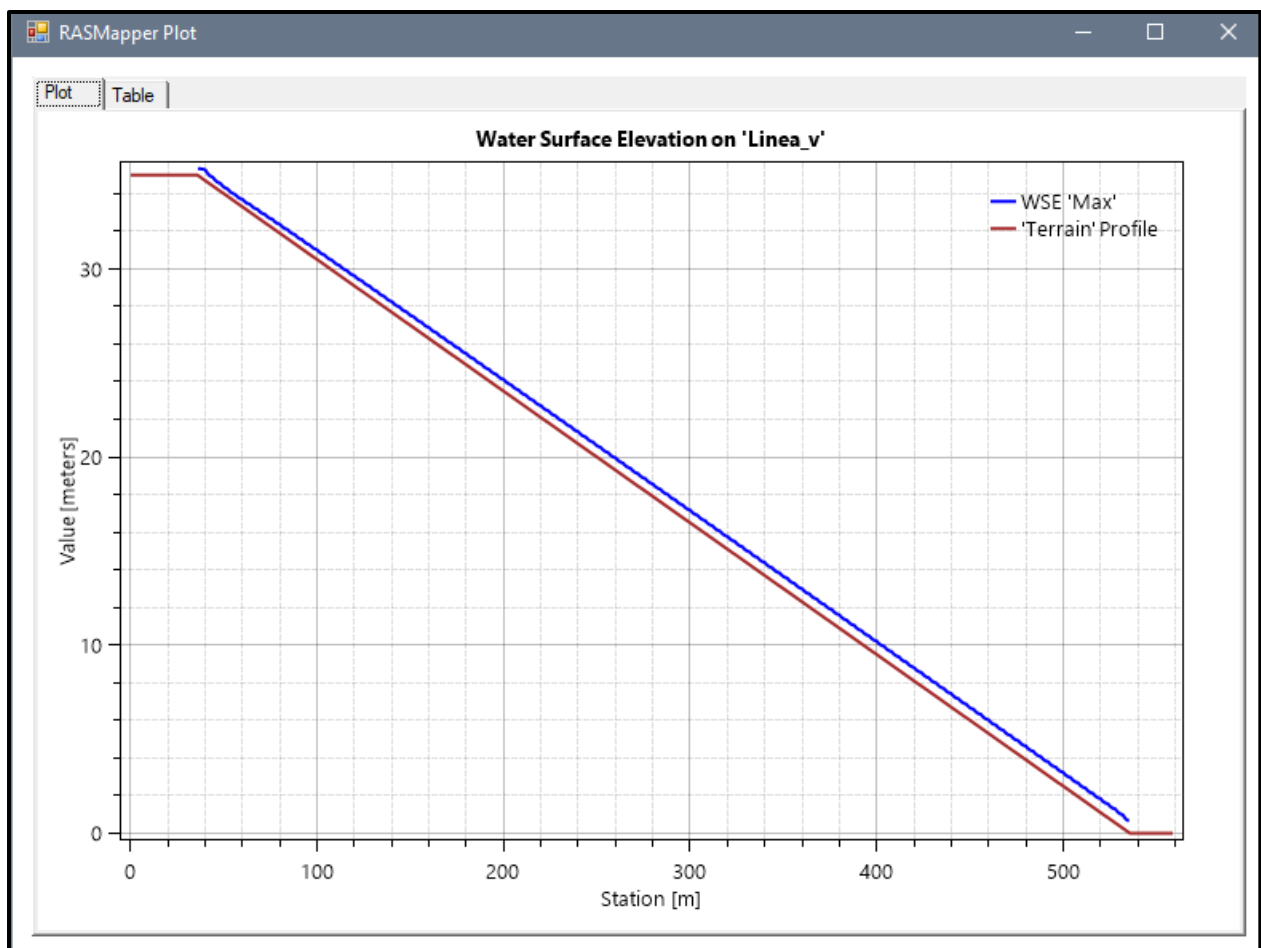


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°2

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 85 Gráfico de resultados del Modelo N°2

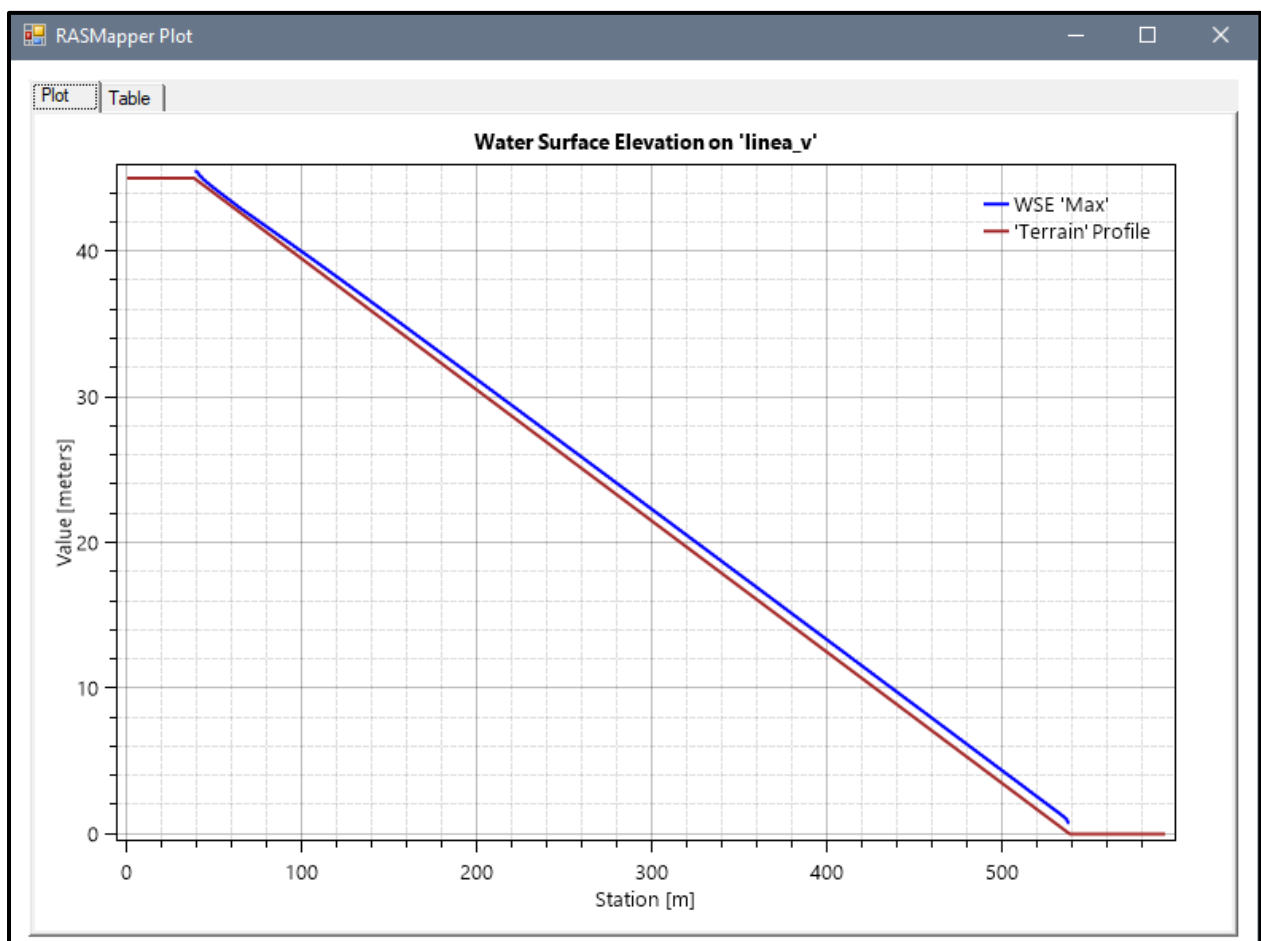


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°3

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 86 Gráfico de resultados del Modelo N°3

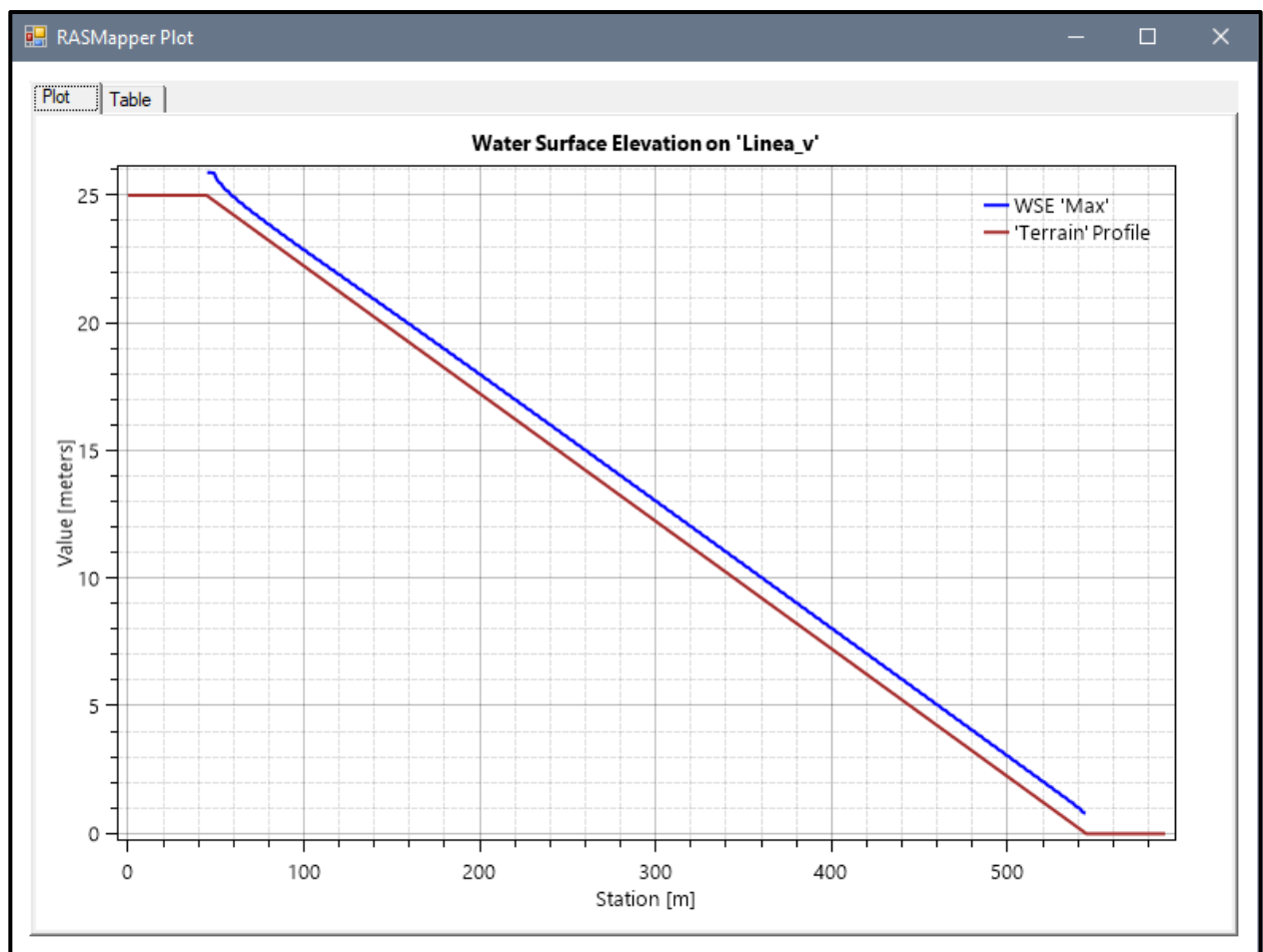


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°4

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 87 Gráfico de resultados del Modelo N°4

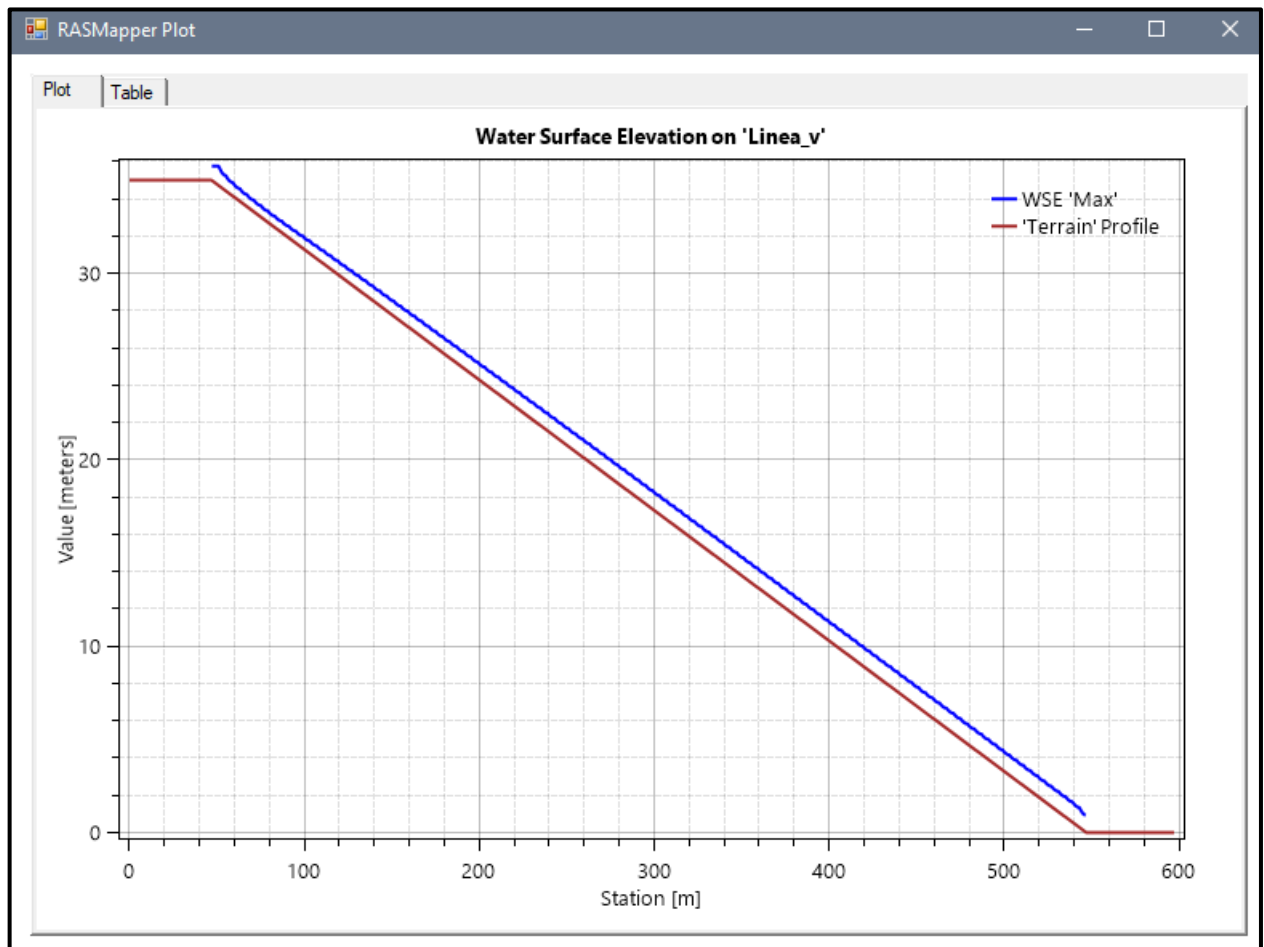


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°5

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 88 Gráfico de resultados del Modelo N°5

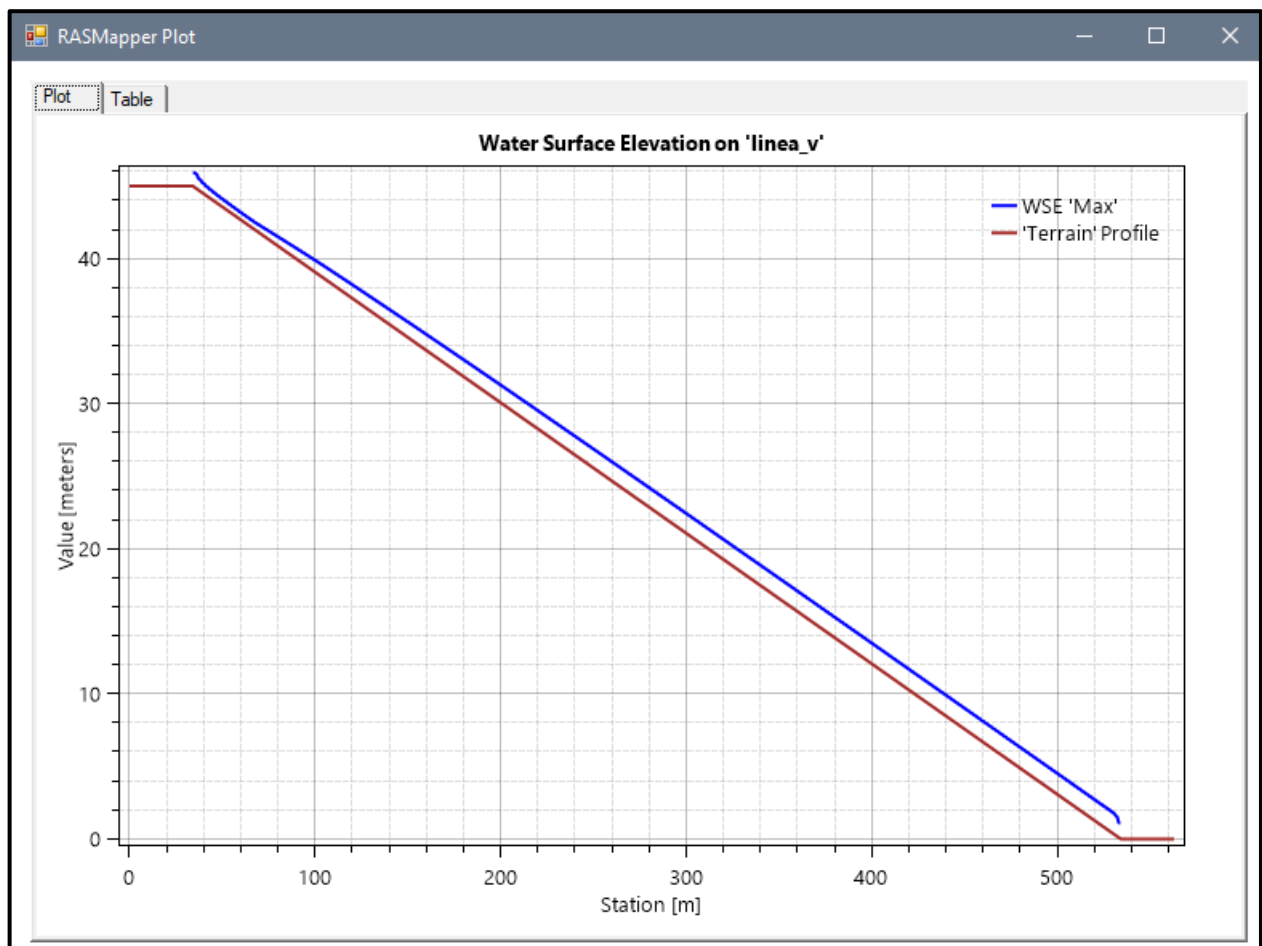


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°6

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 89 Gráfico de resultados del Modelo N°6

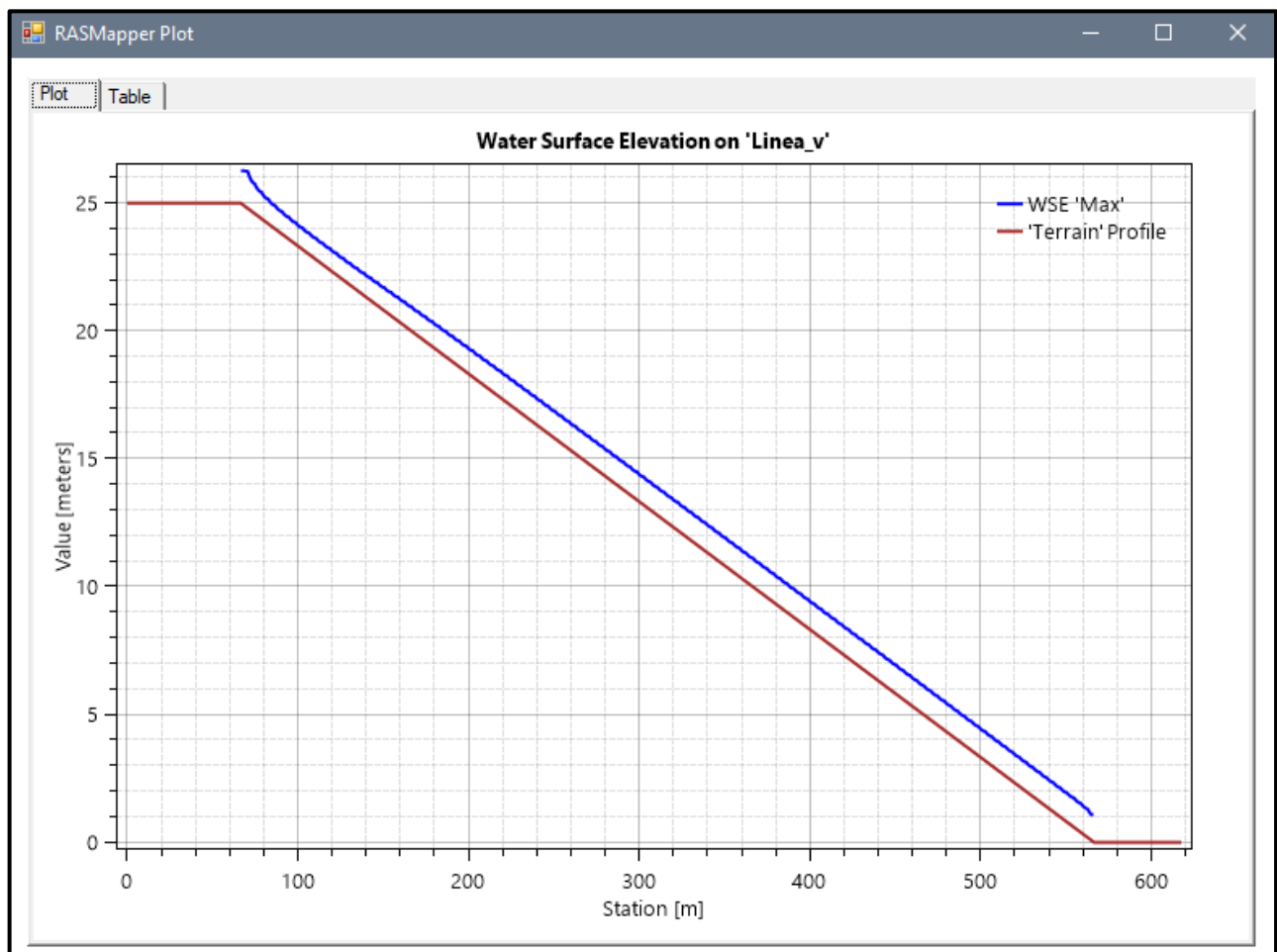


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°7

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 90 Gráfico de resultados del Modelo N°7

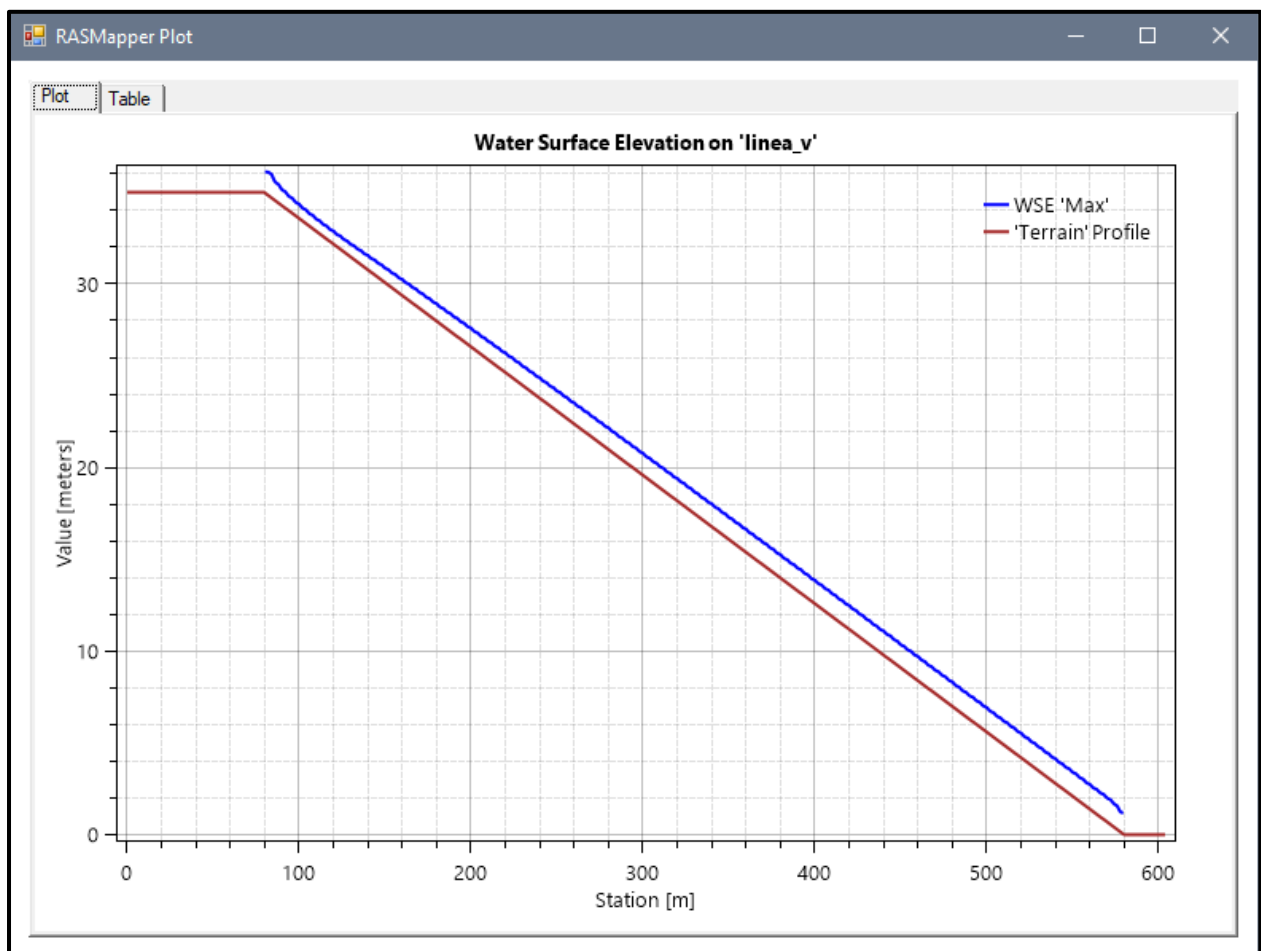


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°8

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 91 Gráfico de resultados del Modelo N°8

