



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRONICA

Medición, modelamiento y simulación de olas y sus características en el canal de pendiente variable del Laboratorio de Hidráulica en la Universidad Ricardo Palma

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Electrónico

AUTORES

Aliaga Nicacio, Angela Gabriela
ORCID: 0000-0002-9683-3837

Angeles Martinez, Ivan Omar
ORCID: 0000-0003-0796-6214

ASESOR

Huamaní Navarrete, Pedro Freddy
ORCID: 0000-0002-3753-9777

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de autores

Aliaga Nicacio, Angela Gabriela

DNI: 74065755

Angeles Martinez, Ivan Omar

DNI: 75067437

Datos de asesor

Huamaní Navarrete, Pedro Freddy

DNI: 10032682

Datos del jurado

JURADO 1

González Prado, Julio Cesar

DNI: 07702235

ORCID: 0000-0003-0384-7015

JURADO 2

López Córdova, Jorge Luis

DNI: 09638009

ORCID: 0000-0002-3817-6859

JURADO 3

Sánchez Bravo, Miguel Angel

DNI: 08443357

ORCID: 0000-0001-9384-1391

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.02.01

Código del Programa: 712026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Reuter y Marita que me han apoyado en cada etapa de mi vida y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ustedes que esta meta esta cumplida.

Angela Gabriela Aliaga Nicacio

Dedico a Dios, mis padres, mis abuelos y mi hermano por haberme forjado por la persona que soy hoy en día; muchos de las cosas que he logrado se las debo a ellos, gracias a ellos por siempre confiar en mí, creer en mí y en mis expectativas. Me formaron con reglas, pero al mismo tiempo con ciertas libertades y siempre motivándome para que pueda alcanzar mis sueños y lograr mis objetivos.
Gracias Familia

Ivan Omar Angeles Martinez.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la universidad por habernos acogido en el transcurso de nuestra carrera universitaria al igual que la ayuda de nuestros maestros y amigos con los que sobrepasamos todos los obstáculos que la carrera universitaria demandaba.

Angela Gabriela Aliaga Nicacio

Ivan Omar Angeles Martinez

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos.....	1
1.1.1. Problema General	1
1.1.2. Problemas Específicos	1
1.2. Objetivo general y específicos	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Delimitación de la investigación	2
1.3.1. Temporal.....	2
1.3.2. Espacial.....	2
1.3.3. Temática	3
1.4. Justificación e importancia.....	3
1.4.1. Justificación	3
1.4.2. Importancia.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes del estudio de investigación	12
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	12
2.1.2. Antecedentes internacionales	13
2.2. Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio	14
2.2.1. Olas.....	14
2.2.2. Canal de pendiente variable.....	17
2.2.3. LabView	21
2.3. Definición de términos básicos	22
2.3.1. Sensor Ultrasónico.....	22
2.3.2. PLC.....	22
2.3.3. HMI	22
CAPÍTULO III: MUESTRAS Y SIMULACIÓN.....	23
3.1. Diagrama de bloques general	23
3.2. Toma de muestras en el canal de pendiente variable	23
3.3. Modelamiento matemático	28
3.3.1 Muestras en pendiente de 0°	28
3.3.2 Muestras en pendiente de 0.25°	36