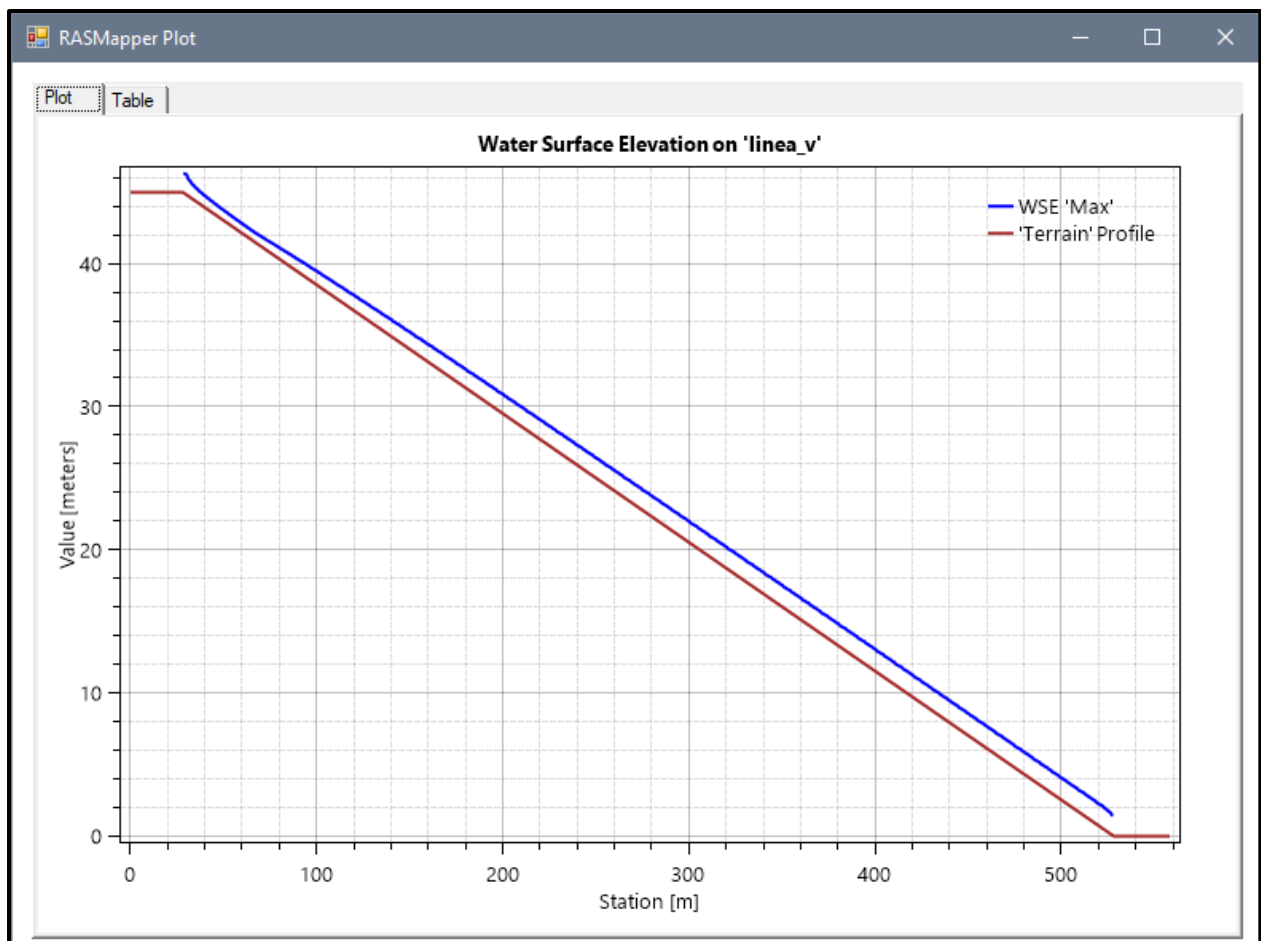


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°9

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 92 Gráfico de resultados del Modelo N°9

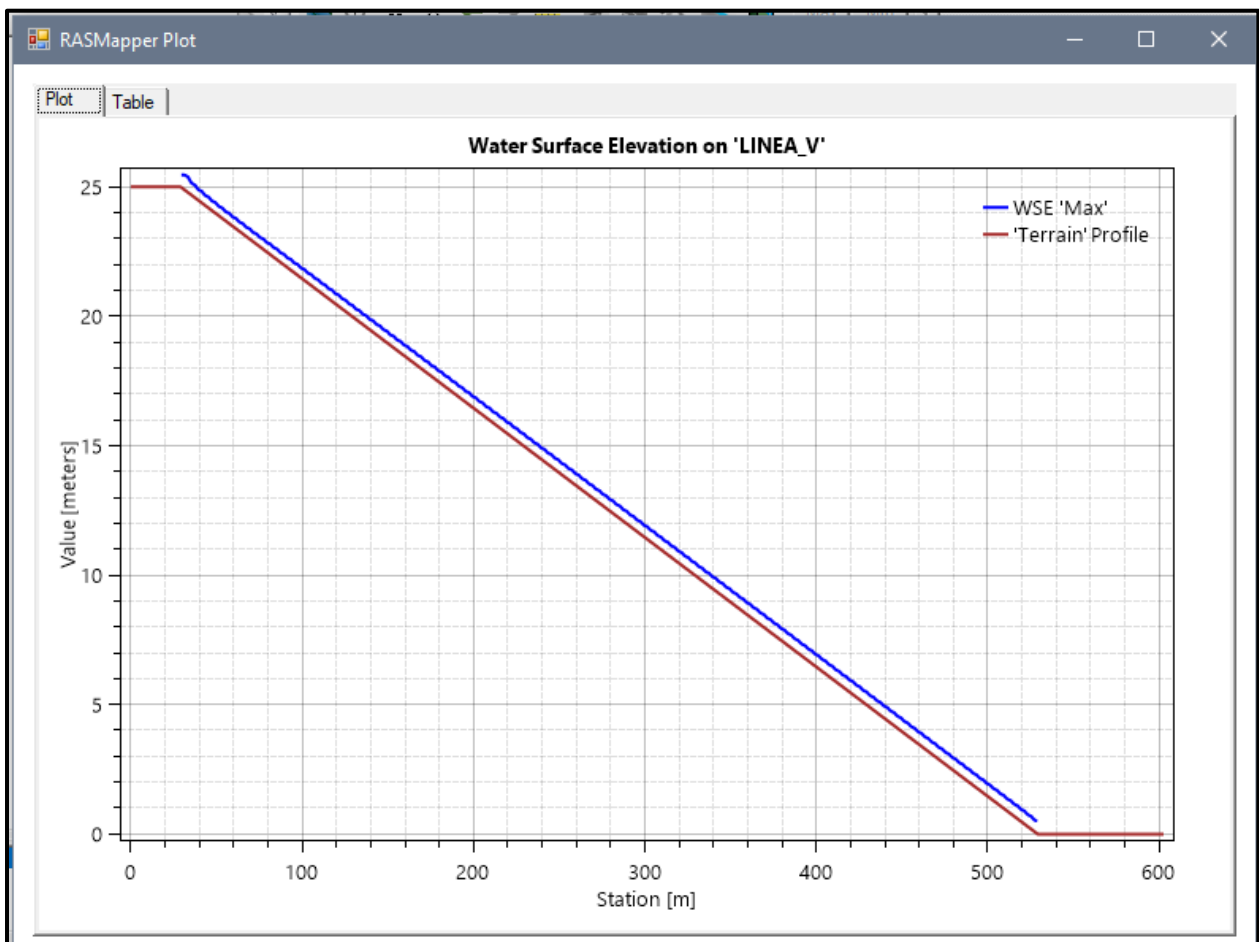


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 10

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 93 Gráfico de resultados del Modelo N°10

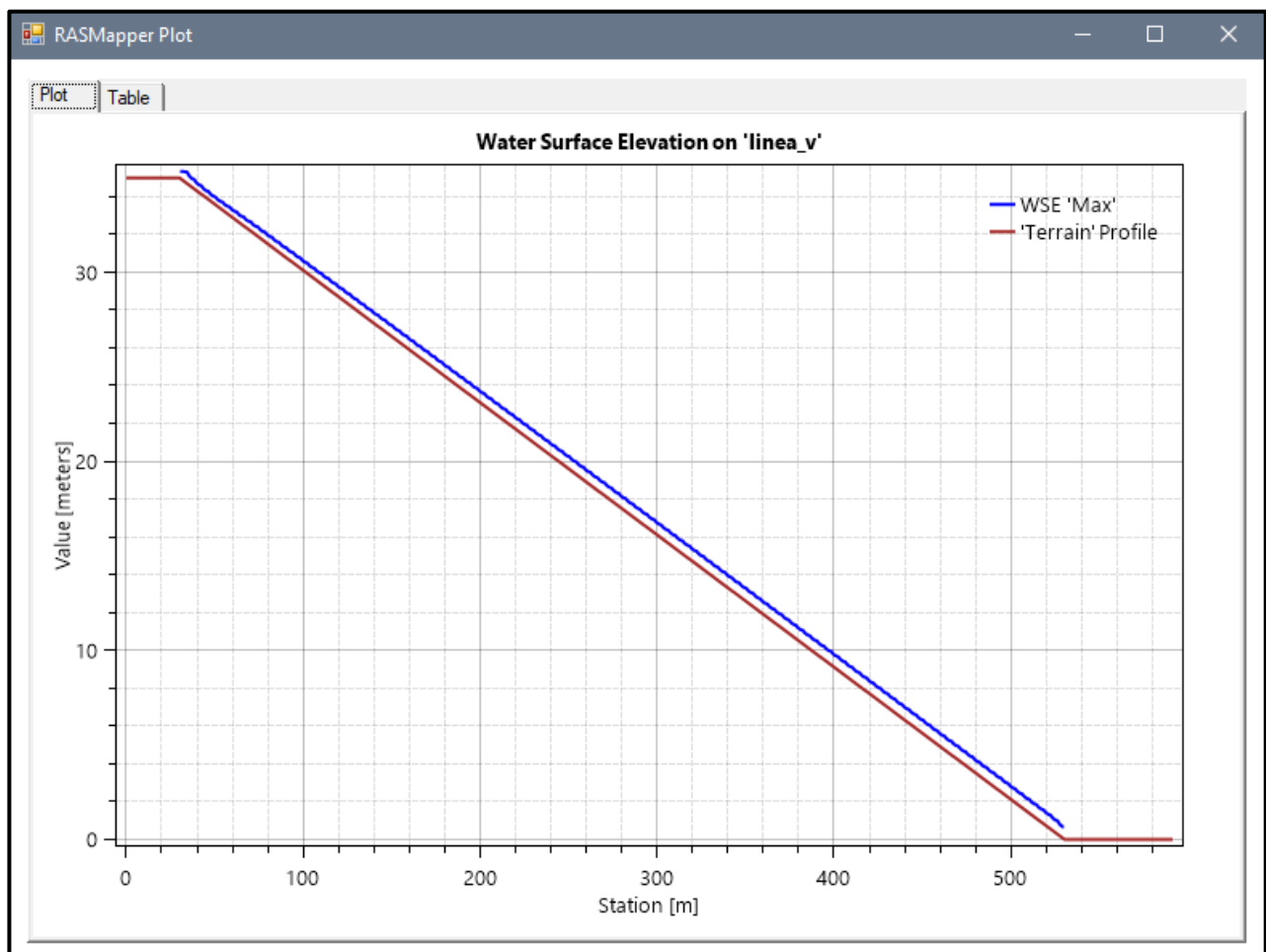


Fuente: Elaboración propia

MODELO Nº 11

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura Nº 94 Gráfico de resultados del Modelo Nº11

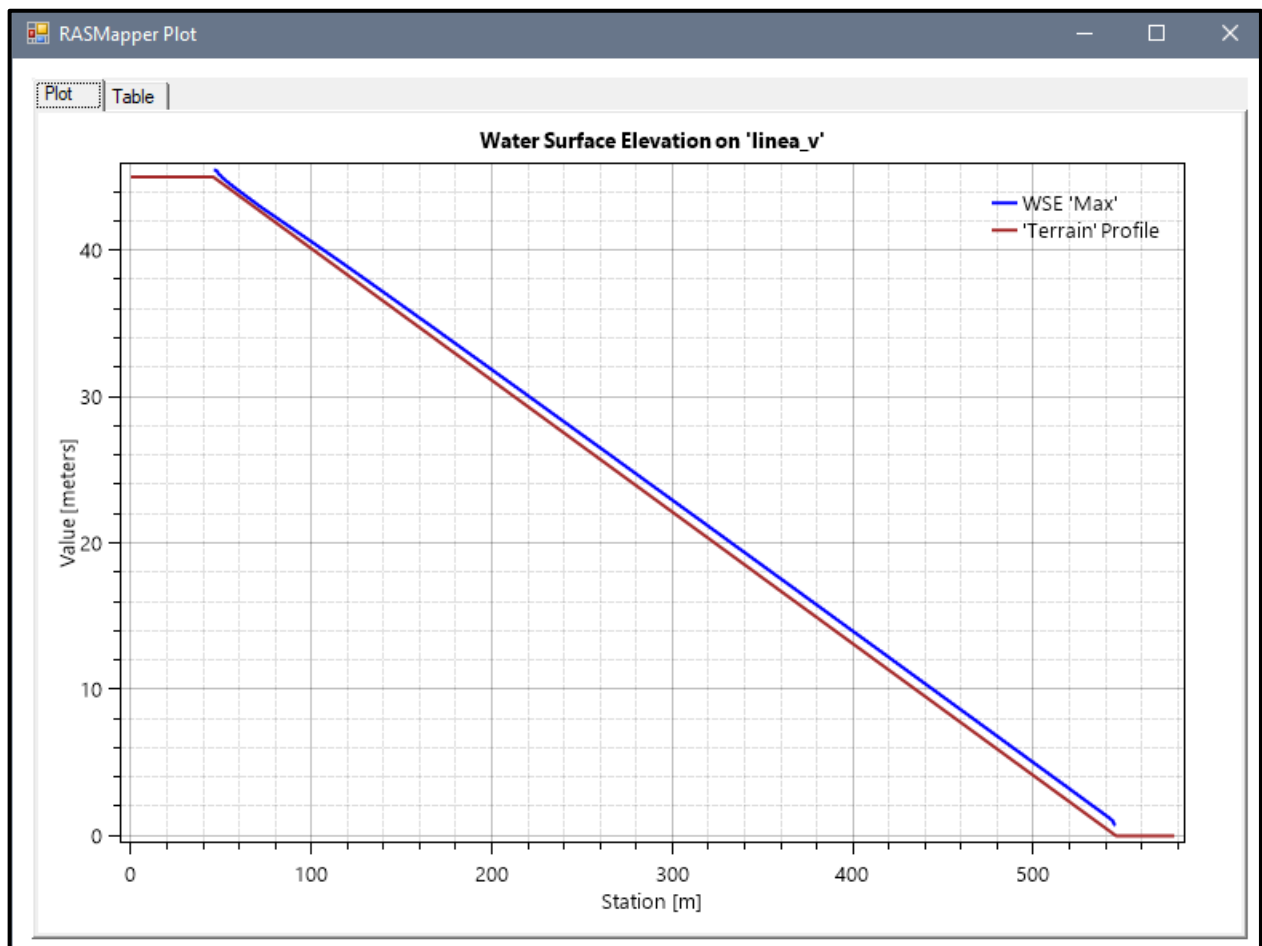


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 12

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 95 Gráfico de resultados del Modelo N°12

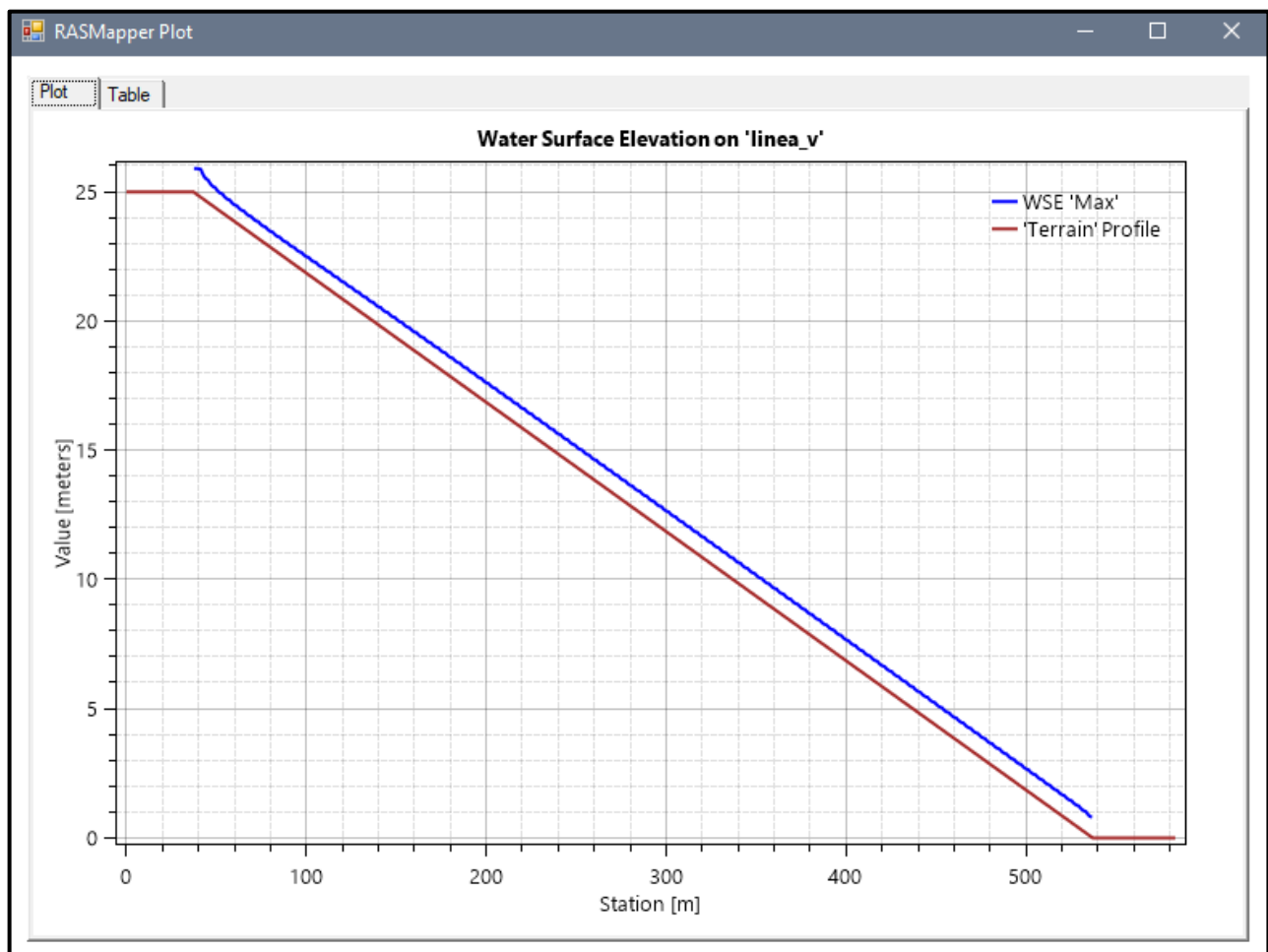


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 13

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

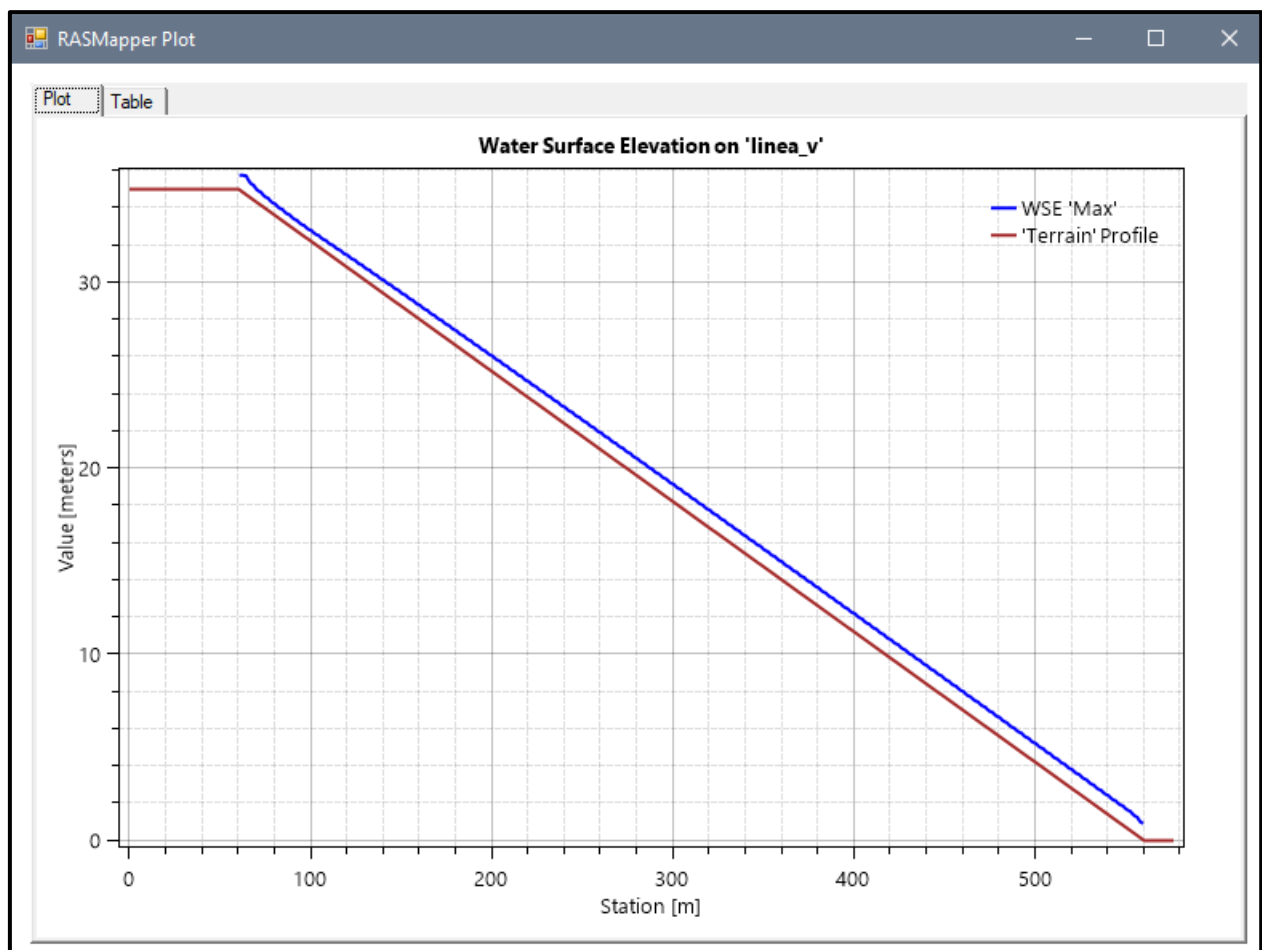
Figura N° 96 Gráfico de resultados del Modelo N°13



Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 14

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

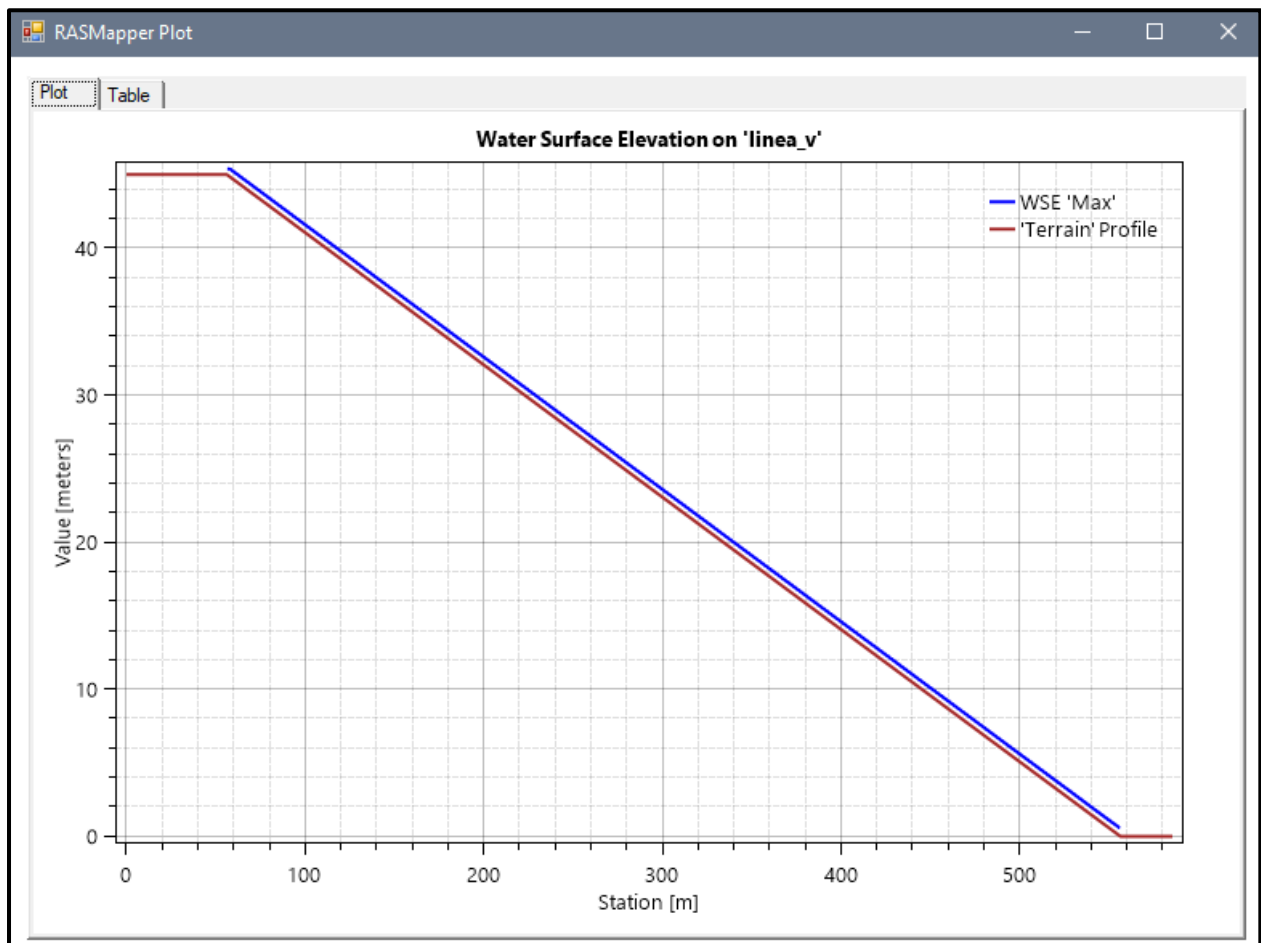
Figura N° 97 Gráfico de resultados del Modelo N°14

Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 15

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 98 Gráfico de resultados del Modelo N°15

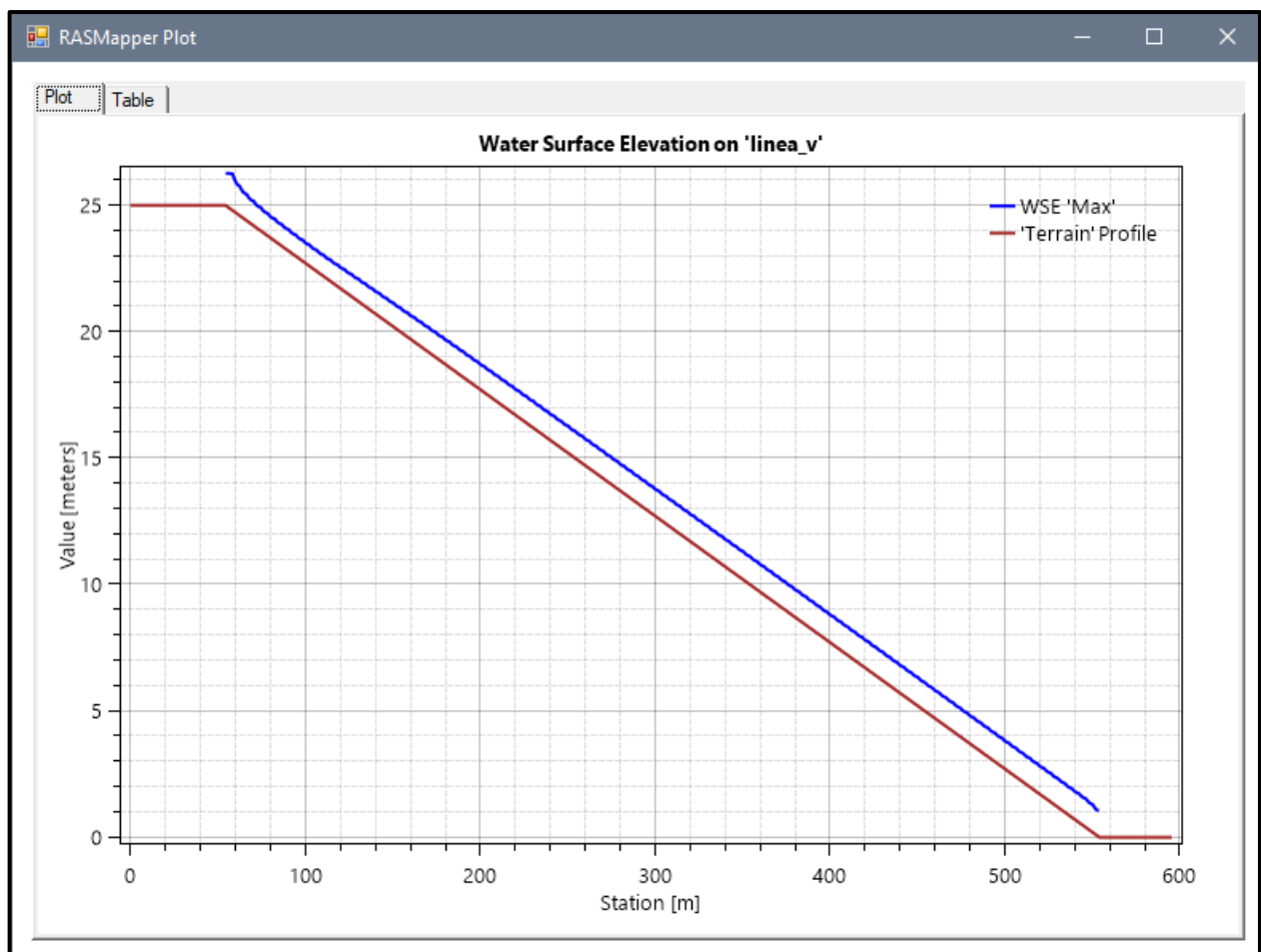


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 16

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 99 Gráfico de resultados del Modelo N°16

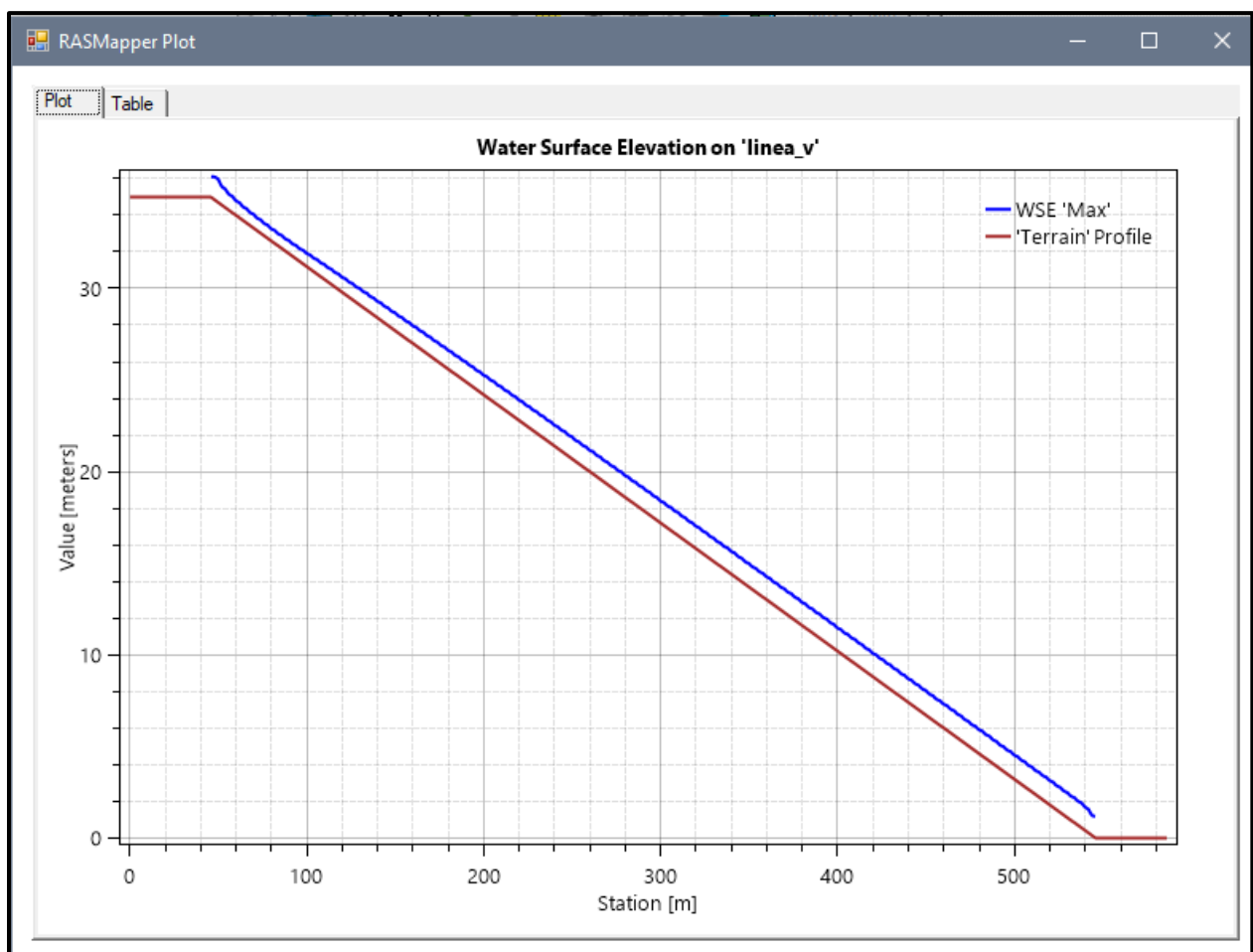


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 17

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 100 Gráfico de resultados del Modelo N°16

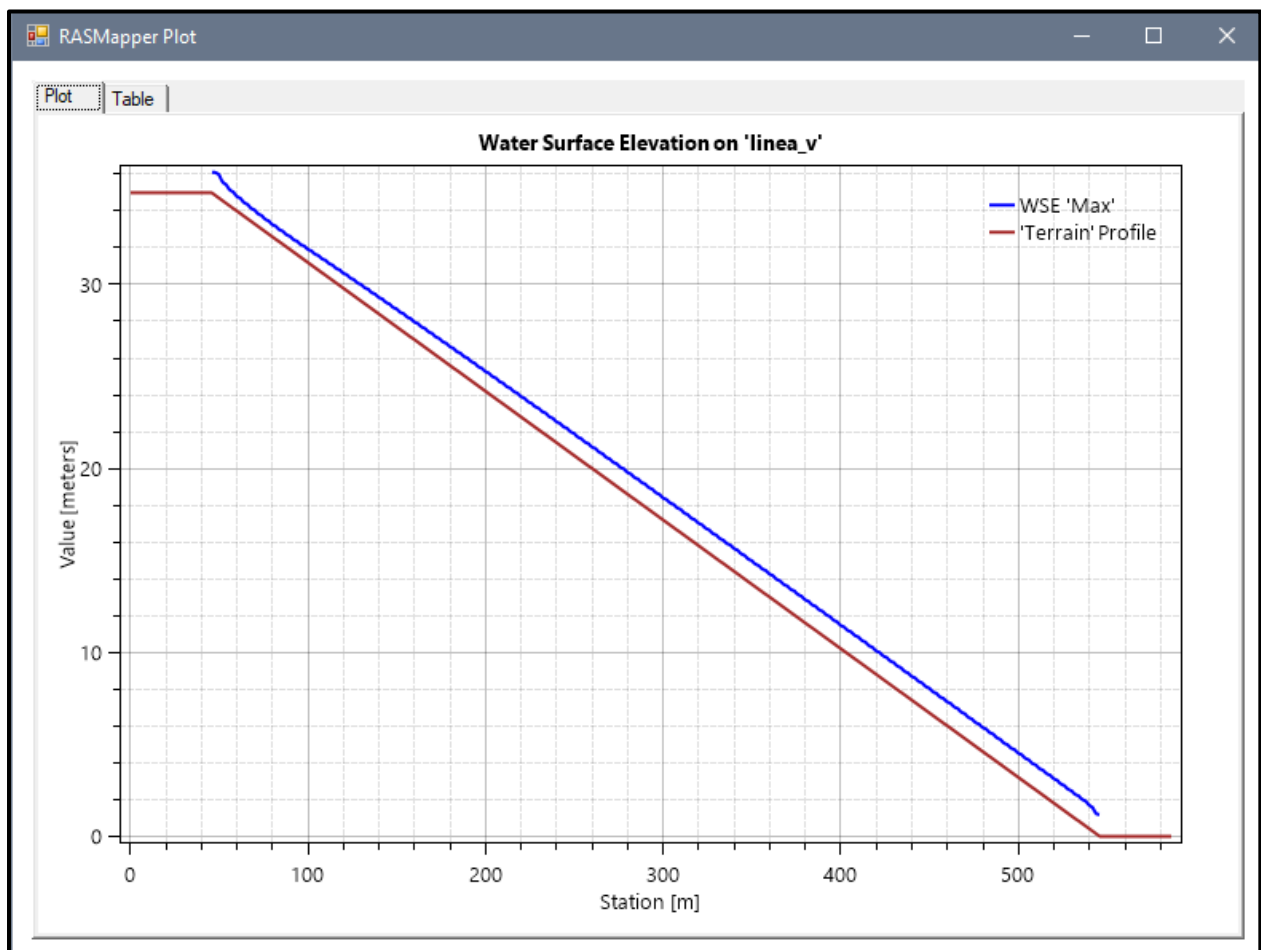


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 18

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 101 Gráfico de resultados del Modelo N°18

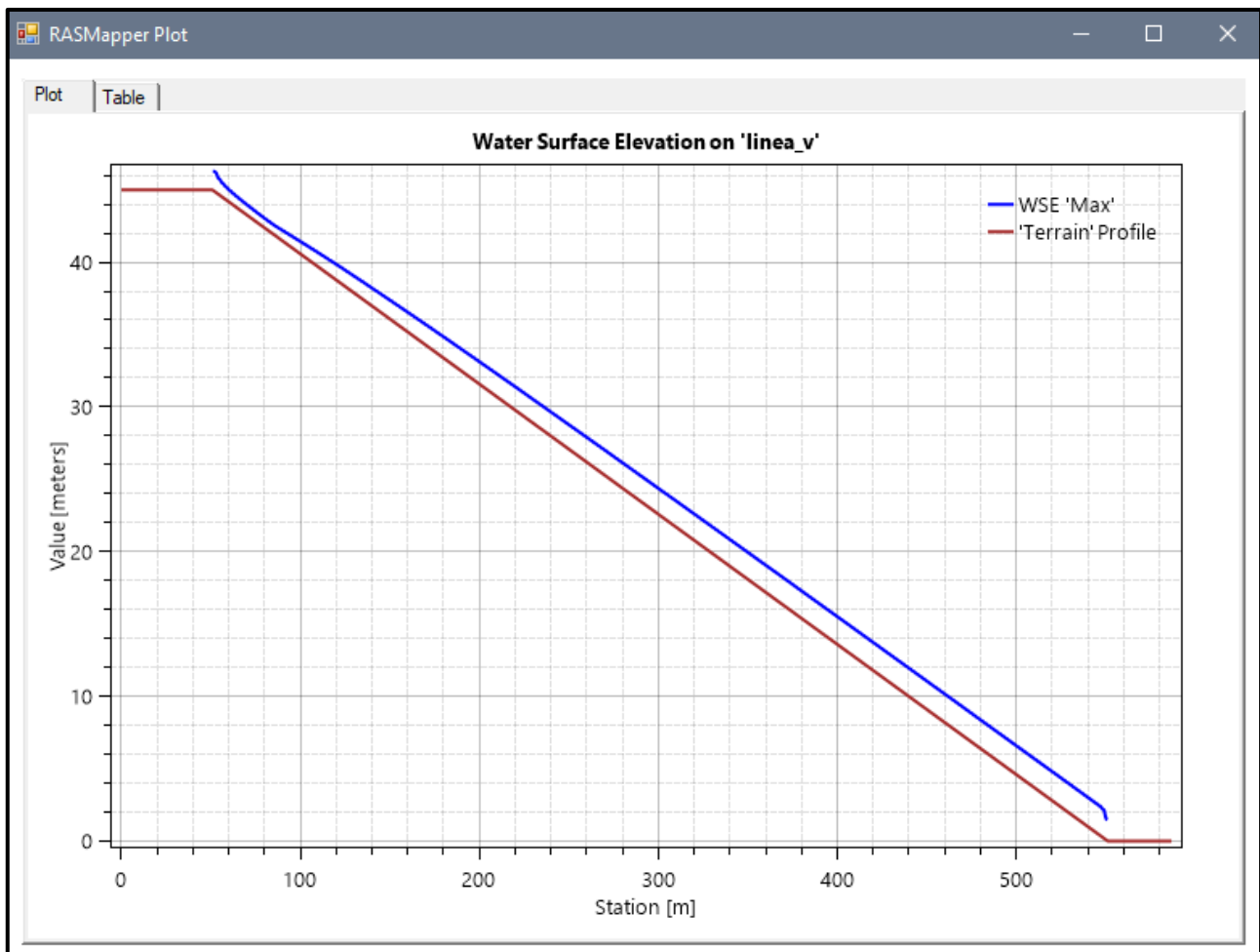


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 19

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4mm
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 102 Gráfico de resultados del Modelo N°19

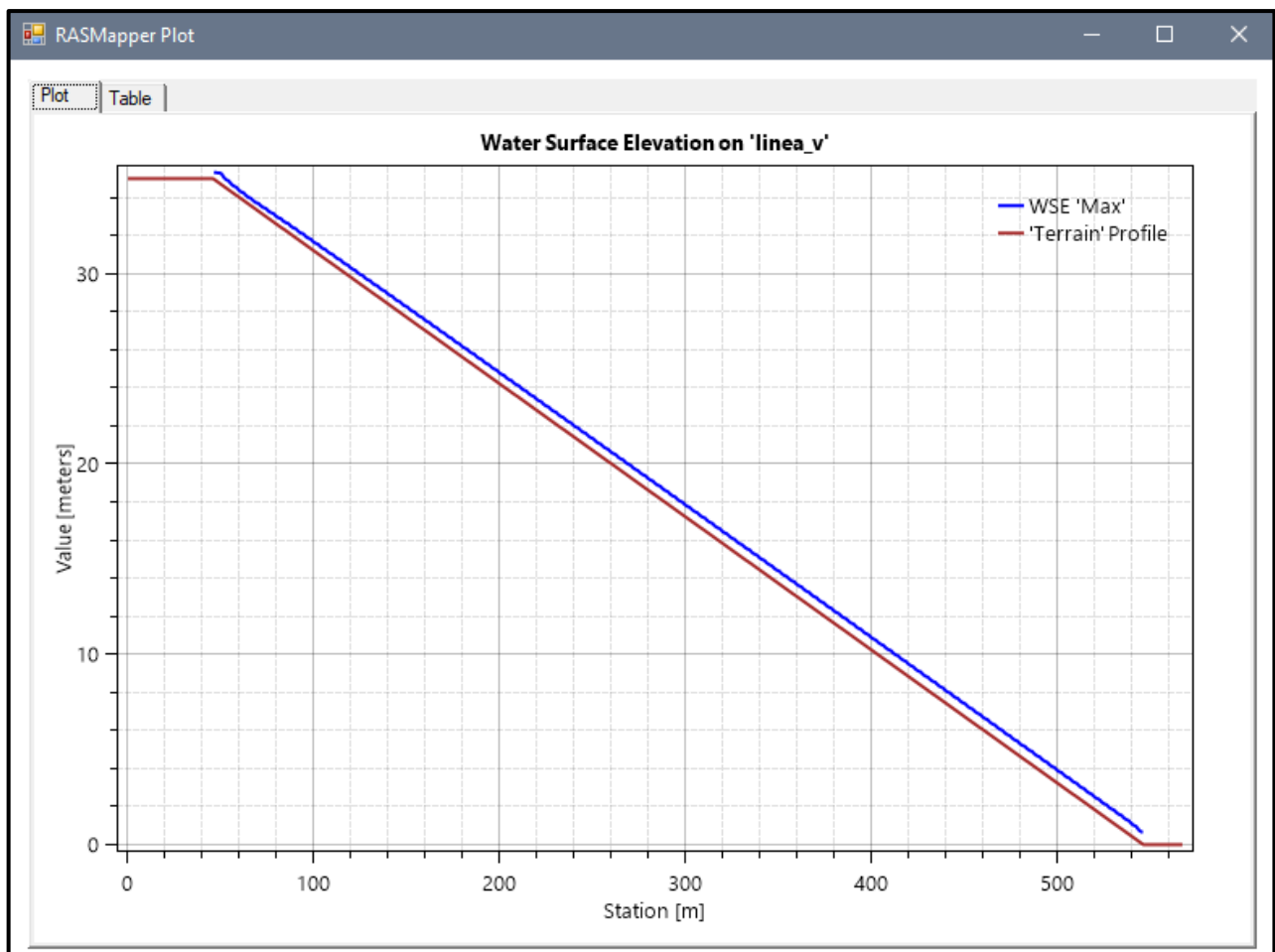


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 20

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 103 Gráfico de resultados del Modelo N°20

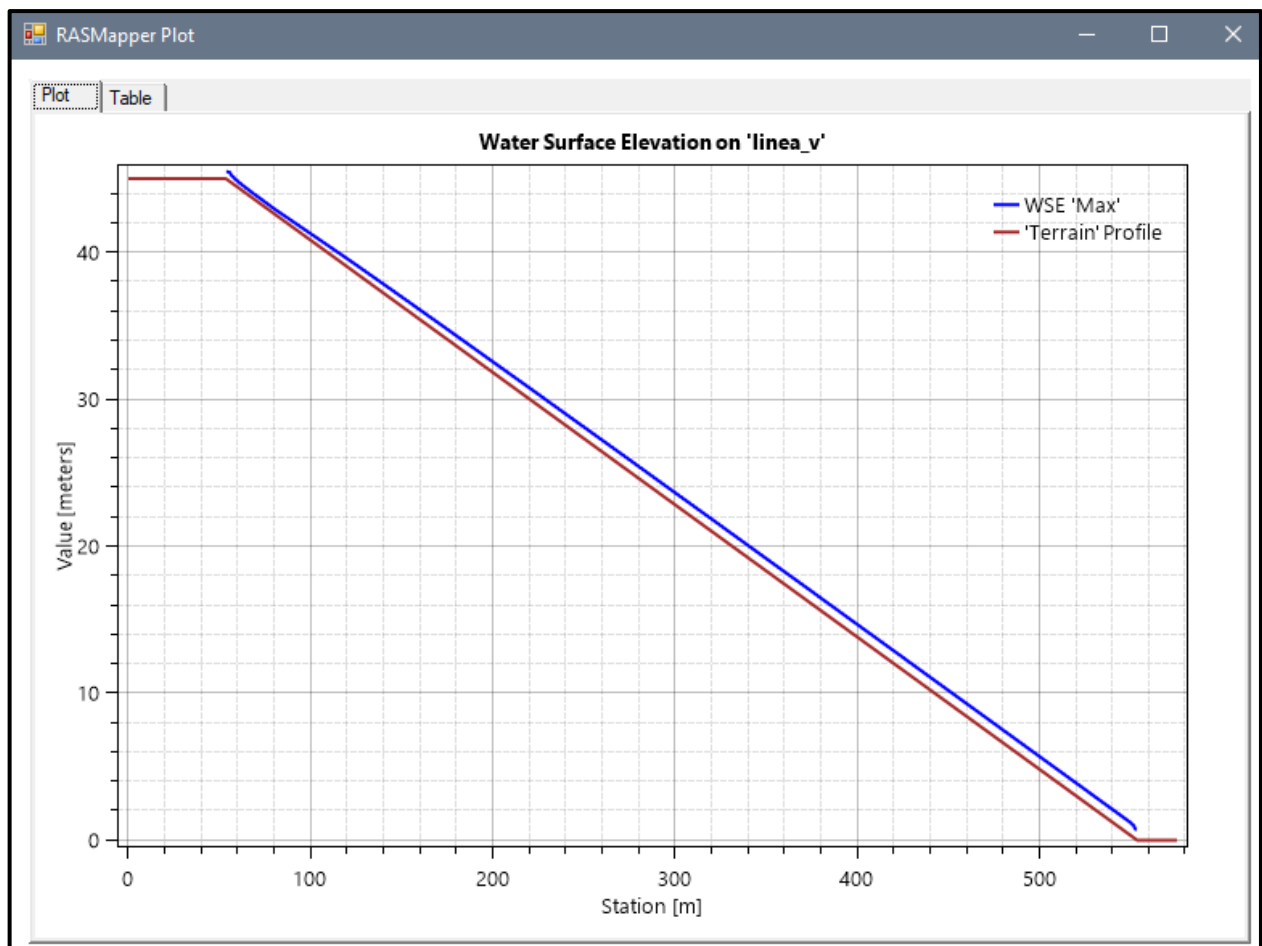


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 21

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 104 Gráfico de resultados del Modelo N°21

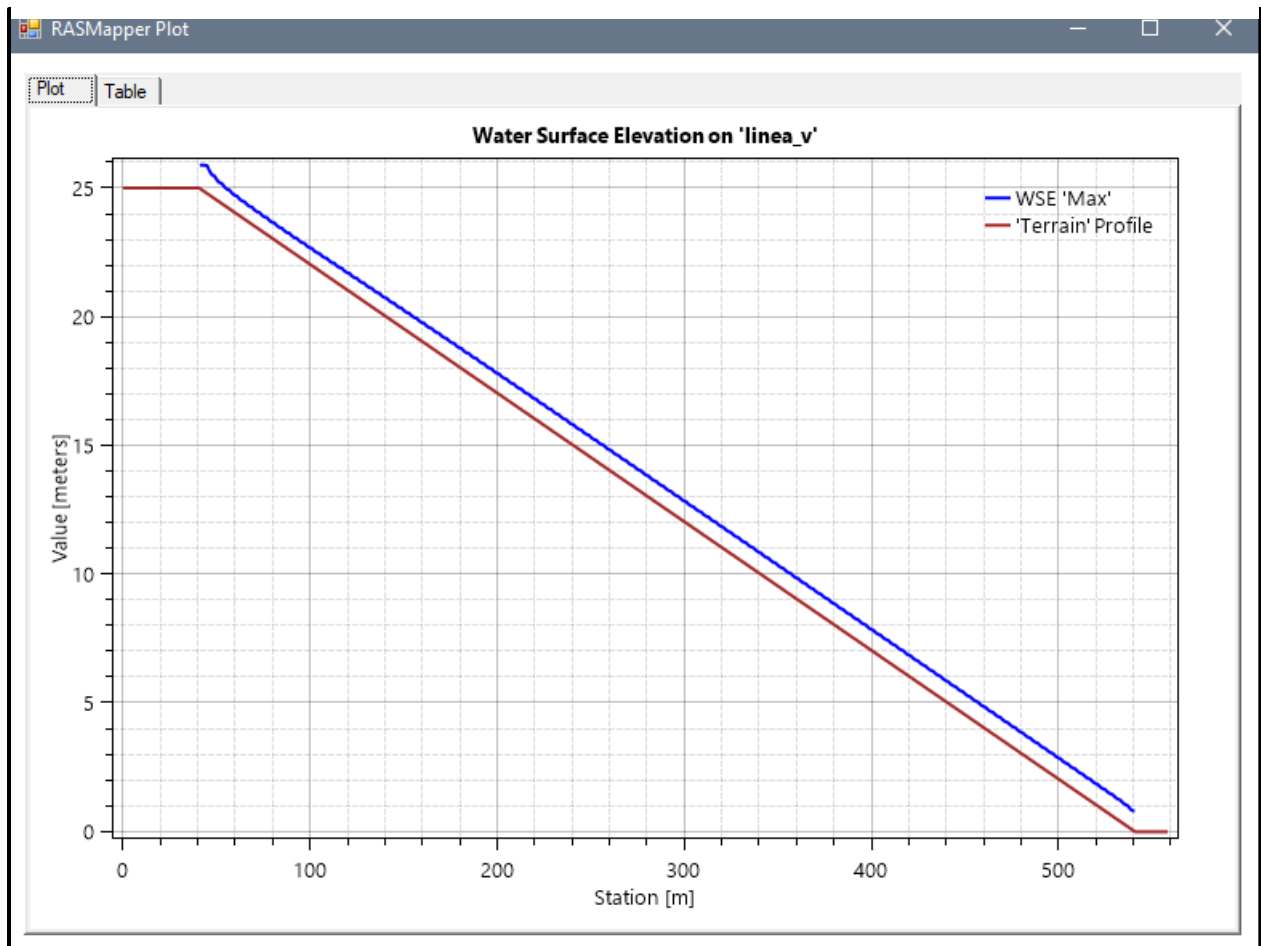


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 22

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

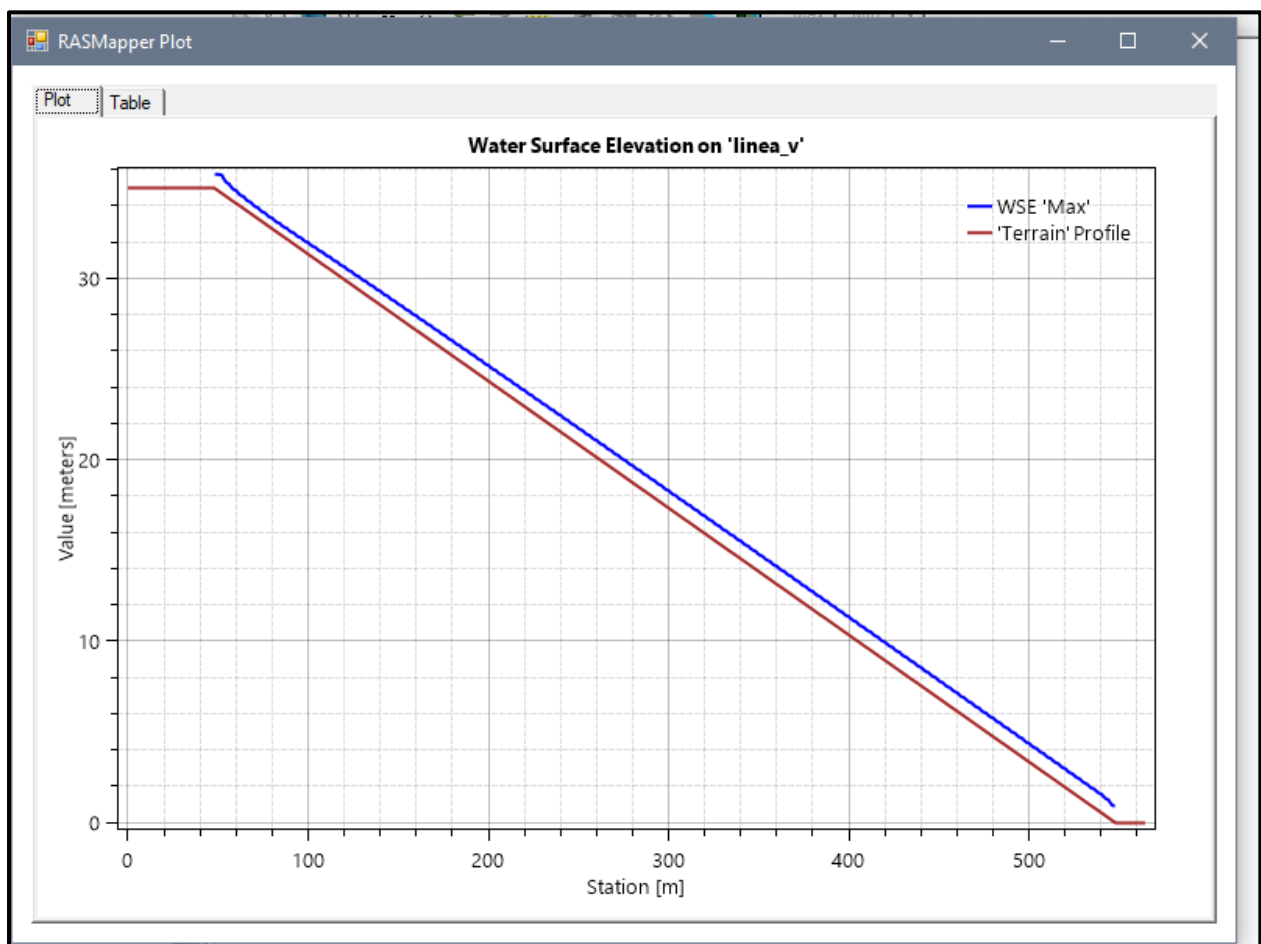
Figura N° 105 Gráfico de resultados del Modelo N°22



Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 23

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

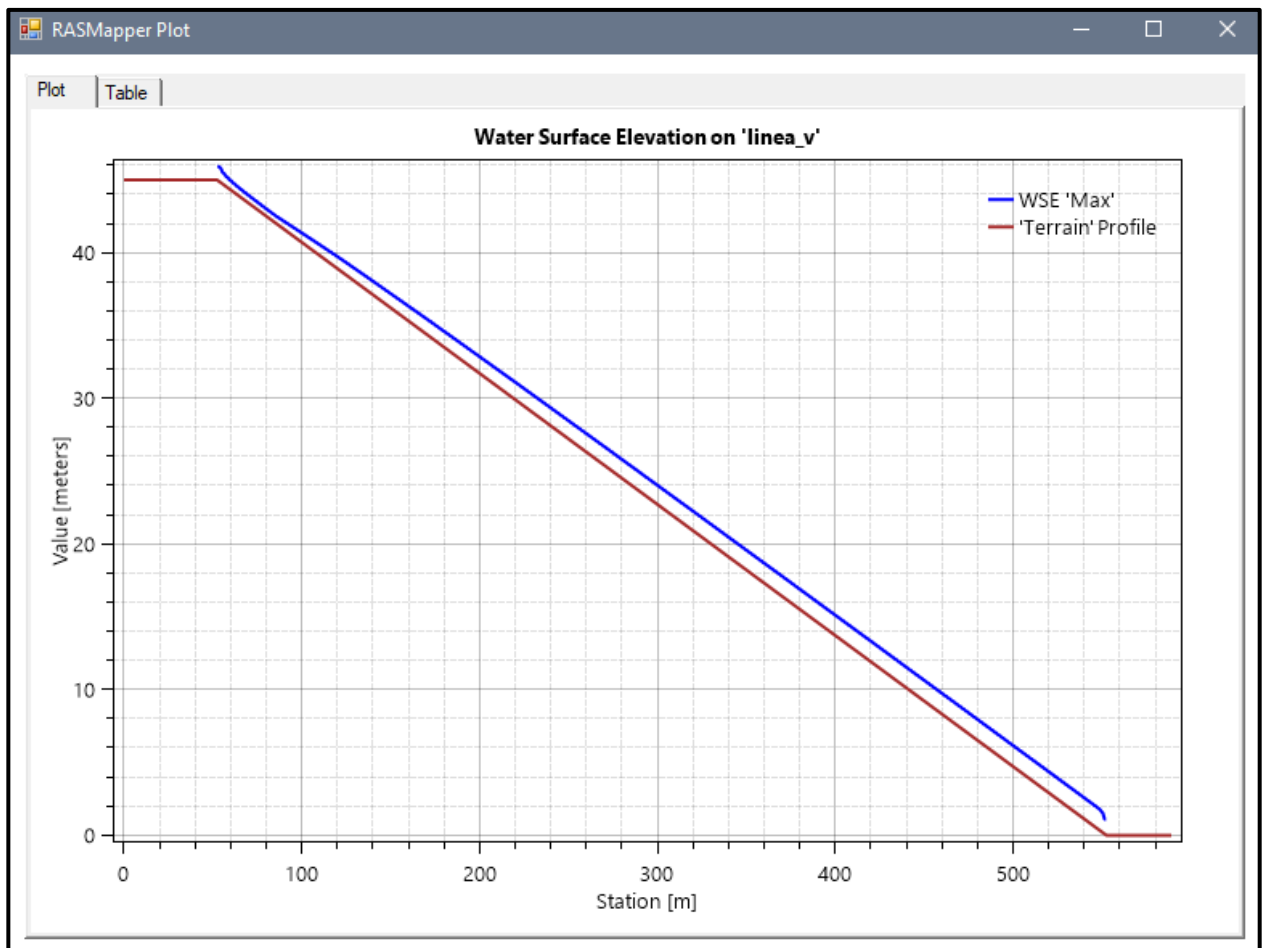
Figura N° 106 Gráfico de resultados del Modelo N°23

Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 24

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 107 Gráfico de resultados del Modelo N°24

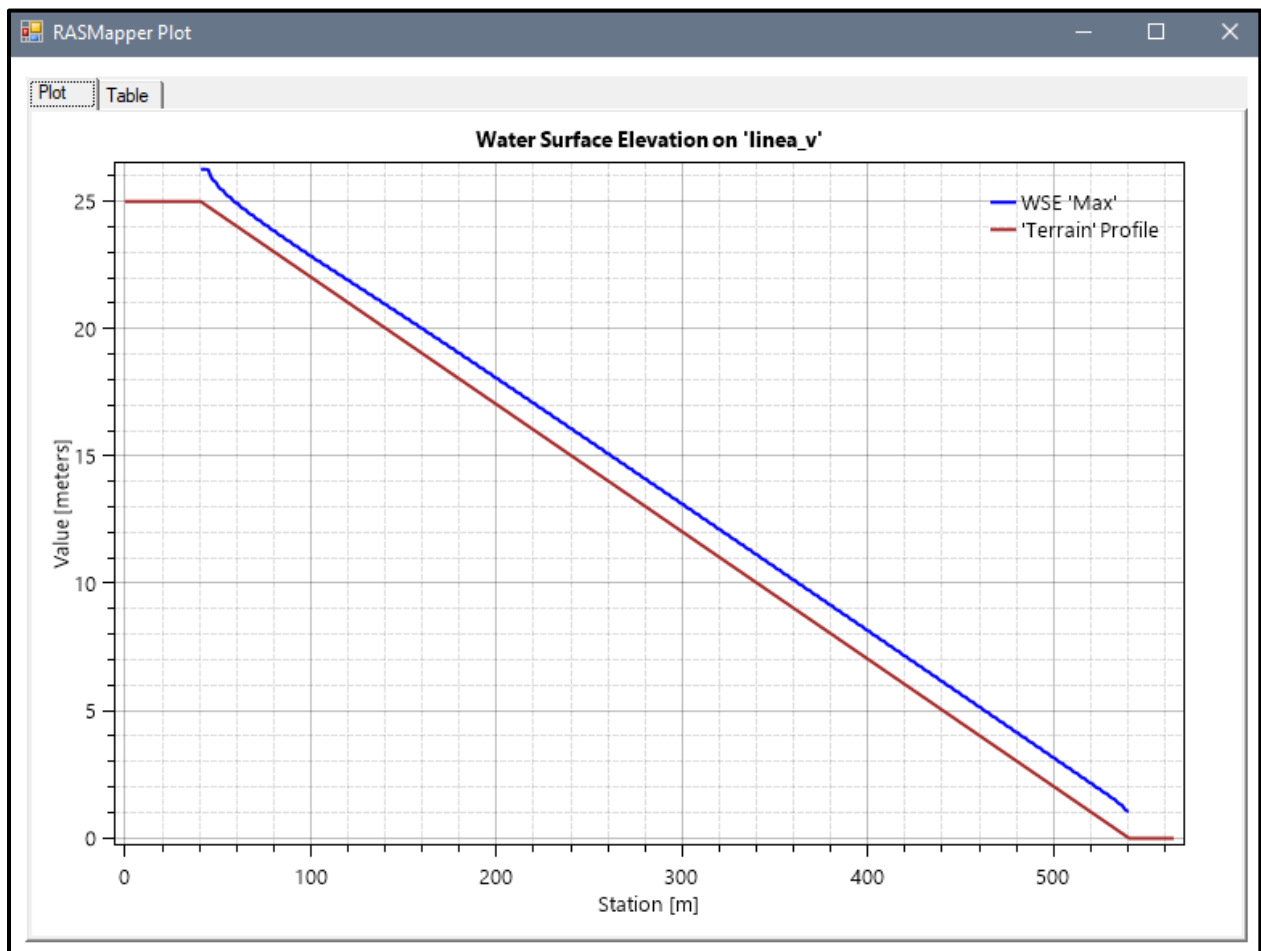


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 25

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 108 Gráfico de resultados del Modelo N°26

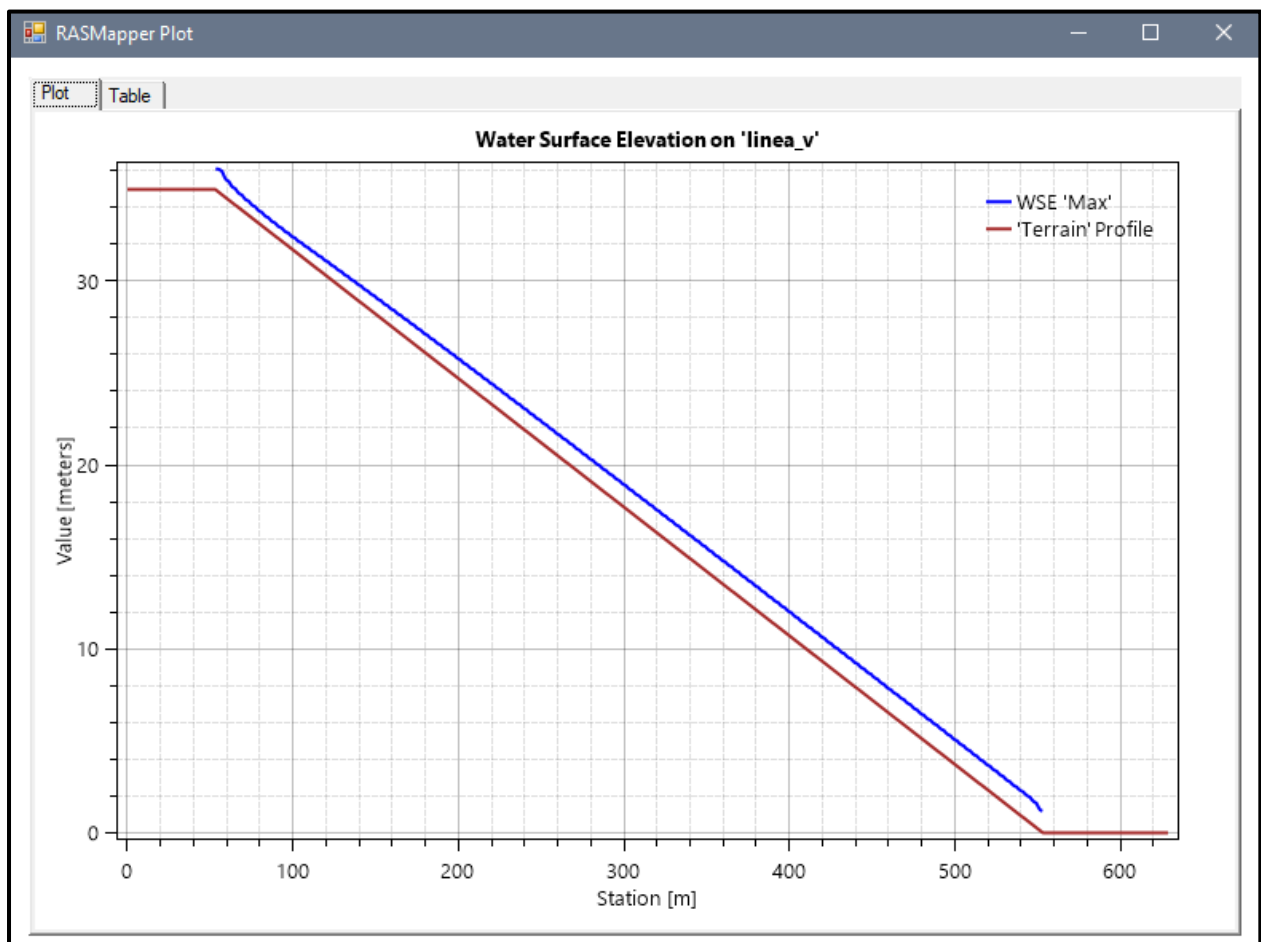


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 26

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

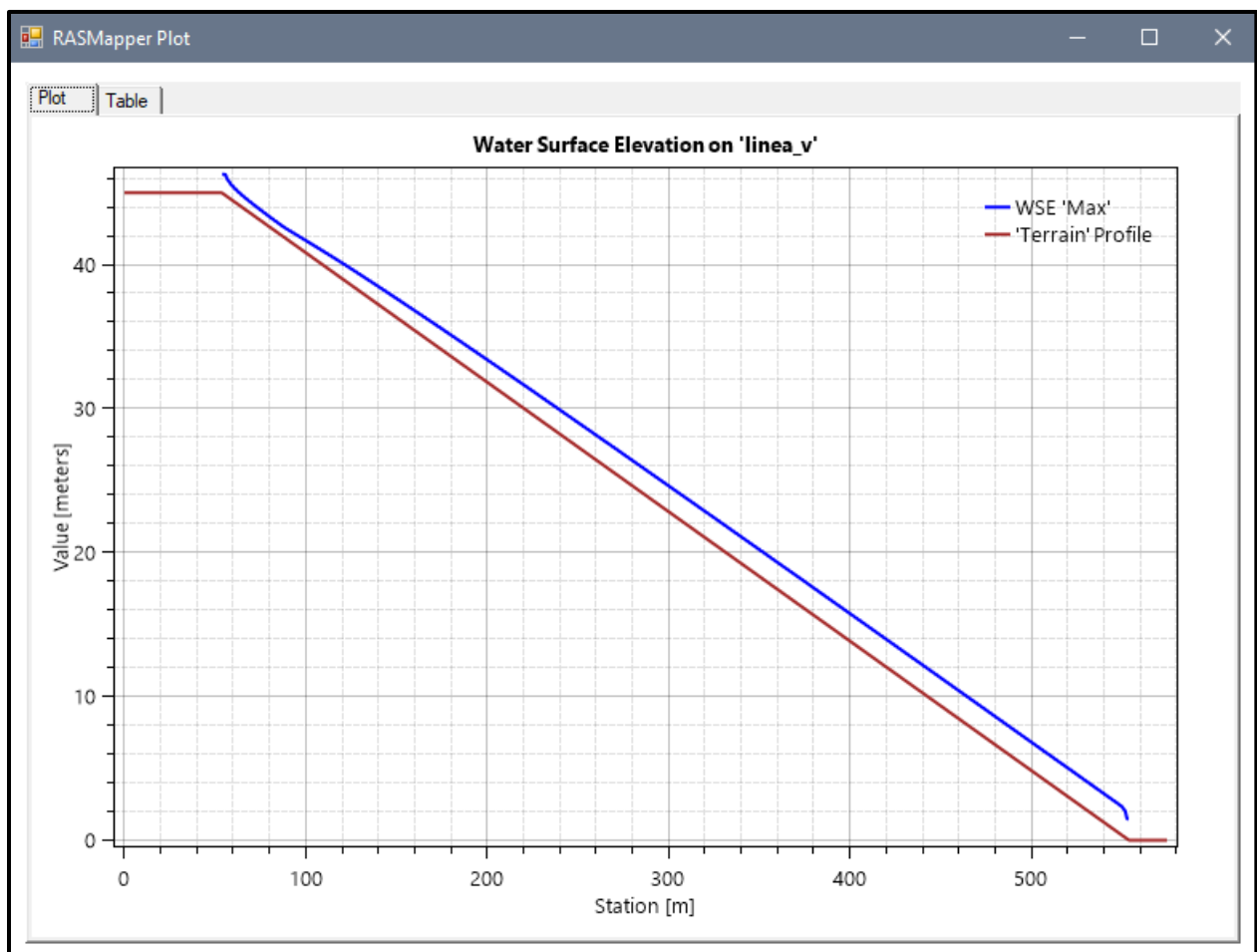
Figura N° 109 Gráfico de resultados del Modelo N°26



Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 27

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

Figura N° 110 Gráfico de resultados del Modelo N°27

Fuente: Elaboración propia

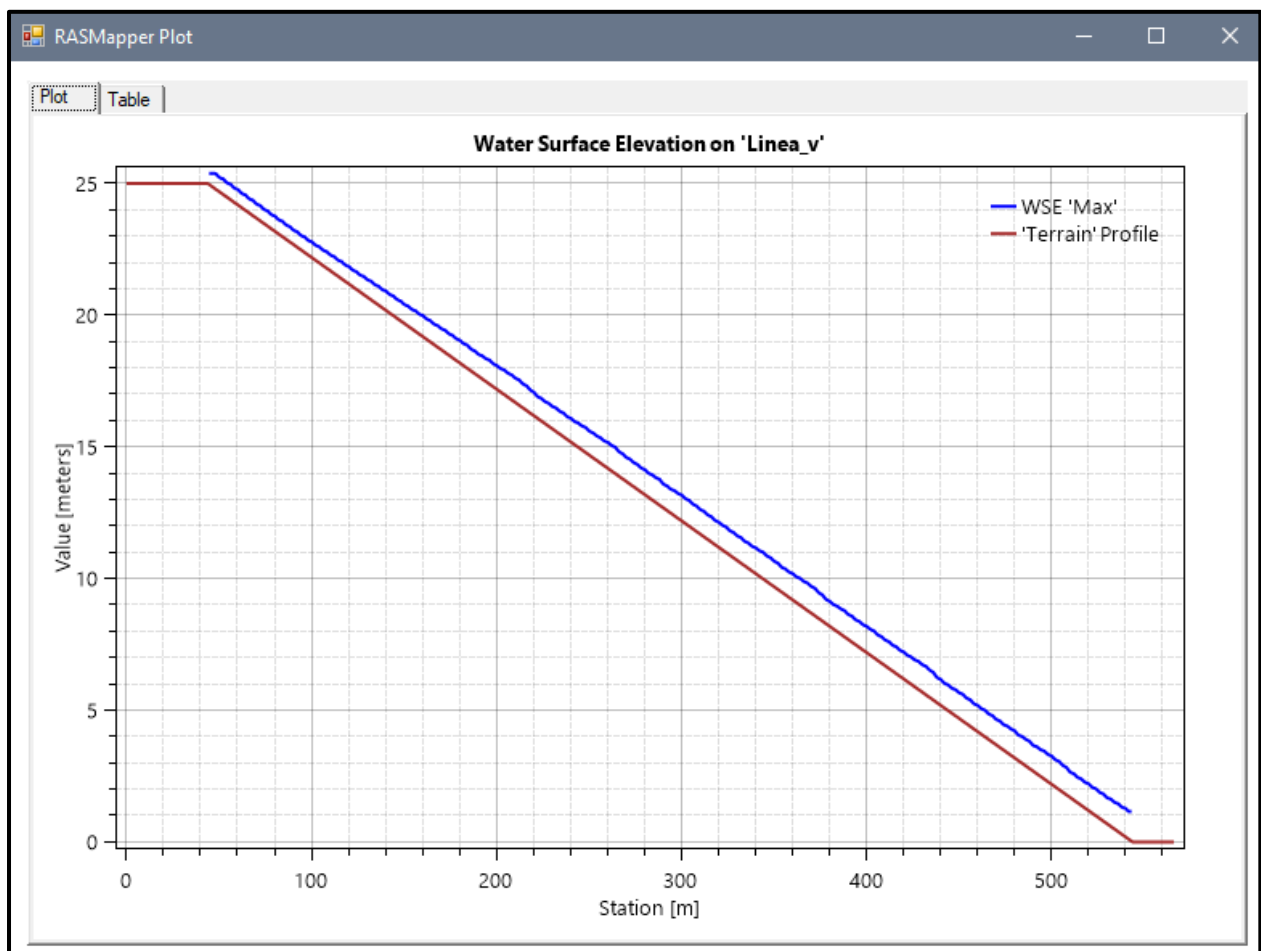
ECUACIÓN " SWE-ELM "

En los siguientes 27 modelos se le agrego las concentraciones volumétricas para así evaluar el comportamiento del tirante y velocidad.

MODELO N°1

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- $C_v = 0.35$

Figura N° 111 Gráfico de resultados del Modelo N°1 adicionando C_v

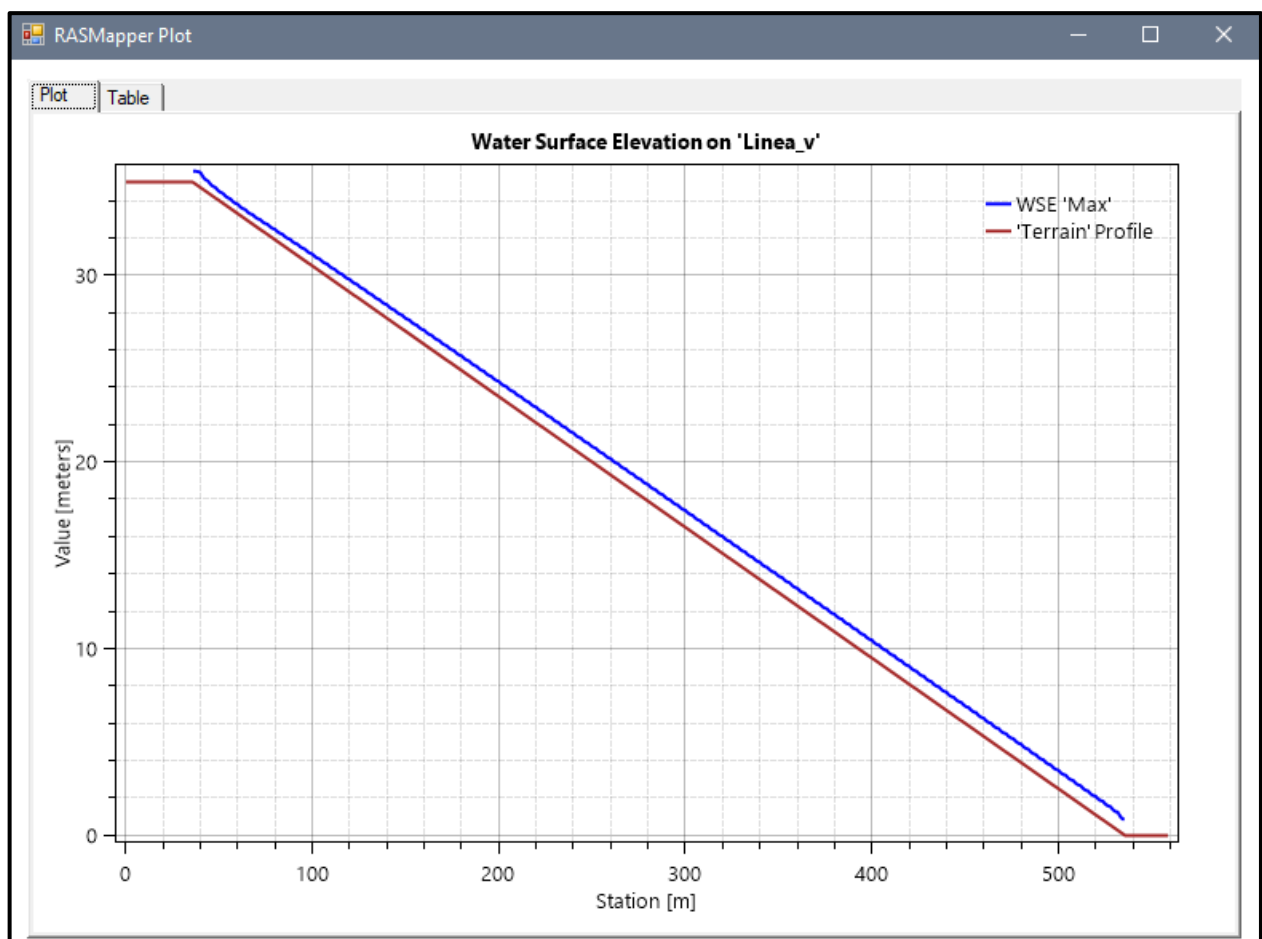


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°2

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 112 Gráfico de resultados del Modelo N°2 adicionando Cv

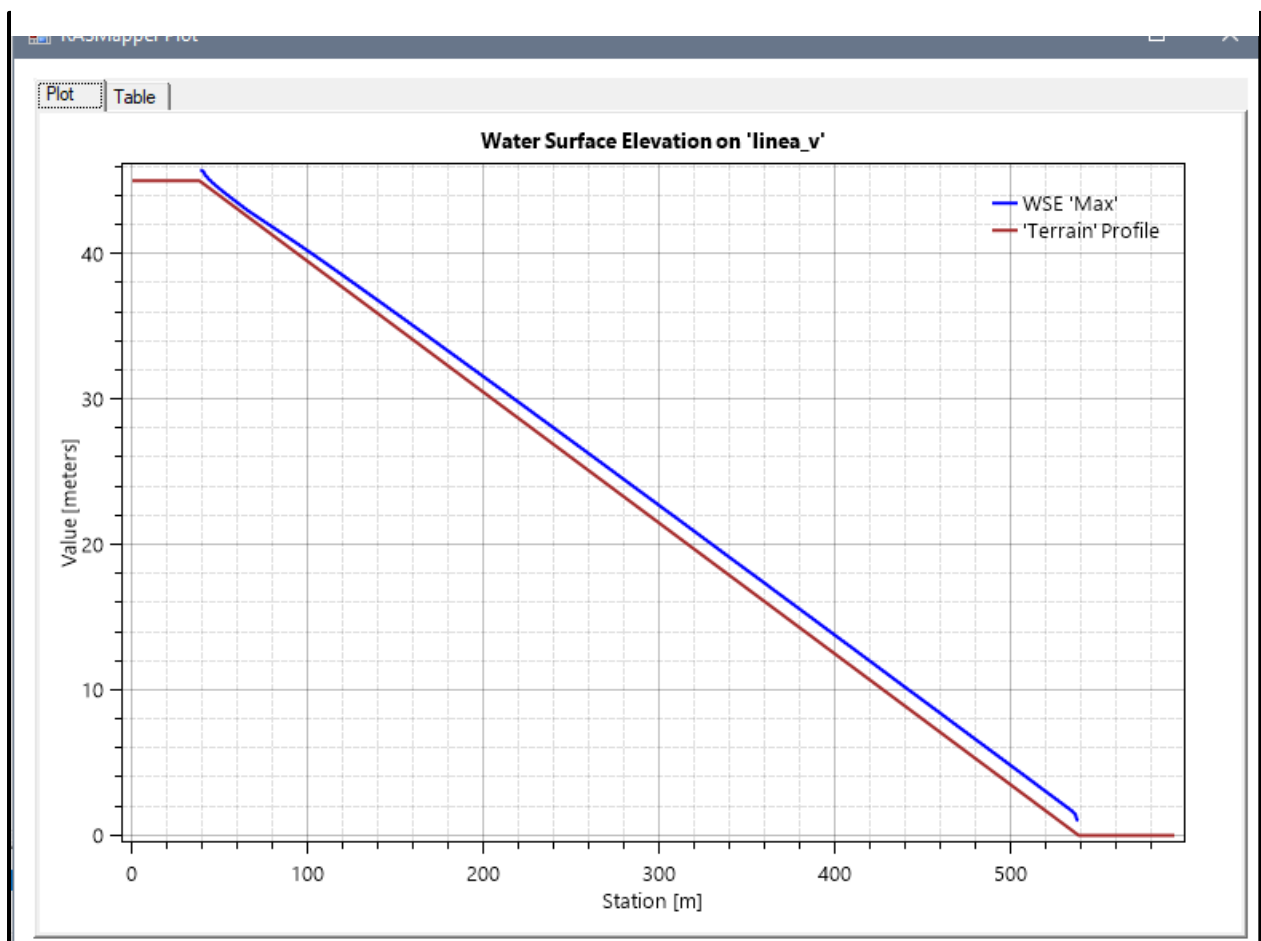


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°3

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 113 Gráfico de resultados del Modelo N°3 adicionando Cv