3.3.3	Muestras en pendiente de 0.5°	42
3.3.4	Muestras en pendiente de 1°	48
3.4.	Implementación de interfaz en LabVIEW	54
3.4.1.	Simulación de olas en la pendiente 0°	55
3.4.2.	Simulación de olas en la pendiente 0.25°	67
3.4.3.	Simulación de olas en la pendiente 0.5°	75
3.4.4.	Simulación de olas en la pendiente 1°	83
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		88
4.1.	Resumen comparativo de las características de la ola.....	88
4.1.1.	Características de la ola en pendiente 0°	88
4.1.2.	Características de la ola en pendiente 0.25°	90
4.1.3.	Características de la ola en pendiente 0.5°	91
4.1.4.	Características de la ola en pendiente 1°	93
4.2.	Propuesta teórica de un prototipo	94
4.2.1.	PLC.....	94
4.2.2.	SENSOR ULTRASÓNICO	96
4.2.3.	HMI	98
4.2.4.	Variador de frecuencia.....	99
4.3.	Presupuesto estimado	102
4.4.	Plano de prototipo	102
CONCLUSIONES		103
RECOMENDACIONES		104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		105
ANEXOS.....		108
Anexo 1:	Hoja de características del PLC EASY-E4-UC-12RC1	108
Anexo 2:	Hoja de características del Sensor HKD Vacorda	110
Anexo 3:	Hoja de características del HMI KTP400.....	111
Anexo 4:	Plano de prototipo teórico de un sistema automatizado en el canal de pendiente variable.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N 1: Variable de una ola.....	15
Figura N 2: Canal de pendiente variable del Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma (vista 1)	18
Figura N 3: Motor reductor para variar la pendiente	19
Figura N 4: Bomba de recirculación del canal de pendiente variable	20
Figura N 5: Generador de ondas	20
Figura N 6: Panel frontal de la simulación de una onda senoidal en el LabVIEW	21
Figura N 7: Esquema del procedimiento del capítulo 3.....	23
Figura N 8: Panel de control del canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma	24
Figura N 9:Extremo del canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma	25
Figura N 10: Péndulo del Canal de pendiente variable	25
Figura N 11: Perilla para controlar la velocidad del generador de ondas.....	26
Figura N 12: Limnimetro del canal de pendiente variable	26
Figura N 13: Vista lateral del canal de pendiente variable	27
Figura N 14: Medición de periodo de la ola en el canal de pendiente variable.....	27
Figura N 15: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0 y V0.....	30
Figura N 16: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0 y v V1	32
Figura N 17: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0 y V2.....	33
Figura N 18: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0 y V3.....	35
Figura N 19: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.25° y V0 ...	37
Figura N 20: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.25° y V1 ...	38
Figura N 21: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.25° y V2 ...	40
Figura N 22: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.25° y V3 ...	41
Figura N 23: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.5° y V0	43
Figura N 24: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.5° y V1	45
Figura N 25: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.5° y V2	46
Figura N 26: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.5° y V3	48
Figura N 27: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 1° y V0	50
Figura N 28: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 1° y V1	51
Figura N 29: Gráfica de la onda en la pendiente 1° y V2.....	52
Figura N 30: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 1° y V2	54

Figura N 31: Diagrama de bloque del LabVIEW con pendiente 0° y V0 parte A	56
Figura N 32: Flujo de la función trigonométrica coseno en el LabVIEW	56
Figura N 33: Diagrama de bloque del LabVIEW con pendiente 0° y V0 parte B.....	57
Figura N 34: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V0 parte C	57
Figura N 36: Flujo de funcionamiento del write delimited spreadsheet.....	58
Figura N 41: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0° y V1	62
Figura N 42: Panel frontal en pendiente 0 y velocidad V1	62
Figura N 43: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V2 partes A, B y C	63
Figura N 44: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V2 parte D	63
Figura N 45: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0° y V2	64
Figura N 46: Panel frontal en pendiente 0 y velocidad V2.....	64
Figura N 47: Diagrama de bloque del LabVIEW con pendiente 0° y V3 partes A, B y C	65
Figura N 48: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y velocidad V3 parte D	65
Figura N 49: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0° y V3	66
Figura N 50: Panel frontal en pendiente 0 y velocidad V3.....	66
Figura N 51: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V1 partes A, B y C	67
Figura N 52: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V0 parte D	67
Figura N 53: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.25° y V0 .	68
Figura N 54: Panel frontal en pendiente 0.25 y velocidad V0.....	68
Figura N 55: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V1 partes A, B y C	69
Figura N 56: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V1 parte D.....	69
Figura N 57: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.25° y V1 .	70
Figura N 58: Panel frontal en pendiente 0.25 y velocidad V1	70
Figura N 59: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V2 partes A, B y C	71
Figura N 60: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V2 parte D.....	71
Figura N 61: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.25° y V2 .	72
Figura N 62: Panel frontal en pendiente 0.25 y velocidad V2.....	72
Figura N 63: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V3 partes A, B y C	73
Figura N 64: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V3 parte D.....	73

Figura N 65: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.25° y V3 .	74
Figura N 66: Panel frontal en pendiente 0.25 y velocidad V3.....	74
Figura N 67: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V0 partes A, B y C	75
Figura N 68: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V0 parte D	75
Figura N 69: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V0 ...	76
Figura N 70: Panel frontal en pendiente 0.5 y velocidad V0.....	76
Figura N 71: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V1 partes A, B y C	77
Figura N 72: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V1 parte D	77
Figura N 73: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V1 ...	78
Figura N 74: Panel frontal en pendiente 0.5 y velocidad V1	78
Figura N 75: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V2 partes A, B y C	79
Figura N 76: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V2 parte D	79
Figura N 77: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V2 ...	80
Figura N 78: Panel frontal en pendiente 0.5 y velocidad V2.....	80
Figura N 79: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V3 partes A, B y C	81
Figura N 80: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V3 parte D	81
Figura N 81: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V3 ...	82
Figura N 82: Panel frontal en pendiente 0.5 y velocidad V3.....	82
Figura N 83: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V0 partes A, B y C	83
Figura N 84: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V0 parte D	83
Figura N 85: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 1° y V0	84
Figura N 86: Panel frontal en pendiente 1° y velocidad V0	84
Figura N 87: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V1 partes A, B y C	85
Figura N 88: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V1 parte D	85
Figura N 89: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 1° y V1	86
Figura N 90: Panel frontal en pendiente 1° y velocidad V1	86
Figura N 91: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V2.....	87
Figura N 92: Panel frontal en pendiente 1° y velocidad V2	87
Figura N 93: PLC SIMATIC S7-200.....	94