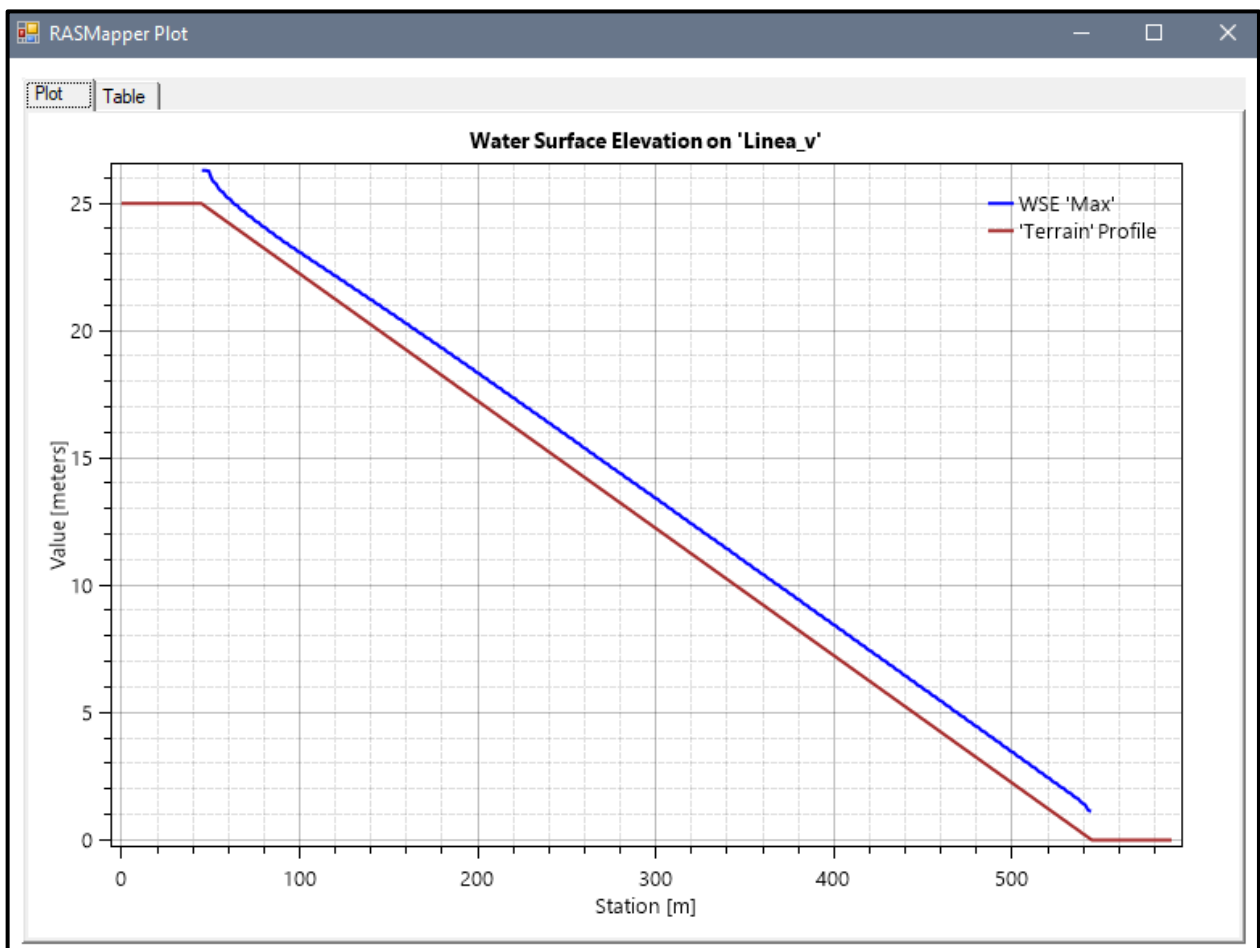


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°4

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 114 Gráfico de resultados del Modelo N°4 adicionando Cv

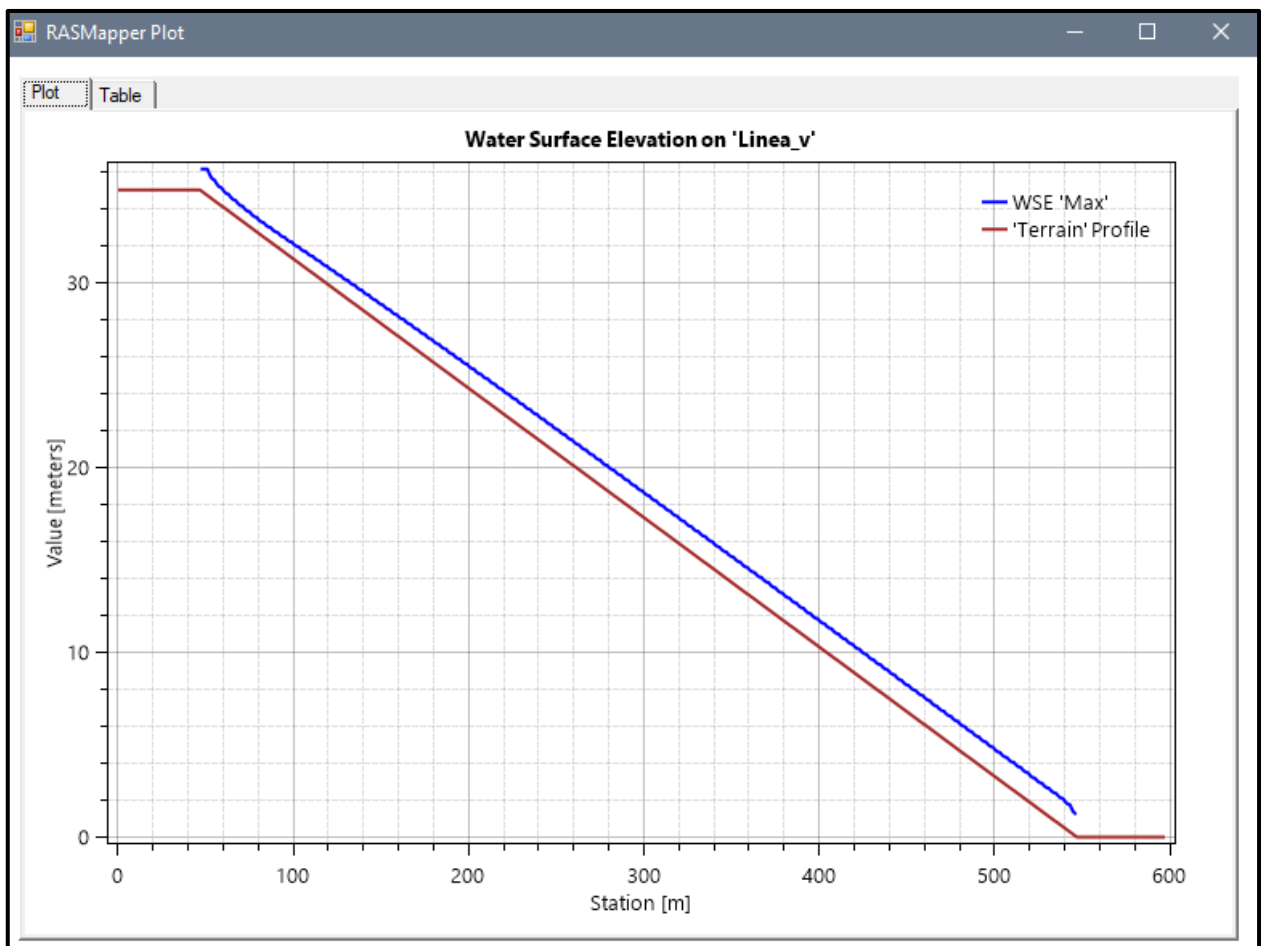


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°5

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 115 Gráfico de resultados del Modelo N°5 adicionando Cv

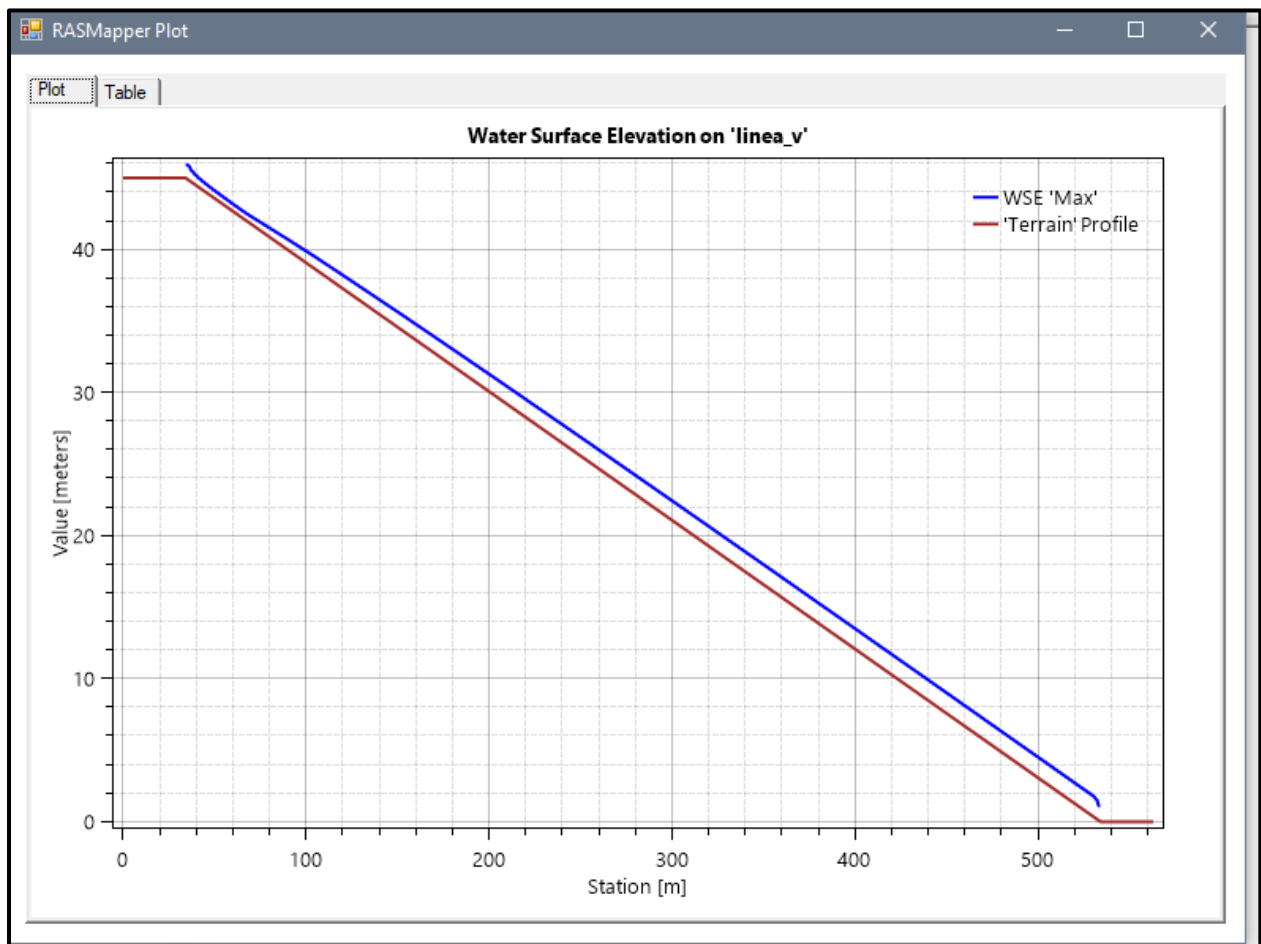


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°6

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 116 Gráfico de resultados del Modelo N°6 adicionando Cv

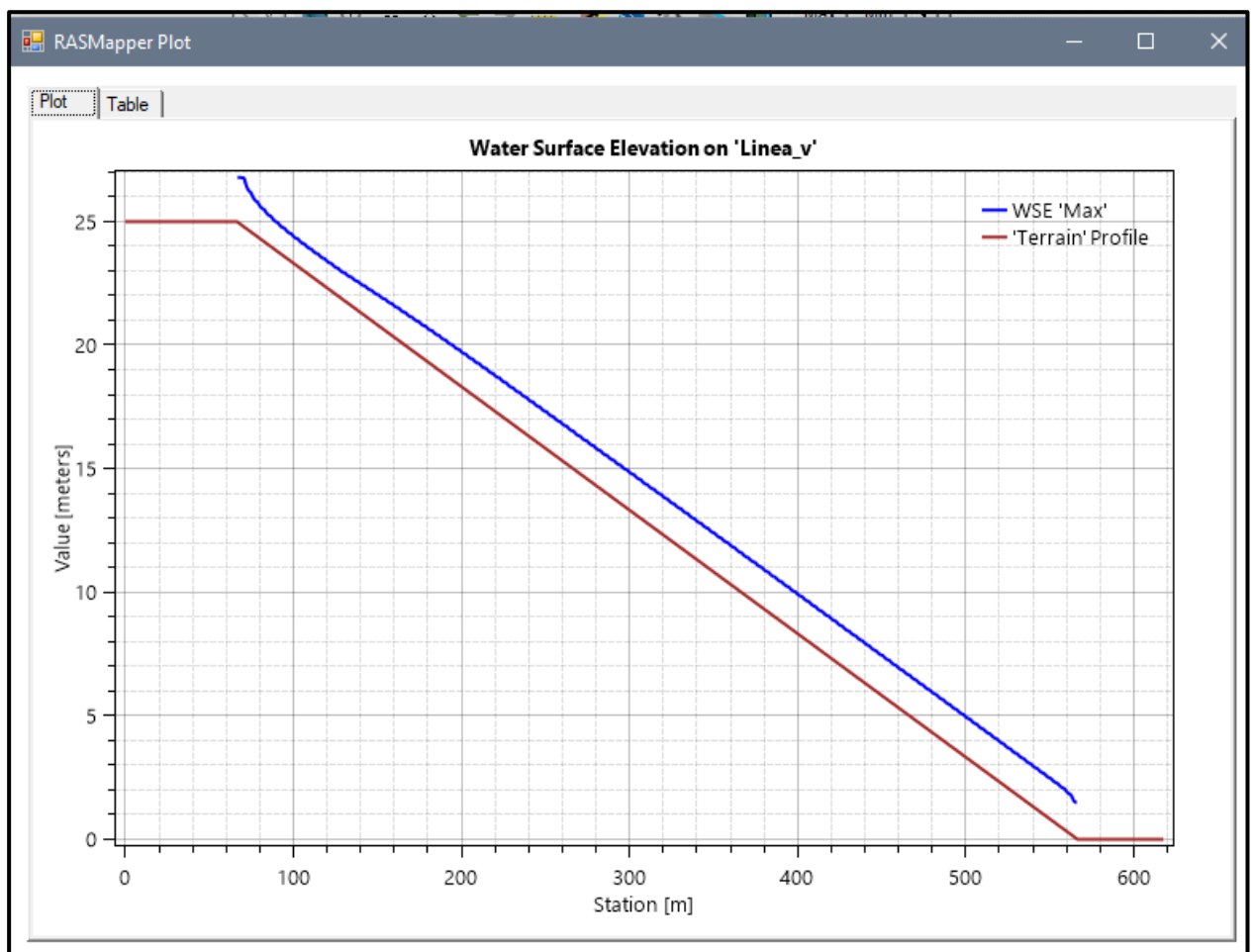


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°7

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 117 Gráfico de resultados del Modelo N°7 adicionando Cv

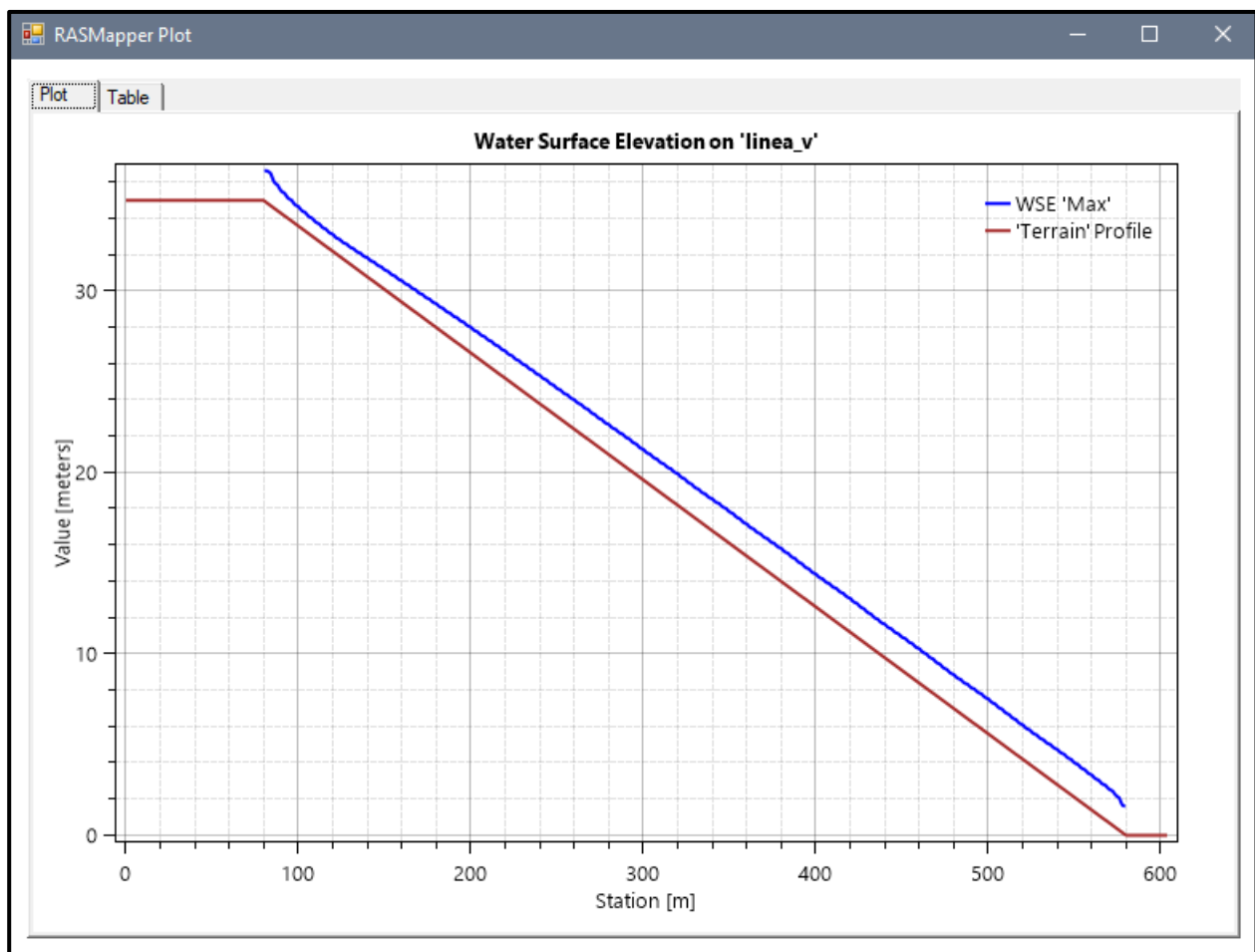


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°8

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 118 Gráfico de resultados del Modelo N°8 adicionando Cv

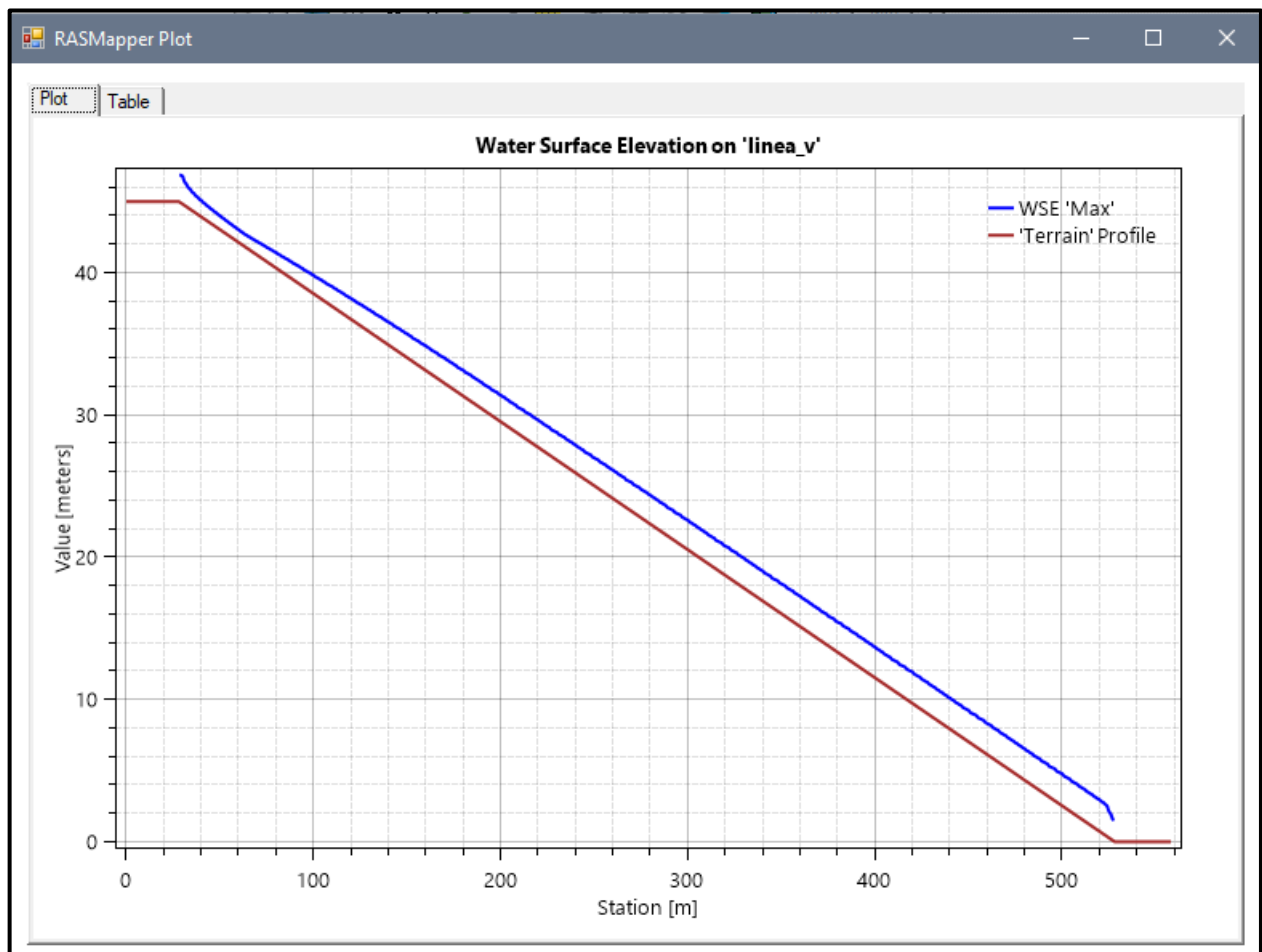


Fuente: Elaboración propia

MODELO N°9

- Pendiente: 0.09m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 119 Gráfico de resultados del Modelo N°9 adicionando Cv

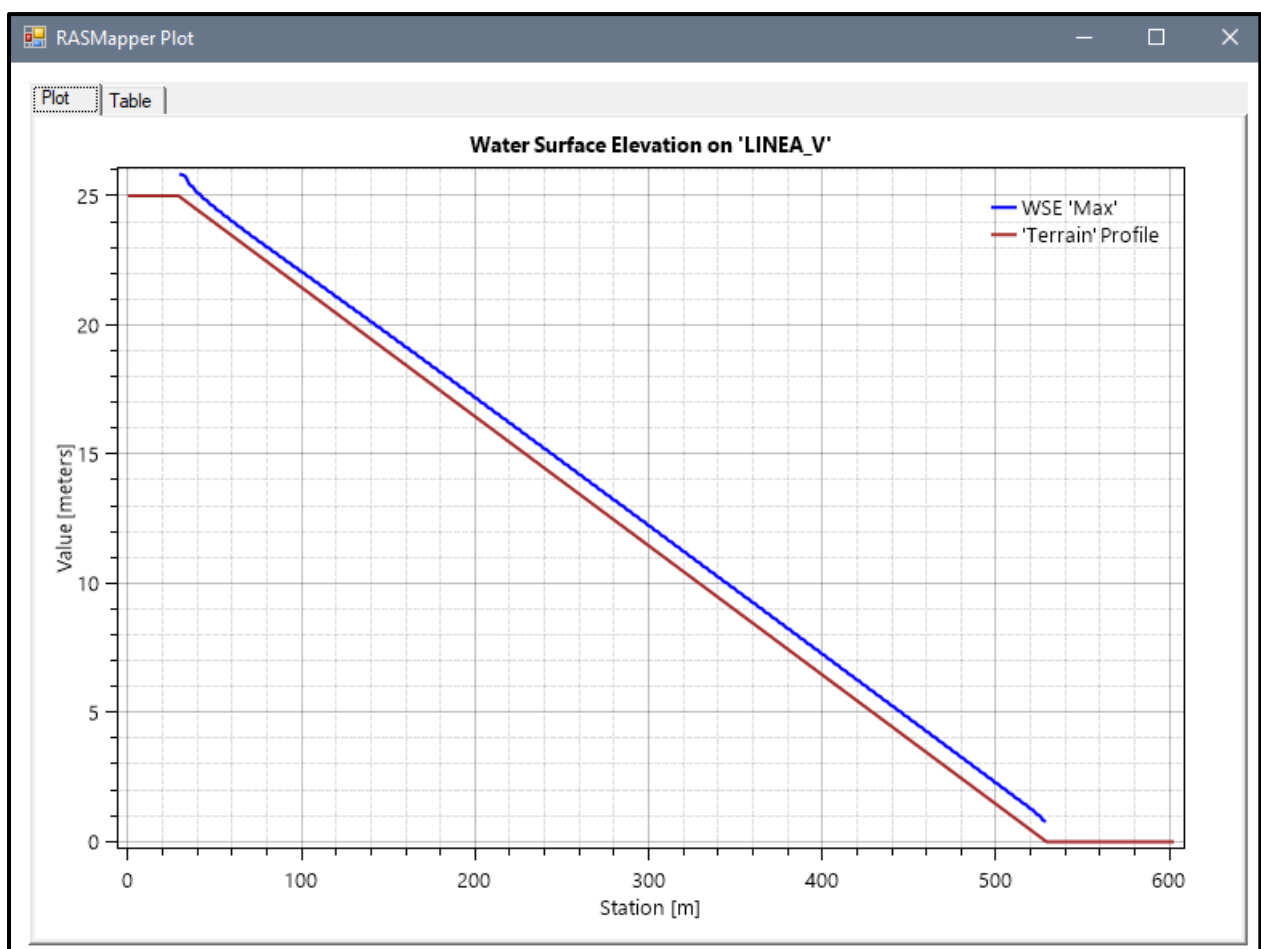


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 10

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- $C_v=0.45$

Figura N° 120 Gráfico de resultados del Modelo N°10 adicionando C_v

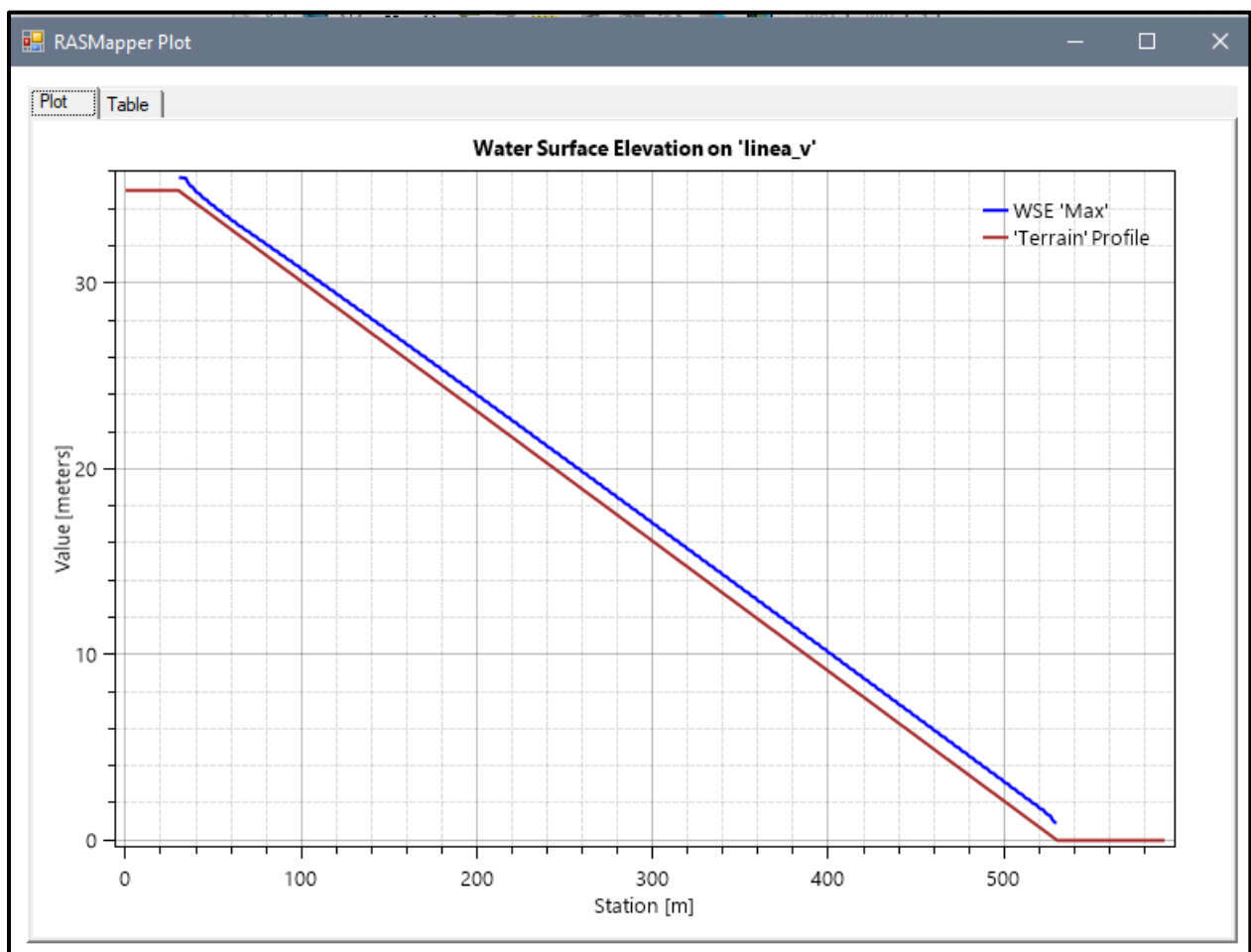


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 11

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 100m/s2
- Rugosidad: 0.040
- $C_v=0.45$

Figura N° 121 Gráfico de resultados del Modelo N°11 adicionando C_v

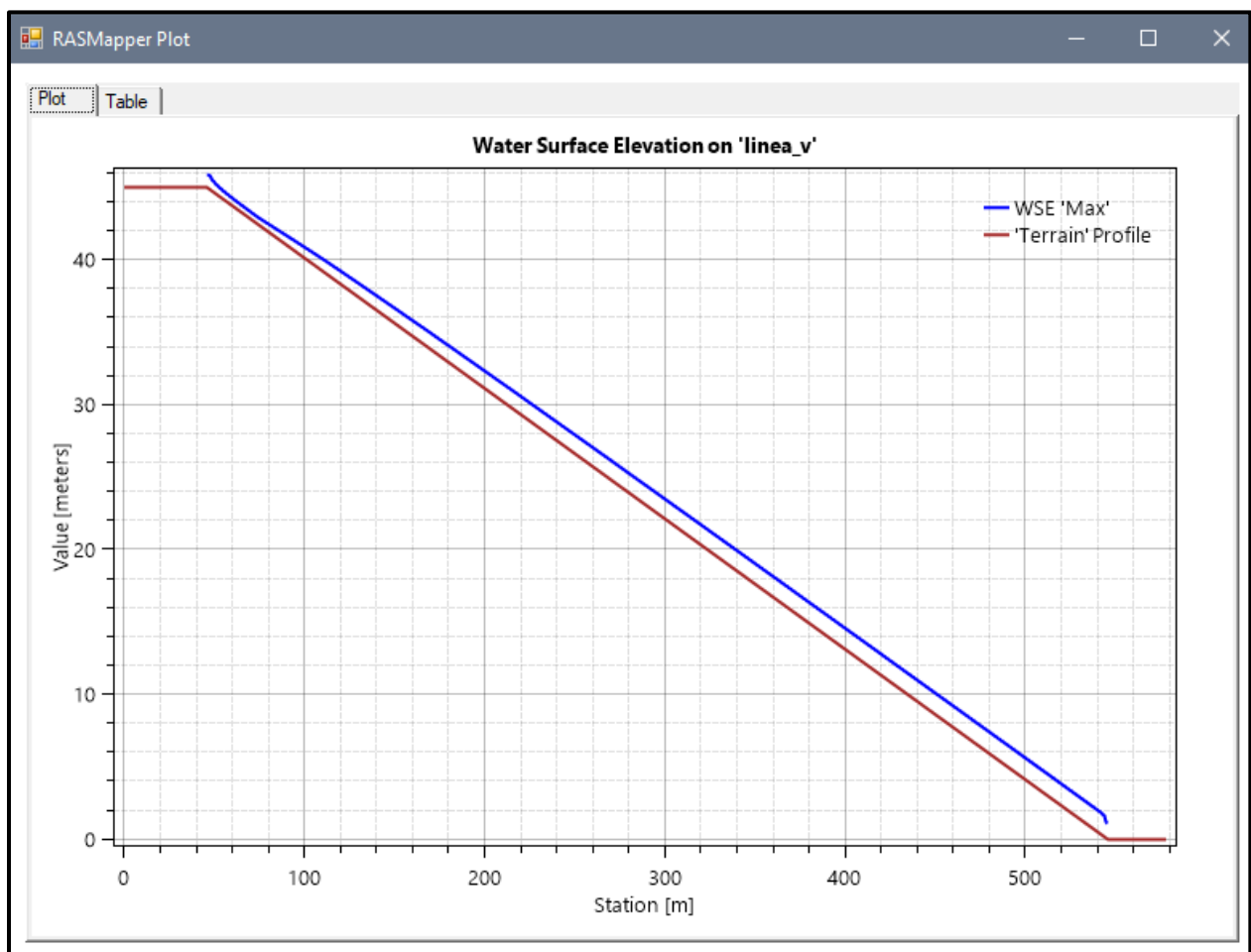


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 12

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 100m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 122 Gráfico de resultados del Modelo N°12 adicionando Cv

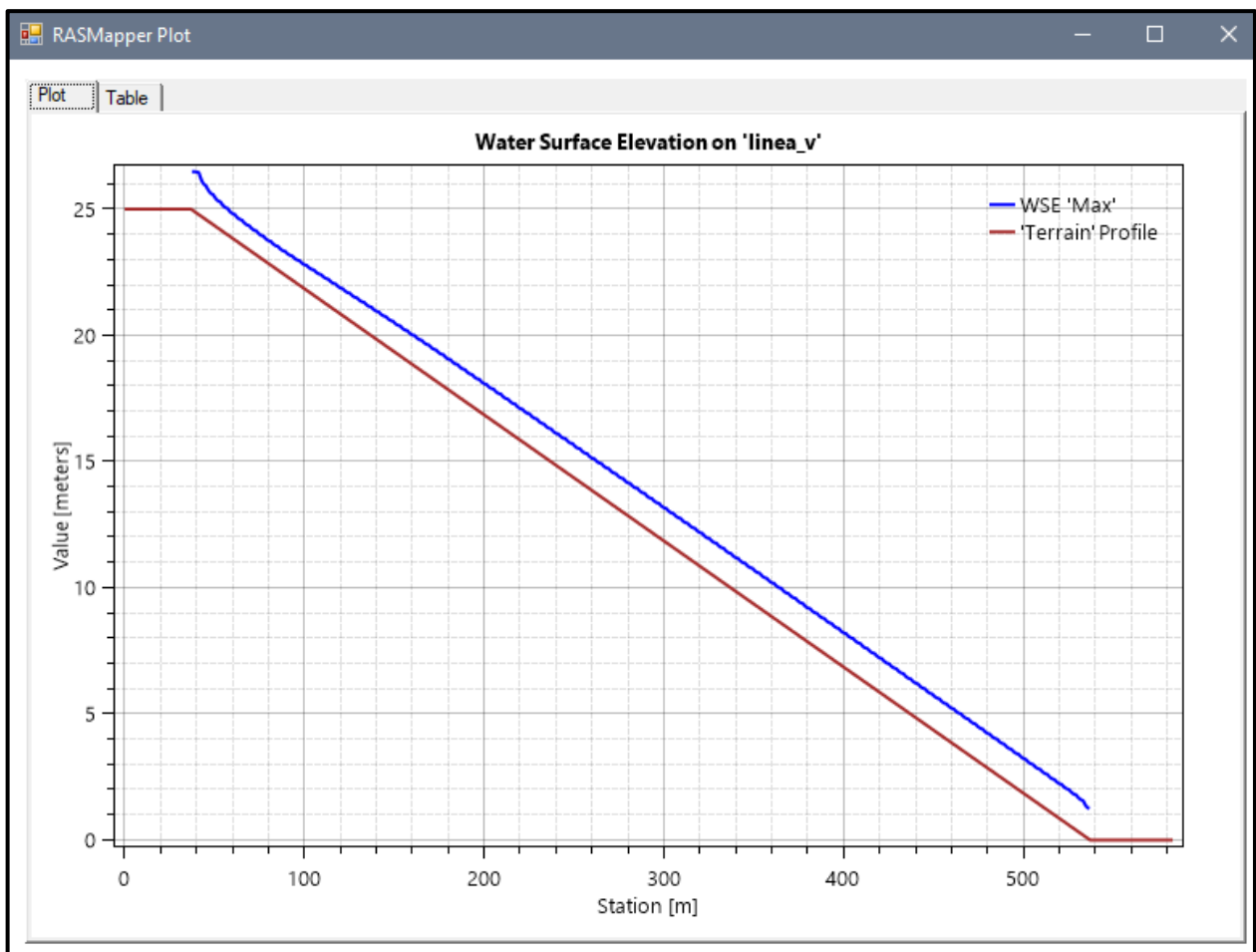


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 13

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 123 Gráfico de resultados del Modelo N°13 adicionando Cv

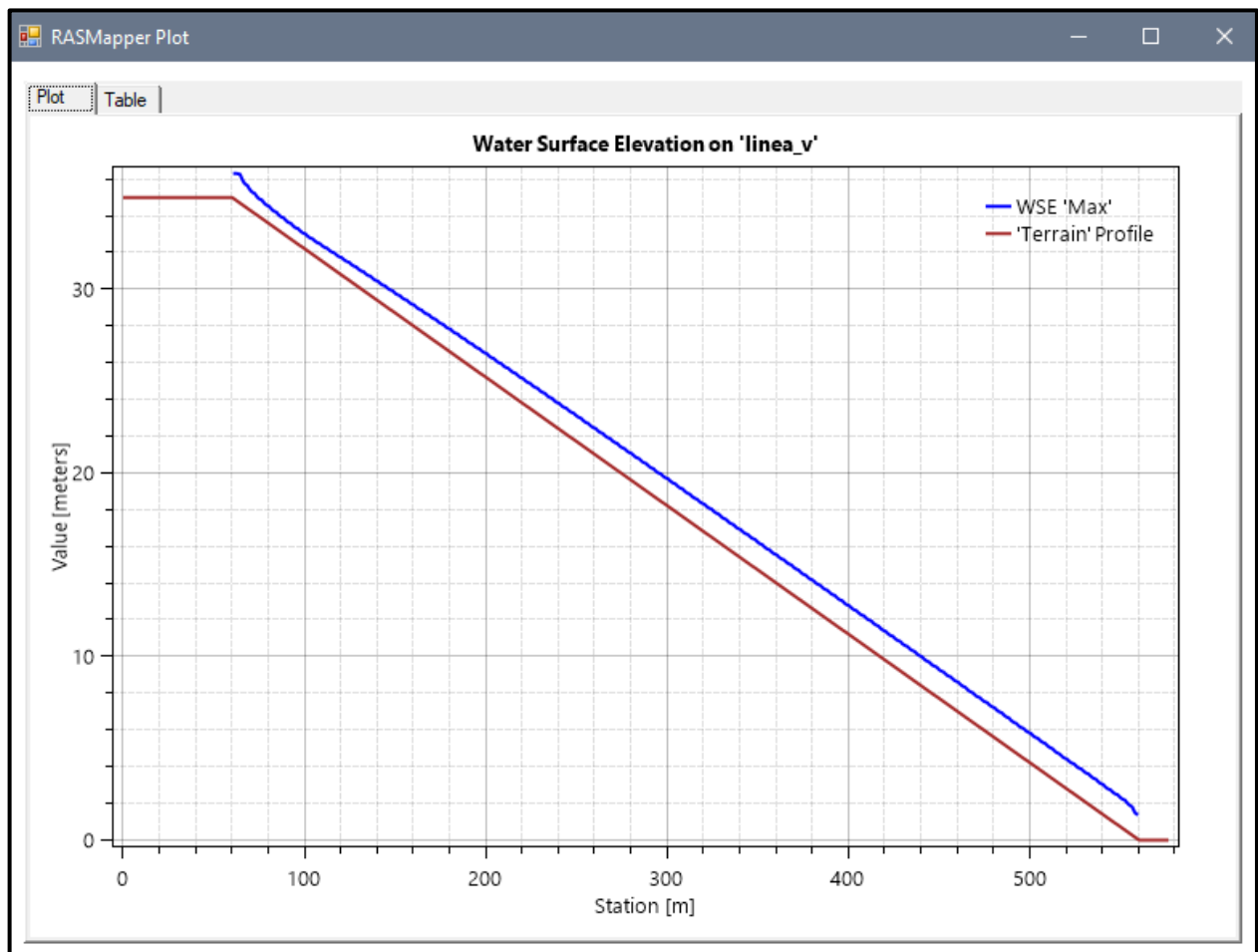


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 14

- Pendiente: 0.07m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 124 Gráfico de resultados del Modelo N°14 adicionando Cv

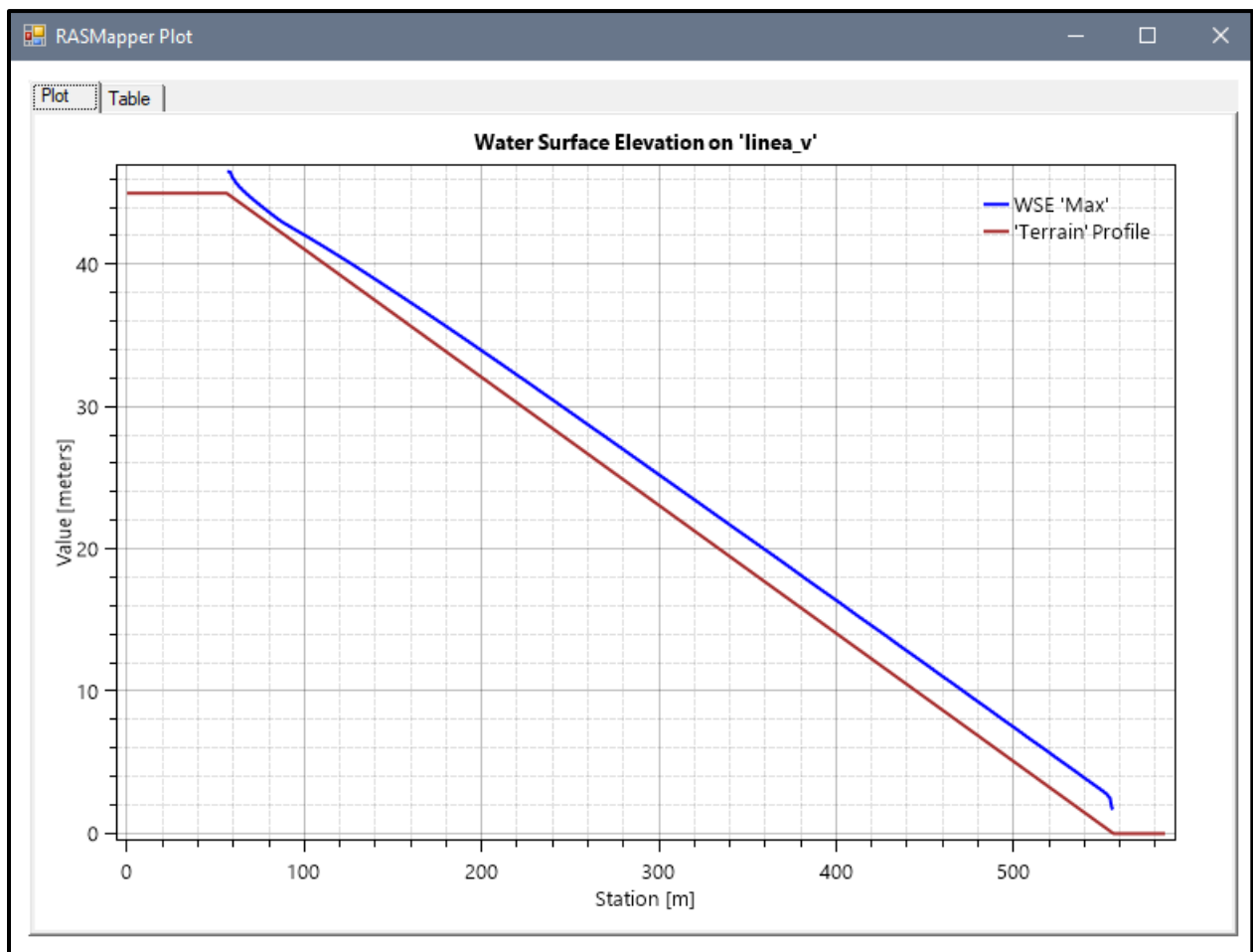


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 15

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 200m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 125 Gráfico de resultados del Modelo N°15 adicionando Cv

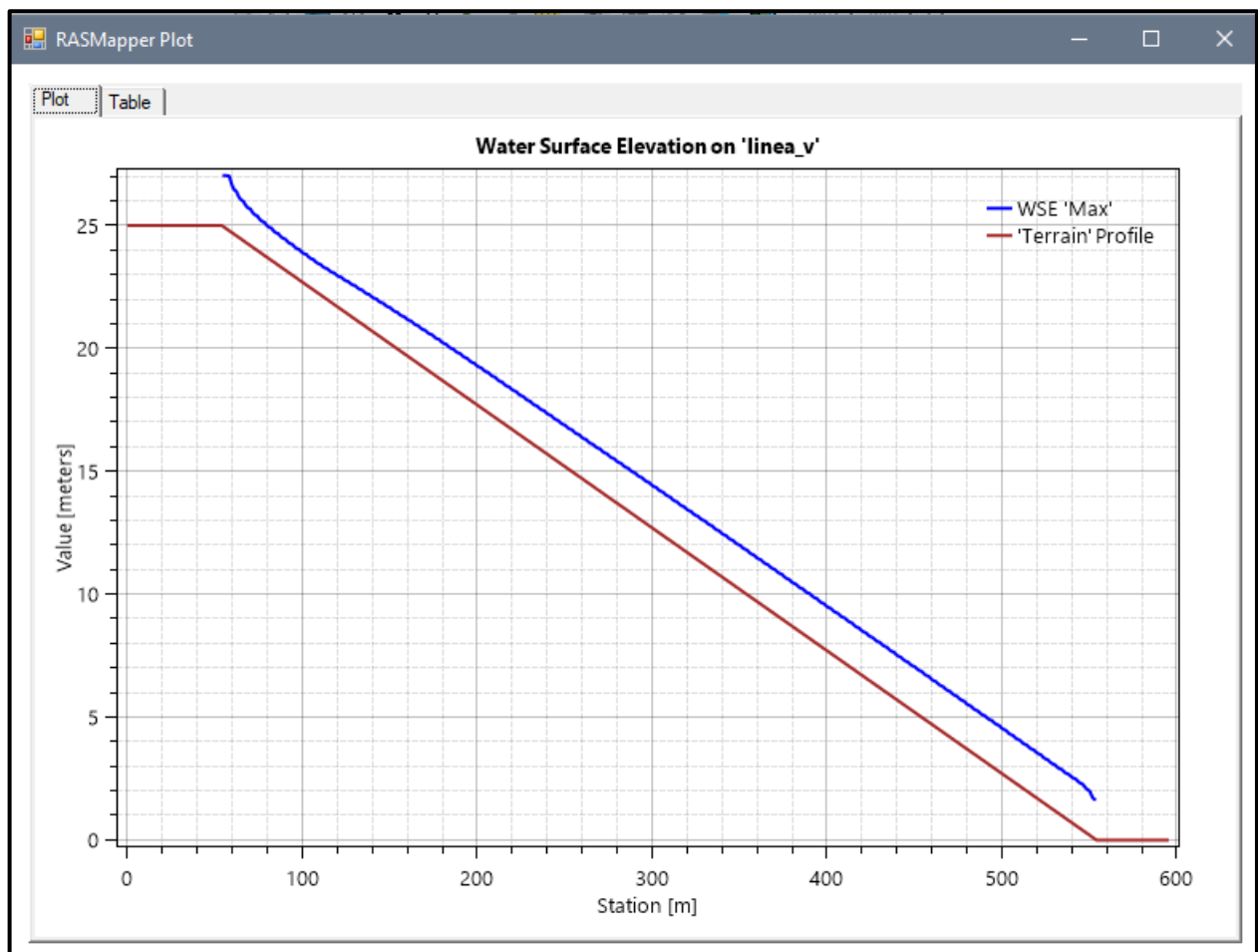


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 16

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 126 Gráfico de resultados del Modelo N°16 adicionando Cv

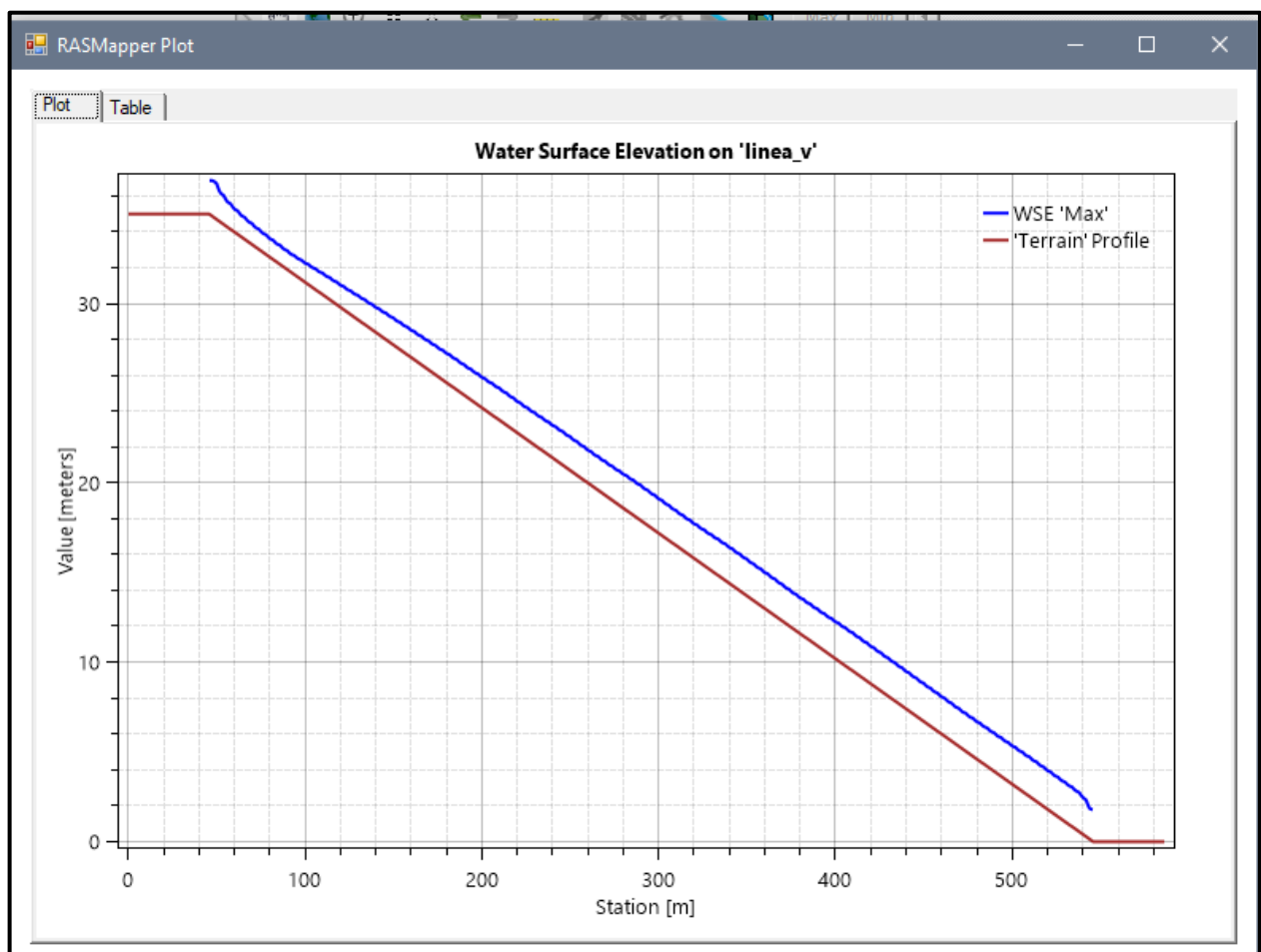


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 17

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 127 Gráfico de resultados del Modelo N°17 adicionando Cv

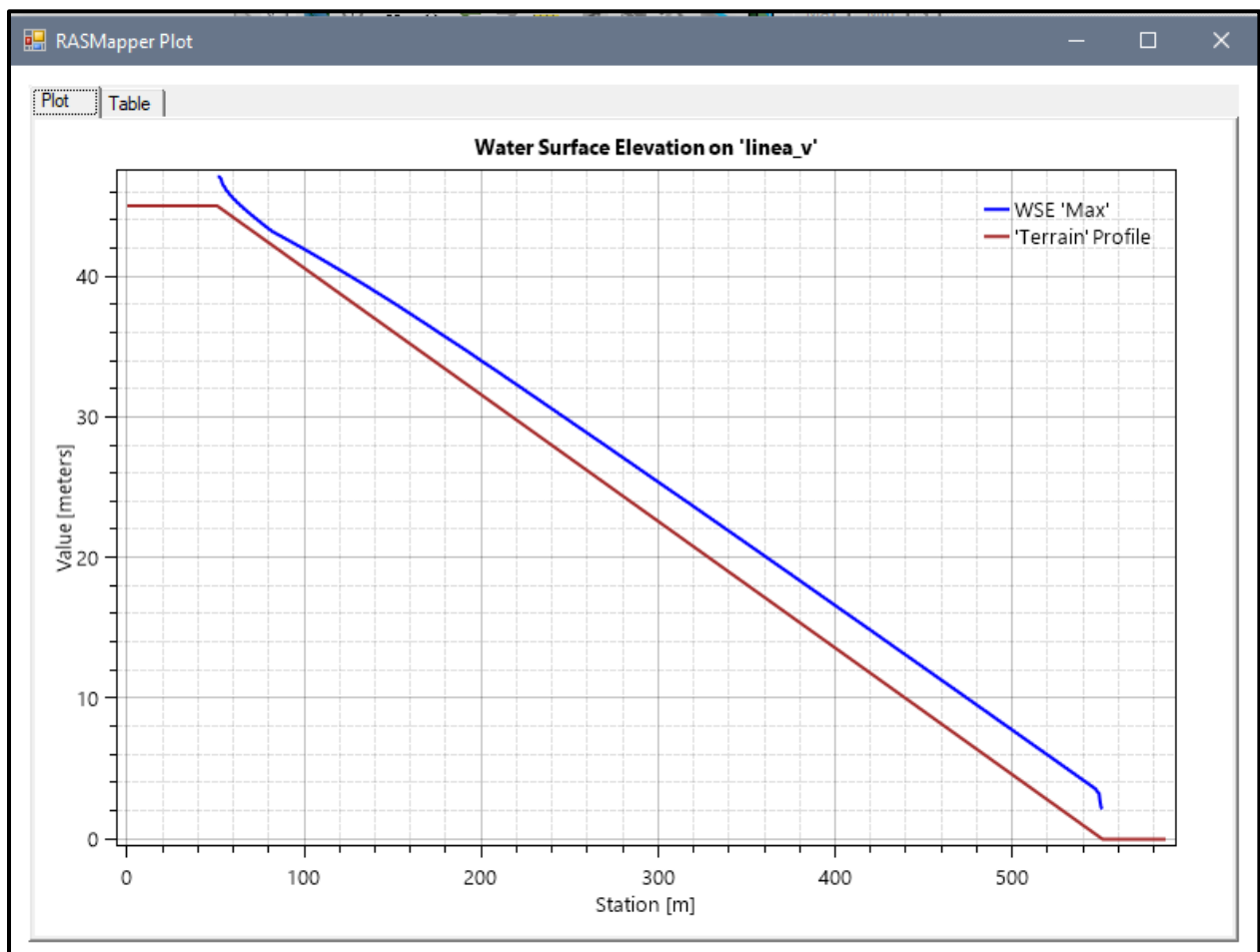


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 18

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.45

Figura N° 128 Gráfico de resultados del Modelo N°18 adicionando Cv

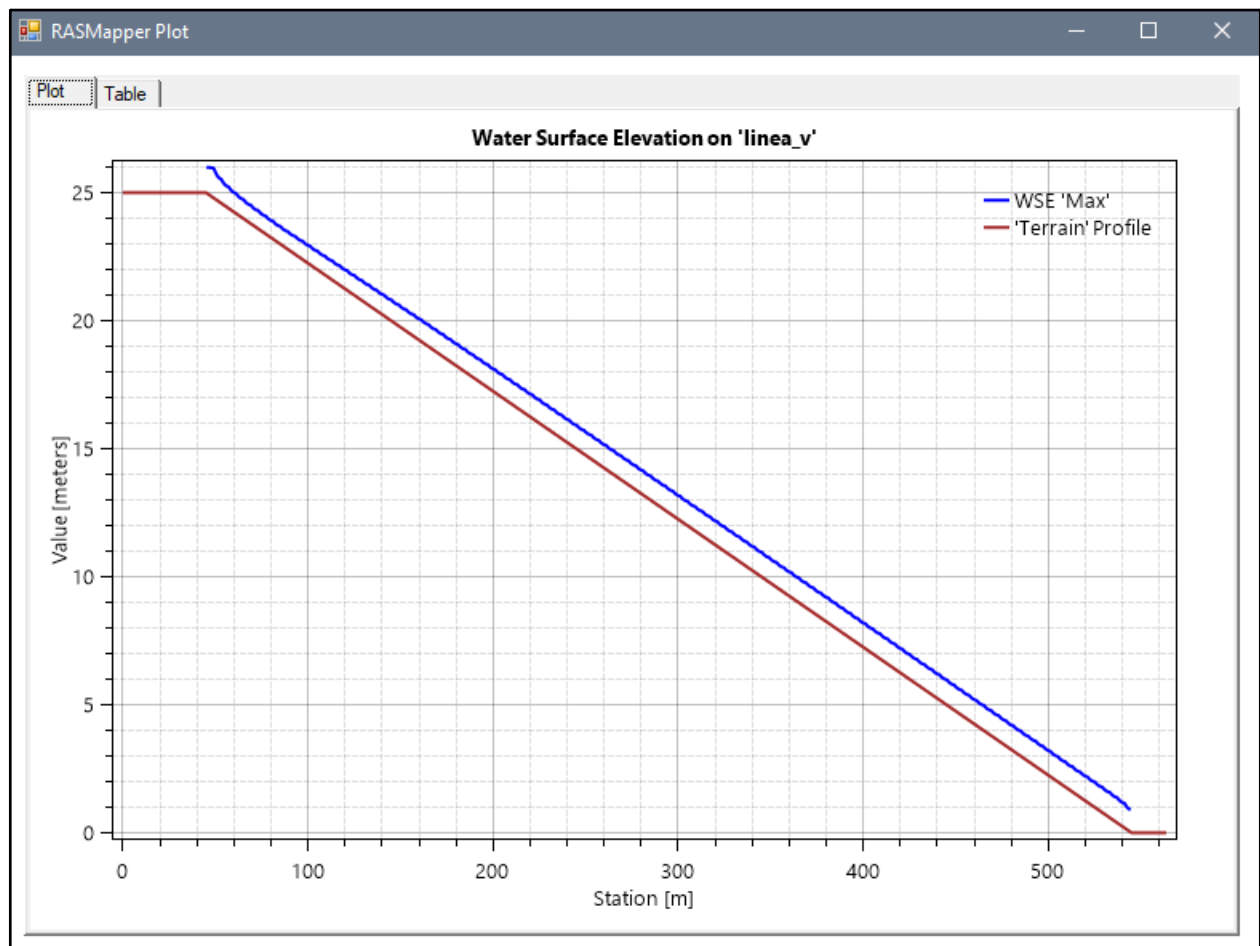


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 19

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 129 Gráfico de resultados del Modelo N°19 adicionando Cv

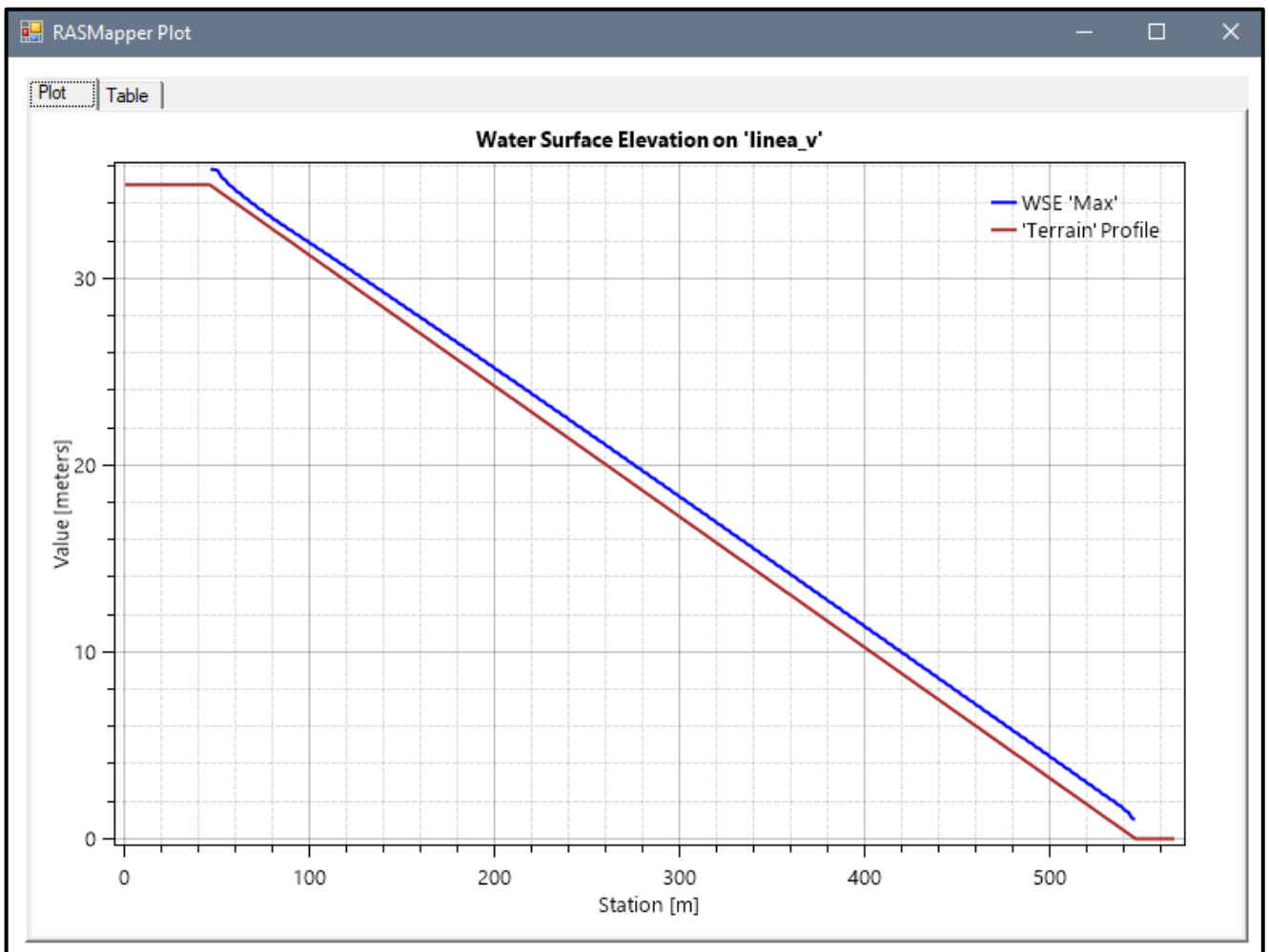


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 20

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 130 Gráfico de resultados del Modelo N°20 adicionando Cv

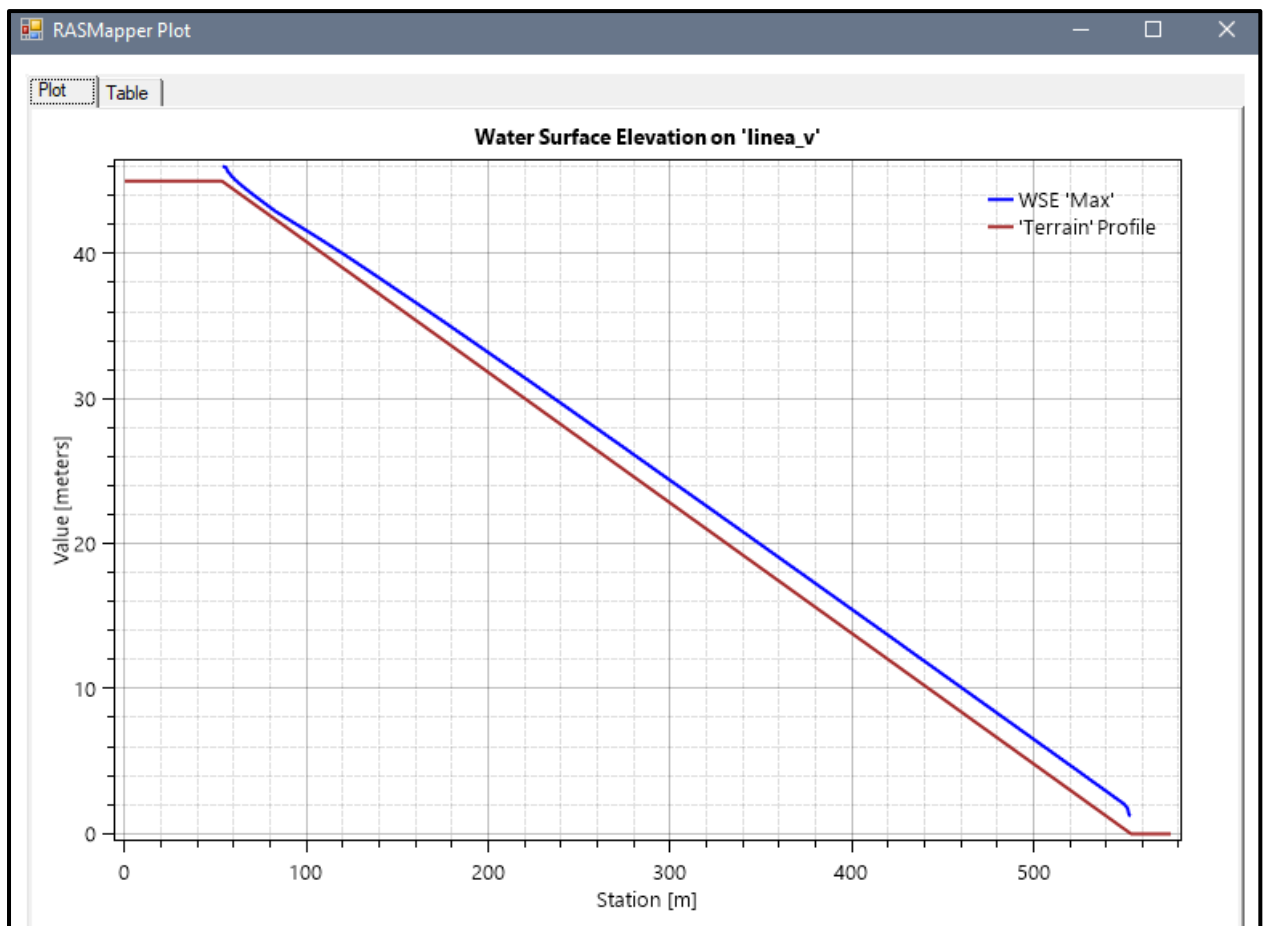


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 21

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 131 Gráfico de resultados del Modelo N°21 adicionando Cv

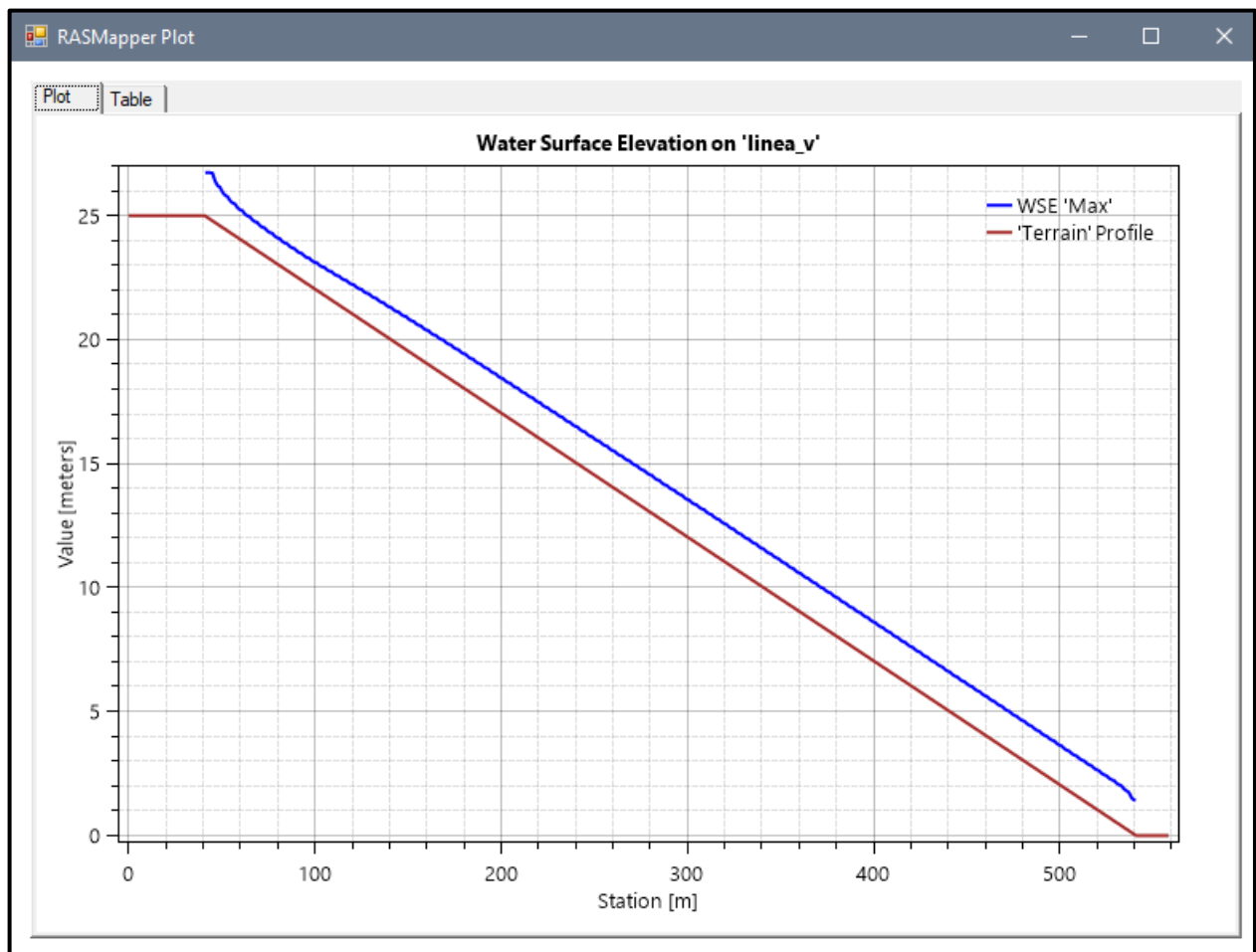


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 22

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s²
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 132 Gráfico de resultados del Modelo N°22 adicionando Cv

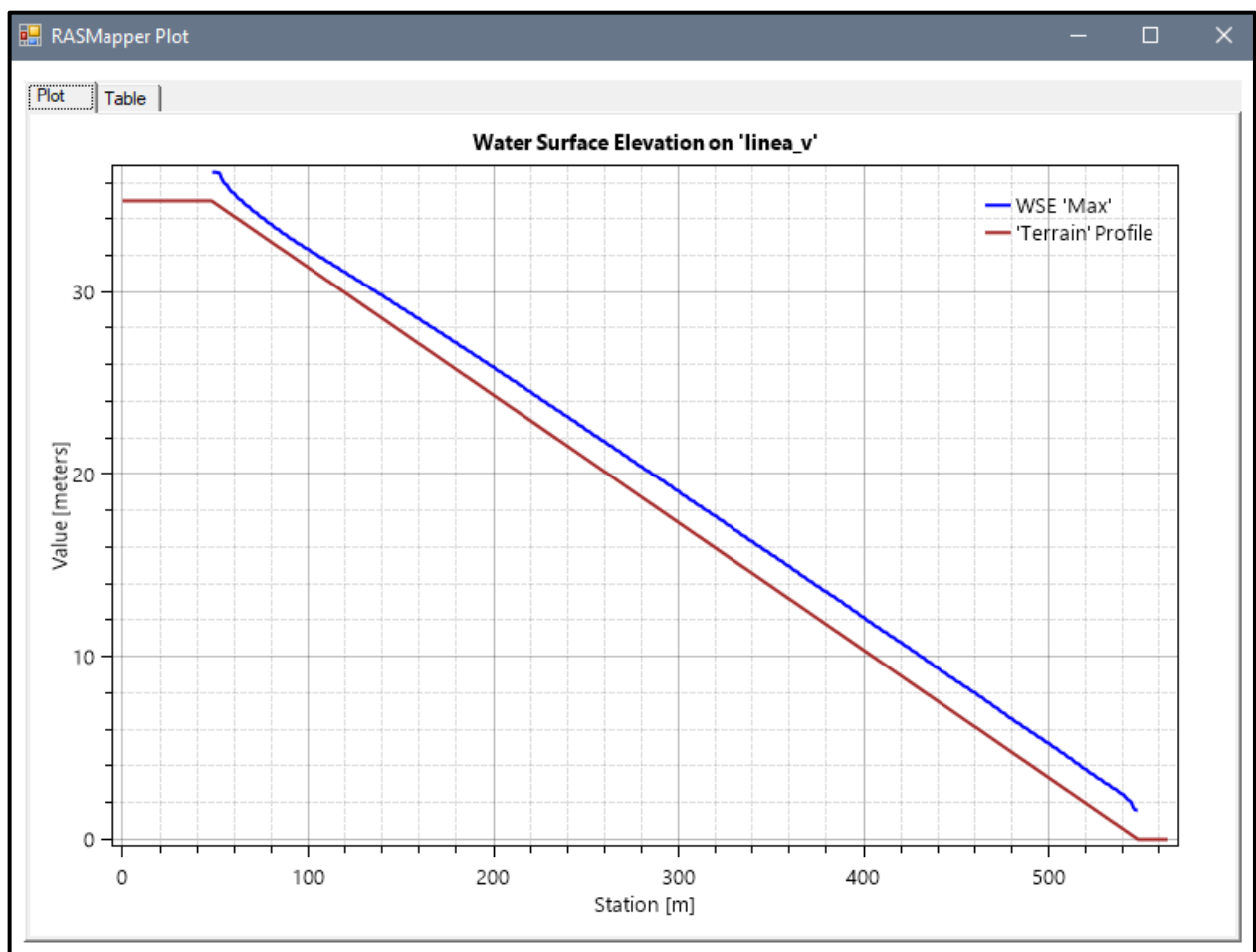


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 23

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 133 Gráfico de resultados del Modelo N°23 adicionando Cv

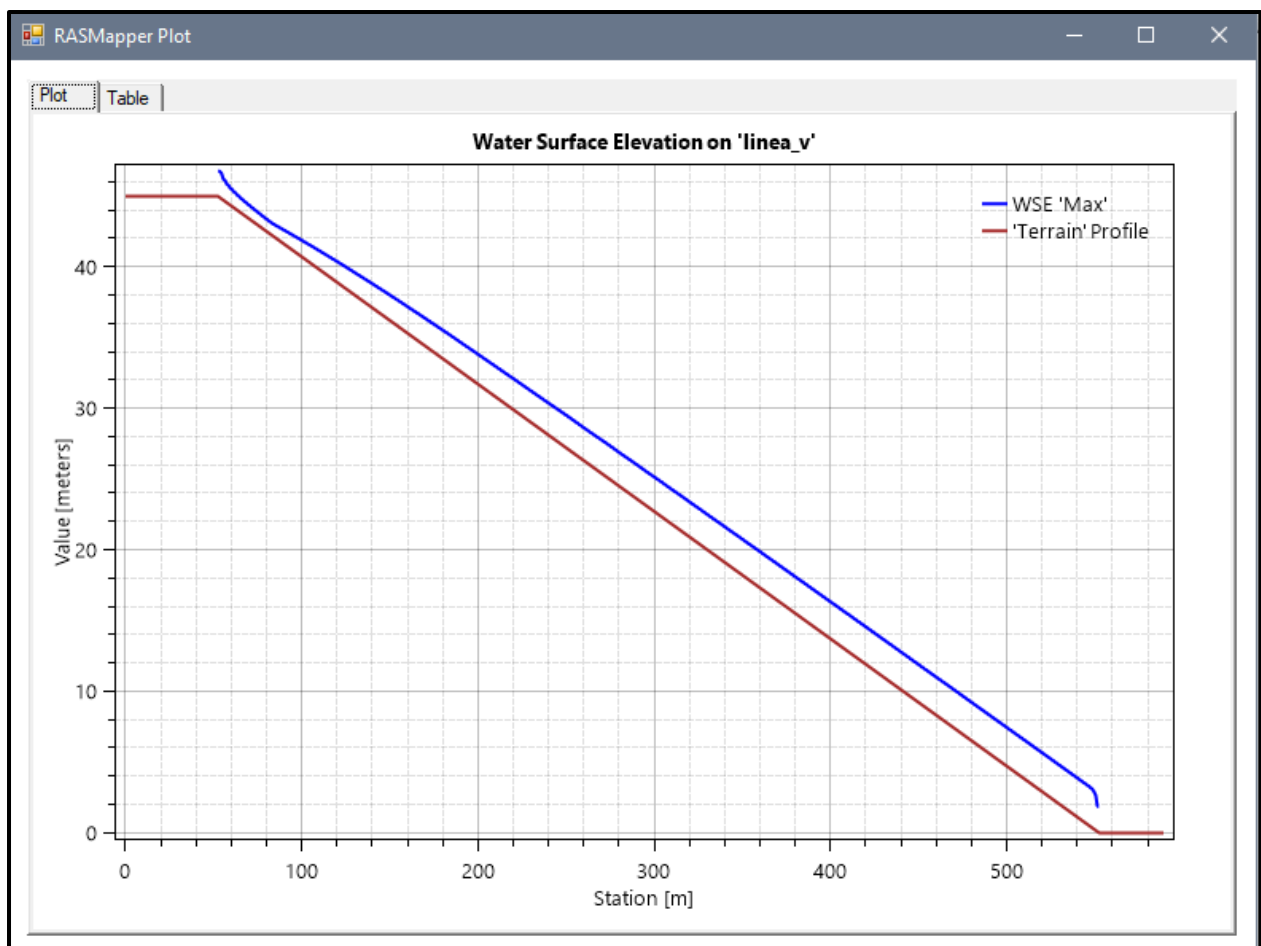


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 24

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 134 Gráfico de resultados del Modelo N24 adicionando Cv

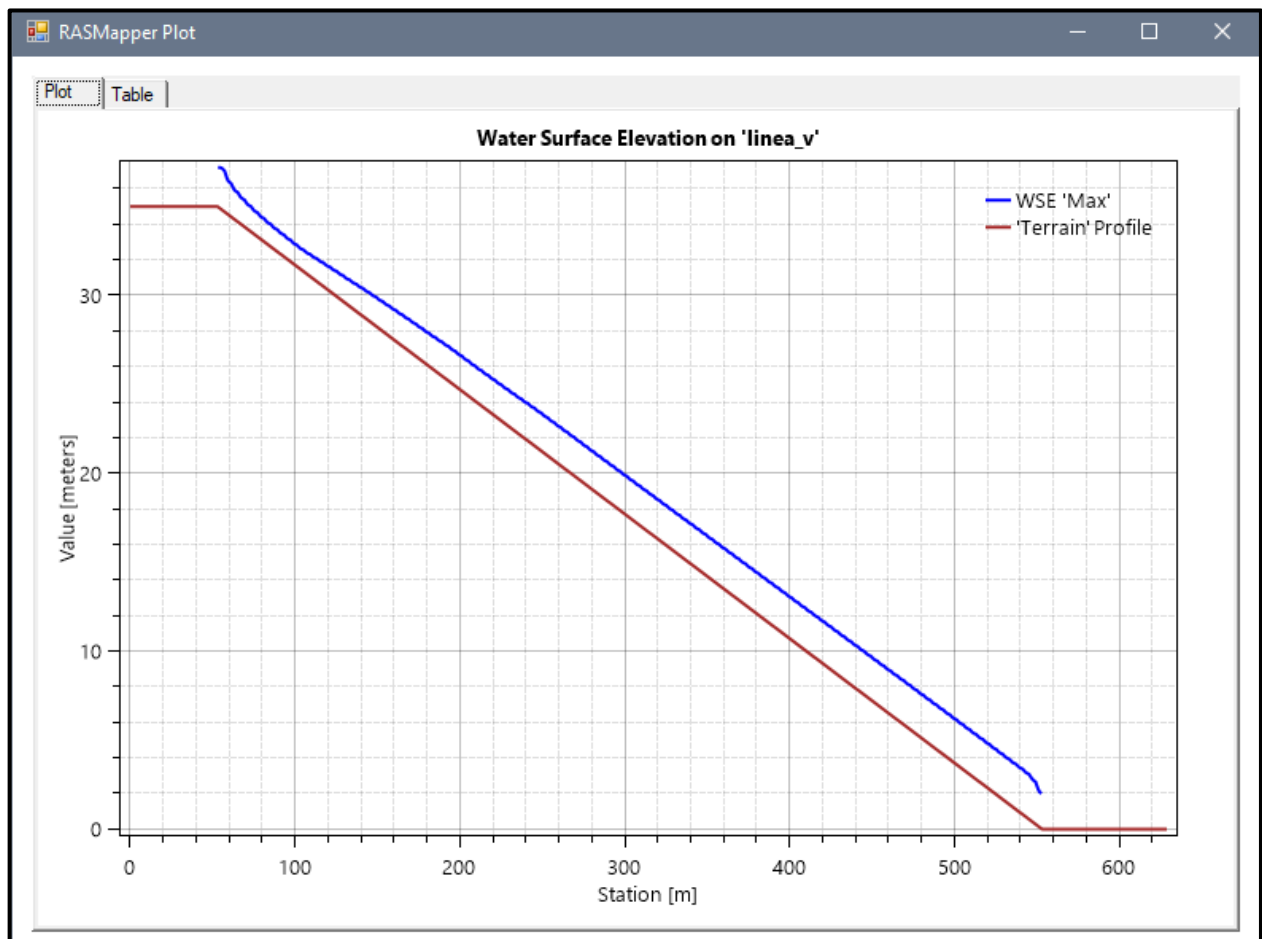


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 25

- Pendiente: 0.05 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

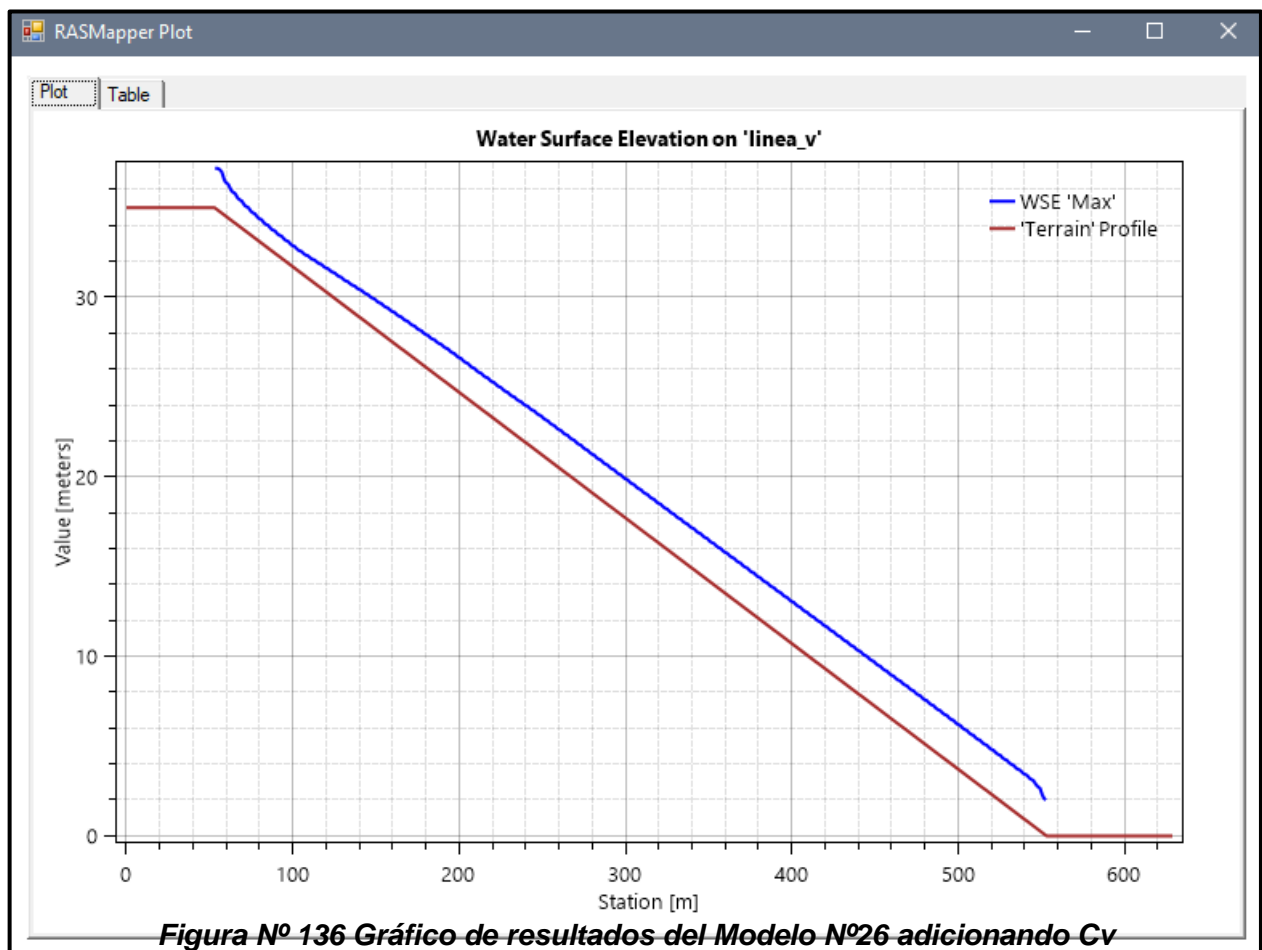
Figura N° 135 Gráfico de resultados del Modelo N°26 adicionando Cv



Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 26

- Pendiente: 0.07 m
- Malla computacional: 4x4m
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- $C_v=0.55$

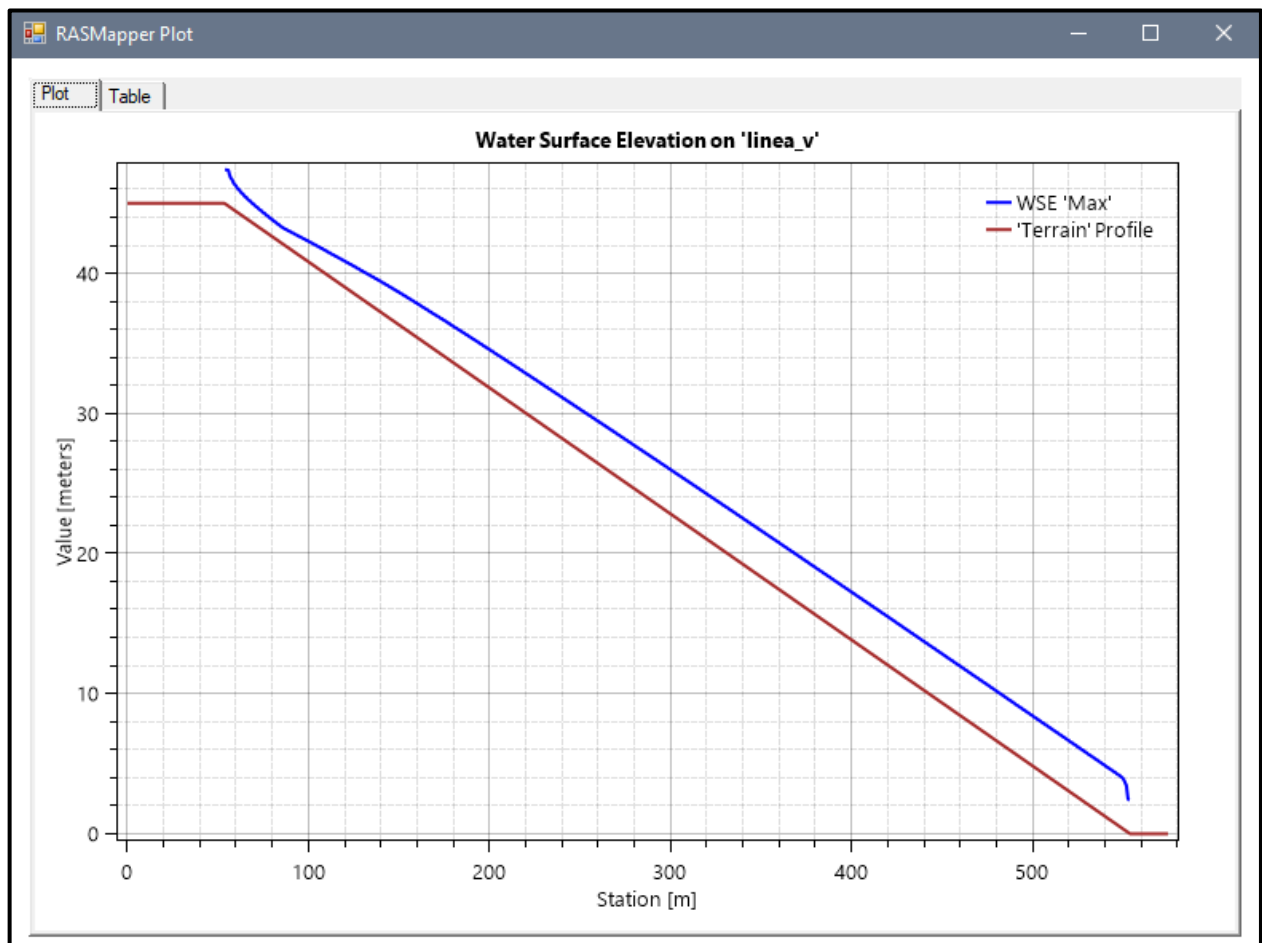


Fuente: Elaboración propia

MODELO N° 27

- Pendiente: 0.09 m
- Malla computacional: 2x2m
- Intervalo de tiempo: 0.1 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.55

Figura N° 137 Gráfico de resultados del Modelo N°27 adicionando Cv



Fuente: Elaboración propia

4.3. Docimasia de hipótesis.

Al realizar el modelamiento hidráulico de los escenarios propuestos hemos obtenido resultados de los tirantes y velocidades, las cuales nos muestran que al modelar los escenarios con fluido newtoniano tenemos ciertos valores que al momento de modelar los escenarios con flujo hiperconcentrado tienen una variación hasta del 100% según el escenario a modelar, estos varían entre los siguientes rangos:

Velocidad	:	$3 < x < 8$
Tirante	:	$0.5 < x < 3$

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los modelos nos muestran que flujo es supercrítico y genera inestabilidad según los parámetros usados en los escenarios; se está realizando una comparación entre dos modelados, en el cual la única variación es la presencia de concentraciones volumétricas en el segundo modelo, de esta manera se entiende que el modelo A es Flujo Newtoniano, a diferencia del Flujo B, Flujo hiperconcentrado.

La consideración de C_v es de 0.35

Se muestra que el flujo se está elevando y se está formando un flujo gradualmente variado, que no llega a ser uniforme, por ello se tiene en cuenta que la viscosidad del flujo está generando esta variación en los modelos.

MODELO N°7

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040

MODELO N°7

- Pendiente: 0.05m
- Malla computacional: 4x4
- Intervalo de tiempo: 0.5 seg.
- Caudal: 300m/s2
- Rugosidad: 0.040
- Cv=0.35

Figura N° 36 Gráfico de resultados del Modelo N°7

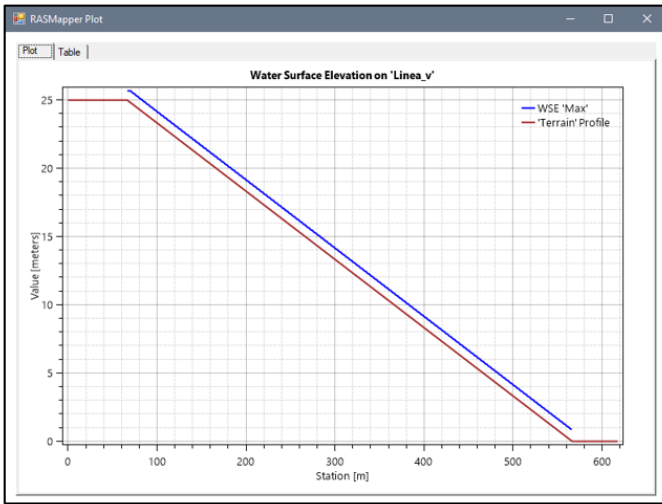
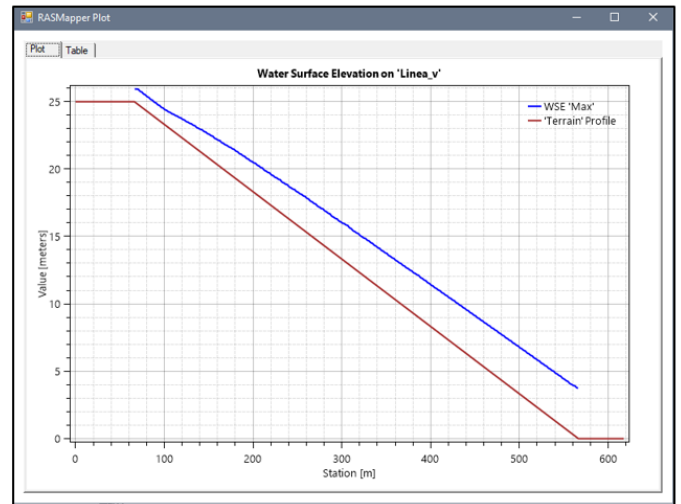


Figura N° 63 Gráfico de resultados del Modelo N°7 adicionando Cv



CONCLUSIONES

- Se desarrollo en el software CIVIL 3D la geometría de del canal de estudio para llevar a cabo el modelamiento las cuales tendrían pendientes de 5%, 7% y 9%
- Se evaluó los distintos modelos según las siguientes condiciones:

En los presentes modelados en los cuales tienen presente concentraciones volumétricas, se consideró usar datos de la Quebrada San Carlos para asi tener datos reales de sedimento, los cuales fueron obtenidos de las siguientes ecuaciones:

Table 8: Esfuerzo de Cedencia y Viscosidad en Función CV

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$n = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Correlaciones de mediciones en Campo				
Glenwood	0,0765	16,9	0,0648	6,20

Fuente: Elaboración Propia

Las ecuaciones de $\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$ y $n = \alpha e^{\beta C_v}$, se usan para encontrar las relaciones entre los esfuerzos de cedencia (τ_y) y las viscosidades dinámicas (n) con las concentraciones volumétricas (C_v) de los sólidos que se encuentran suspendidos de la matriz fina, donde se obtuvo como resultados los valores de α y β , según cada ecuación. Donde α y β son coeficientes empíricos definidos por experimentos de laboratorio.

Para la quebrada en uso, se tuvo en cuenta el contenido de arcilla de la fracción fina de la matriz de las muestras del lecho del cual se obtuvo como resultado estos valores.

Que posteriormente fueron ingresados en el cuadro de Non-Newtonian Methods and Parameters.

Se concluye que la viscosidad y el esfuerzo de cedencia incrementan notablemente con la acumulación o concentración de sedimentos.

- Se ha modelado con los parámetros indicados, en el cual, mediante el cambio de ecuación, se realizó 108 modelos en total tanto en flujo hiperconcentrado como fluido newtoniano.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar un ráster con una resolución significativa de datos de acuerdo con el tamaño del terreno para Hec Ras 2D, el cual es nuestro modelado se usó un ráster de 0,5 metros para un tramo de 500 metros y 70 metros de ancho.
- El tamaño de malla y el tiempo de cálculo interfieren en el cálculo de la fórmula del número de Courant. Por lo tanto, seleccionar el tamaño de malla adecuado proporciona mayor veracidad en los resultados, lo que es una variable crucial en el desarrollo de la modelación.
- El beneficio principal del programa HEC RAS es la facilidad con la que se pueden crear modelos debido a la versatilidad y agilidad del RAS Mapper, una herramienta SIG. Esto permite la visualización de los resultados, la comparación de varias simulaciones al mismo tiempo y la creación de perfiles de diversas variables.
- Se recomienda que las condiciones de borde aguas arriba y agua abajo tengan coherencia y se limiten de forma correcta para que no presenten error al realizar la modelación.
- Con fin de realizar una investigación con simulaciones de modelamientos, que ayuden a impulsar el análisis a temas de mitigación y seguimiento en zonas de peligros, que son muy importantes para la conservación de vías e infraestructuras de drenaje.
 - Es un software que, a través de la entrada de datos, mejora la modelación unidimensional y bidimensional y cuenta la geometría y las características del cauce. Permite simular el flujo de agua en canales construidos artificialmente o en cauces de ríos que son naturales.

predicción de áreas de inundación en un río o sistema de ríos y mitigación de las inundaciones durante diferentes periodos de retorno.

Determinación de variables hidráulicas para el diseño de estructuras en ríos como puentes, alcantarillas, cunetas, etc.

Los límites de las fajas marginales de los ríos.

Determine la altura ideal para el diseño de una carretera que puede verse afectada por el caudal del río.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

Bladé i Castellet, Ernest, Sánchez Juny, Martí, Sánchez Tueros, Hans Paul, Niñerola Chifoni, Daniel, Gómez Valentín, Manuel (2009). *Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable*.

Flumen (2013). *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. 24.

Autoridad Nacional del Agua (2014)

Villón, M. (2007). *Hidráulica de Canales*. Editorial Villón 2° edición. Lima

Chow, V. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Editorial McGraw – Hill 1° edición. Colombia

Giuseppe Colombo. (1990). *Manuale dell'ingegnere*. Nuovo Colombo

Maza Álvarez, J (1998). *Hidráulica de Canales*

French, R. (1988). *Hidráulica de Canales abiertos*. Editorial McGraw – 1° edición. México

Chow, V. (1959). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Editorial McGraw – Hill 1° edición. Colombia

Engineers, U. A. (2010). *HEC-RAS River Analysis System User's manual version 4.1.*
US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic
Engineering Center.

ANEXOS

Modelamiento Bidimensional HEC-RAS

En la propuesta del proyecto se incluyen distintos escenarios que requerirán que los canales sean diseñados de manera que puedan transportar el agua suficiente. Los parámetros a utilizar para el diseño se muestran a continuación en el cuadro.

- Rugosidad = 0.040
- Q1 = 100m/s²
- Q2 = 200m/s²
- Q3 = 300m/s²
- S1 = 0.05m
- S2 = 0.07m
- S3 = 0.09m
- Cv1 = 0.35
- Cv2 = 0.45
- Cv3 = 0.55

Parámetros para las concentraciones volumétricas a modelar:

Non-Newtonian Methods and Parameters

Non-Newtonian Method: **O'Brien Equation (Quadratic)**

Concentration and Bulking

Volumetric Concentration (Cv) (%):

Select Bulking Method:

Shear Components

Yield Strength: τ Pa

Mixture Dynamic Viscosity: μ Pa-s

Representative Grain Size - ds (mm): Max Cv (%) (Opt):

Generalized Herschel-Bulkley Parameters: K n

Clastic Methods: ϕ

La codificación que se consideró para el modelado fueron las siguientes:

- Modelo N° 1: Cv1 – Q1 – S1
- Modelo N° 2: Cv1 – Q1 – S2
- Modelo N° 3: Cv1 – Q1 – S3
- Modelo N° 4: Cv1 – Q2 – S1
- Modelo N° 5: Cv1 – Q2 – S2
- Modelo N° 6: Cv1 – Q2 – S3
- Modelo N° 7: Cv1 – Q3 – S1
- Modelo N° 8: Cv1 – Q3 – S2
- Modelo N° 9: Cv1 – Q3 – S3
- Modelo N° 10: Cv2 – Q1 – S1
- Modelo N° 11: Cv2 – Q1 – S2
- Modelo N° 12: Cv2 – Q1 – S3
- Modelo N° 13: Cv2 – Q2 – S1
- Modelo N° 14: Cv2 – Q2 – S2
- Modelo N° 15: Cv2 – Q2 – S3

- Modelo N° 16: Cv2 – Q3 – S1
- Modelo N° 17: Cv2 – Q3 – S2
- Modelo N° 18: Cv2 – Q3 – S3
- Modelo N° 19: Cv3 – Q1 – S1
- Modelo N° 20: Cv3 – Q1 – S2
- Modelo N° 21: Cv3 – Q1 – S3
- Modelo N° 22: Cv3 – Q2 – S1
- Modelo N° 23: Cv3 – Q2 – S2
- Modelo N° 24: Cv3 – Q2 – S3
- Modelo N° 25: Cv3 – Q3 – S1
- Modelo N° 26: Cv3 – Q3 – S2
- Modelo N° 27: Cv3 – Q3 – S3

	PENDIENTE (%)	TAMAÑO DE MALLA (M)	TIEMPO (SEG.)	VELOCIDAD (M/S)	TIRANTE	Nº COURANT	Nº FROUDE
MODELO Nº 1	5	4	0.5	3.27	0.39	0.409	1.672
MODELO Nº 2	7	4	0.5	3.40	0.38	0.425	1.761
MODELO Nº 3	9	2	0.1	3.89	0.31	0.195	2.231
MODELO Nº 4	5	4	0.5	4.32	0.63	0.540	1.738
MODELO Nº 5	7	4	0.5	4.78	0.49	0.598	2.180
MODELO Nº 6	9	2	0.1	5.13	0.38	0.257	2.657
MODELO Nº 7	5	4	0.5	5.07	0.78	0.634	1.833
MODELO Nº 8	7	4	0.5	5.69	0.65	0.711	2.253
MODELO Nº 9	9	2	0.1	6.40	0.56	0.320	2.731
MODELO Nº 10	5	4	0.5	3.26	0.37	0.408	1.711
MODELO Nº 11	7	4	0.5	4.00	0.41	0.500	1.994
MODELO Nº 12	9	2	0.1	3.89	0.20	0.195	2.777
MODELO Nº 13	5	4	0.5	4.32	0.62	0.540	1.752
MODELO Nº 14	7	4	0.5	4.87	0.54	0.609	2.116
MODELO Nº 15	9	2	0.1	5.15	0.49	0.258	2.349
MODELO Nº 16	5	4	0.5	5.08	0.78	0.635	1.836
MODELO Nº 17	7	4	0.5	5.71	0.70	0.714	2.179
MODELO Nº 18	9	2	0.1	6.04	0.56	0.302	2.577
MODELO Nº 19	5	4	0.5	3.27	0.36	0.409	1.740
MODELO Nº 20	7	4	0.5	4.00	0.42	0.500	1.971
MODELO Nº 21	9	2	0.1	3.89	0.27	0.195	2.390
MODELO Nº 22	5	4	0.5	4.32	0.62	0.540	1.752
MODELO Nº 23	7	4	0.5	4.87	0.53	0.609	2.136
MODELO Nº 24	9	2	0.1	5.15	0.46	0.258	2.424
MODELO Nº 25	5	4	0.5	5.09	0.81	0.636	1.806
MODELO Nº 26	7	4	0.5	5.68	0.76	0.710	2.080
MODELO Nº 27	9	2	0.1	6.05	0.53	0.303	2.653

	CV	VELOCIDAD (M/S)	TIRANTE	Nº FROUDE
MODELO Nº 1	0.35	3.87	0.48	1.783
MODELO Nº 2		3.88	0.51	1.735
MODELO Nº 3		5.18	1.47	1.364
MODELO Nº 4		4.58	0.54	1.990
MODELO Nº 5		4.78	0.57	2.021
MODELO Nº 6		6.05	0.51	2.705
MODELO Nº 7		6.02	1.06	1.867
MODELO Nº 8		6.65	3.58	1.122
MODELO Nº 9		7.29	7.39	0.856
MODELO Nº 10	0.45	4.77	1.02	1.508
MODELO Nº 11		5.38	1.62	1.350
MODELO Nº 12		4.90	0.45	2.332
MODELO Nº 13		5.89	2.15	1.283
MODELO Nº 14		6.19	2.70	1.203
MODELO Nº 15		6.49	0.67	2.531
MODELO Nº 16		6.44	3.16	1.157
MODELO Nº 17		7.12	4.01	1.135
MODELO Nº 18		7.62	0.88	2.593
MODELO Nº 19	0.55	5.04	1.25	1.439
MODELO Nº 20		5.55	1.81	1.317
MODELO Nº 21		5.32	0.50	2.402
MODELO Nº 22		6.11	2.51	1.231
MODELO Nº 23		6.56	3.36	1.143
MODELO Nº 24		7.03	0.84	2.449
MODELO Nº 25		7.02	3.70	1.165
MODELO Nº 26		7.74	4.62	1.150
MODELO Nº 27		8.26	1.10	2.514

	TAMAÑO DE MALLA (M)	TIEMPO (SEG.)	VELOCIDAD (M/S)	TIRANTE	Nº COURANT	Nº FROUDE
MODELO Nº 1	4	0.5	3.27	0.39	0.409	1.672
MODELO Nº 2	4	0.5	4.27	0.63	0.534	1.718
MODELO Nº 3	2	0.1	4.6	0.78	0.230	1.663
MODELO Nº 4	4	0.5	4.45	0.76	0.556	1.630
MODELO Nº 5	4	0.5	4.78	0.49	0.598	2.180
MODELO Nº 6	2	0.1	5.13	1.28	0.257	1.448
MODELO Nº 7	4	0.5	5.08	1.04	0.635	1.590
MODELO Nº 8	4	0.5	5.62	0.64	0.703	2.243
MODELO Nº 9	2	0.1	6.05	0.56	0.303	2.581
MODELO Nº 10	4	0.5	3.42	0.46	0.428	1.610
MODELO Nº 11	4	0.5	4.26	0.61	0.533	1.741
MODELO Nº 12	2	0.1	4.61	0.66	0.231	1.812
MODELO Nº 13	4	0.5	4.46	0.77	0.558	1.623
MODELO Nº 14	4	0.5	5.26	0.88	0.658	1.790
MODELO Nº 15	2	0.1	5.15	0.36	0.258	2.740
MODELO Nº 16	4	0.5	5.22	1.03	0.653	1.642
MODELO Nº 17	4	0.5	6.04	1.18	0.755	1.775
MODELO Nº 18	2	0.1	6.38	1.71	0.319	1.558
MODELO Nº 19	4	0.5	3.42	0.42	0.428	1.685
MODELO Nº 20	4	0.5	4.26	0.55	0.533	1.834
MODELO Nº 21	2	0.1	4.58	0.74	0.229	1.700
MODELO Nº 22	4	0.5	4.46	0.76	0.558	1.633
MODELO Nº 23	4	0.5	5.26	0.9	0.658	1.770
MODELO Nº 24	2	0.1	5.62	1.27	0.281	1.592
MODELO Nº 25	4	0.5	5.21	1.07	0.651	1.608
MODELO Nº 26	4	0.5	6.02	1.22	0.753	1.740
MODELO Nº 27	2	0.1	6.43	1.72	0.322	1.565

	CV	VELOCIDAD (M/S)	TIRANTE	Nº FROUDE
MODELO Nº 1	0.35	4.44	0.53	1.947
MODELO Nº 2		4.28	0.87	1.465
MODELO Nº 3		5.14	1.17	1.517
MODELO Nº 4		5.25	0.84	1.829
MODELO Nº 5		5.67	0.71	2.148
MODELO Nº 6		5.64	1.14	1.687
MODELO Nº 7		6.03	1.47	1.588
MODELO Nº 8		6.66	0.91	2.229
MODELO Nº 9		7.16	0.69	2.752
MODELO Nº 10	0.45	4.32	0.77	1.572
MODELO Nº 11		5.1	0.89	1.726
MODELO Nº 12		5.41	1.3	1.515
MODELO Nº 13		5.59	1.28	1.578
MODELO Nº 14		6.4	1.45	1.697
MODELO Nº 15		6.67	1.97	1.517
MODELO Nº 16		6.5	1.71	1.587
MODELO Nº 17		7.35	1.91	1.698
MODELO Nº 18		7.7	2.55	1.540
MODELO Nº 19	0.55	4.66	0.88	1.586
MODELO Nº 20		5.43	1.01	1.725
MODELO Nº 21		5.7	1.35	1.566
MODELO Nº 22		6.02	1.44	1.602
MODELO Nº 23		6.84	1.59	1.732
MODELO Nº 24		7.13	2.39	1.473
MODELO Nº 25		7	1.96	1.596
MODELO Nº 26		7.85	2.13	1.717
MODELO Nº 27		8.32	3.08	1.514

ESTUDIOS REOLOGICOS PARA LOS PARAMETRO DE CV

Relaciones de viscosidad y esfuerzo de cedencia del flujo con las concentraciones volumétricas de sólidos suspendidos:

De acuerdo a O'Brien y Julien (1988), las relaciones de viscosidad y esfuerzo de cedencia de los flujos con las concentraciones de sólidos del material fino suspendido están en función de los contenidos de arcilla y de los diámetros representativos del material sólido de la porción fina de la matriz.

En el Cuadro presenta la clasificación de O'Brien y Julien (1988) del material sólido de la porción fina de la matriz en función de sus contenidos de arcilla y de sus diámetros representativos.

PROPIEDADES DE LAS MATRICES DE FLUJOS (SOLO LIMO Y ARCILLA)

Sample	Distribución del tamaño de sedimento				Límite líquido	Índice plástico
	Arcilla (%)	D ₁₆ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₈₄ (mm)		
Glenwood original	4,8	0,010	0,034	0,062	-	-
Glenwood sample 1	6,8	0,009	0,023	0,050	-	-
Glenwood sample 2	3,0	0,016	0,035	0,061	-	-
Glenwood sample 3	4,8	0,011	0,025	0,053	-	-
Glenwood sample 4	7,6	0,001	0,018	0,032	-	-
Aspen Pit 1	31,3	0,001	0,011	0,032	0,32	0,11
Aspen natural soil	27,0	0,001	0,012	0,028	0,25	0,06
Aspen mine fill	27,8	0,001	0,013	0,030	0,24	0,06
Aspen natural soil source	31,6	0,001	0,016	0,039	-	-
Aspen mine fill source	25,2	0,001	0,018	0,061	-	-

Fuente: O'Brien y Julien (1988)

En función dicha clasificación, las relaciones entre los esfuerzos de cedencia (T_y) y las viscosidades dinámicas (μ_m) con las concentraciones volumétricas (C_v) de sólidos suspendidos de la matriz fina, se definen mediante las relaciones $\tau_y = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$ y

$\mu_m = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$ donde los valores de α_i y β_i se obtienen del siguiente cuadro

ESFUERZO DE CEDENCIA Y VISCOSIDAD EN FUNCION CV

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Correlaciones de mediciones en Campo				
Aspen Pit 1	0,181	25,7	0,0360	22,1
Aspen Pit 2	2,72	10,4	0,0538	14,5
Aspen Natural Soil	0,152	18,7	0,00136	28,4
Aspen Mine Fill	0,0473	21,1	0,128	12,0
Aspen Watershed	0,0383	19,6	0,000495	27,1
Aspen Mine Source Area	0,291	14,3	0,000201	33,1
Glenwood 1	0,0345	20,1	0,00283	23,0
Glenwood 2	0,0765	16,9	0,0648	6,20
Glenwood 3	0,000707	29,8	0,00632	19,9
Glenwood 4	0,00172	29,5	0,000602	33,1
Correlaciones disponibles de la literatura:				
Iida (1938)	-	-	0,0000373	36,6
Dai et al. (1980)	2,60	17,48	0,00750	14,39
Kang and Zhang (1980)	1,75	7,82	0,0405	8,29
Qian et al. (1980)	0,00136	21,2	-	-
	0,050	15,48	-	-
Chien and Ma (1958)	0,0588	19,1-32,7	-	-
	0,166	25,6	-	-
Fei (1981)	0,00470	22,2	-	-

Fuente: O'Brien y Julien (1988)

Para las quebradas San Carlos, el contenido de arcilla de la fracción fina de la matriz de las muestras del lecho varía entre 4 y 11.5 %, y el d50 varía entre 0.0346 y 0.0358 mm; de acuerdo al Cuadro, la clasificación que más se aproxima a la muestra es el tipo Glenwood 2.

Para dicha clasificación, de acuerdo al Cuadro, los valores de los parámetros α y β son $\alpha_1 = 0.0765$, $\beta_1 = 16.9$, $\alpha_2 = 0.0648$ y $\beta_2 = 6.2$