Figura N 94: PLC easy-E4-UC-12RC1	95
Figura N 95: Sensor Vacorda modelo HKD	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1	16
Tabla N°2	29
Tabla N°3	31
Tabla N°4	32
Tabla N°5	34
Tabla N°6	35
Tabla N°7	36
Tabla N°8	37
Tabla N°9	39
Tabla N°10	40
Tabla N°11	42
Tabla N°12	42
Tabla N°13	44
Tabla N°14	45
Tabla N°15	47
Tabla N°16	48
Tabla N°17	49
Tabla N°18	50
Tabla N°19	52
Tabla N°20	53
Tabla N°21	54
Tabla N°22	88
Tabla N°23	89
Tabla N°24	89
Tabla N°25	90
Tabla N°26	90
Tabla N°27	91
Tabla N°28	91
Tabla N°29	92
Tabla N°30	92
Tabla N°31	93
Tabla N°32	93

Tabla N°33	93
Tabla N°34	96
Tabla N°35	98
Tabla N°36	99
Tabla N°37	101
Tabla N°38	102

RESUMEN

En este proyecto de tesis se midieron y modelaron olas con sus respectivas características en cuatro diferentes pendientes en el canal de pendiente variable del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma; así mismo se emplearon cuatro velocidades del generador de olas ubicado en el mismo canal con la finalidad de realizar una simulación en el software LabVIEW, y presentar una propuesta de mejora en tecnología para dicho canal. Se presentó la toma de muestras obtenidas al medir las características principales de una ola usando cuatro velocidades del generador de olas, para las cuatro pendientes de inclinación de tal canal. En base a dichas muestras se modeló una función matemática relacionada a la amplitud, periodo y altura offset de la ola para cada caso. De esta manera se consiguió un total 15 funciones, la cuales se destinaron para la simulación en el software LabVIEW. También, se compararon las medidas de las características de la ola simulada en el LabVIEW en cada pendiente con las medidas realizadas para la toma de muestras.

Finalmente, la presente tesis evidenció los resultados obtenidos de las características principales de las olas en el canal de pendiente variable mediante la simulación, y se comparó con la toma de muestras; de igual manera, se planteó un prototipo teórico de un sistema automatizado para la medición y visualización de las características de la ola haciendo uso de un sensor ultrasónico, variador de frecuencia, PLC y HMI, generando un costo aproximado en equipamiento alrededor de los S/. 3,941.95 para una futura implementación.

Palabras claves: Canal de pendiente variable, LabVIEW, características de una ola, MathScript, modelamiento de una ola.

ABSTRACT

In this thesis project, waves were measured and modeled with their respective characteristics in four different slopes of the variable slope channel of the Hydraulics Laboratory of the Ricardo Palma University; likewise, four speeds of the wave generator located in the same channel were used in order to perform its simulation in the LabVIEW software and present a proposal for improving the technology for this channel. The sampling obtained by measuring the main characteristics of a wave for each of the four slopes and using the four speeds of the generator will be presented. Based on the sampling, a mathematical function related to the amplitude, period and offset height of the wave was modeled for each case. In this way, a total of 15 functions were obtained, which were used for the simulation in LabVIEW. Also, the measurements of the wave characteristics simulated in LabVIEW in each slope are compared with the measurements made for sampling. Likewise, a type of sensor and a plan of its location in the variable slope channel were proposed.

Finally, the results obtained in this thesis show that the main characteristics of a wave of the variable slope channel were obtained through simulation and compared with the sampling; likewise, a theoretical prototype of an automated system for the measurement and visualization of the characteristics of the wave using an ultrasonic sensor, Variable Frequency, PLC and HMI was proposed, having an approximate cost of 3,941.95 soles for its future implementation.

Keywords: variable slope trough, LabVIEW, wave characteristics, MathScript, wave modeling.

INTRODUCCIÓN

La experimentación en laboratorio es una de las líneas base para el entendimiento de los procesos físicos puesto que permite recrear ciertos escenarios simplificados de la realidad a escala reducida siendo fundamental en el estudio de la hidráulica (Hughes, 1993). Por consiguiente, la Universidad Ricardo Palma cuenta con un canal de pendiente variable de la marca Didacta para los estudios efectuados en el laboratorio de hidráulica que cubren las áreas de Hidrología, Hidráulica y Abastecimiento de aguas.

Dado esto, en esta tesis se propuso simular las olas generadas en el canal de pendiente variable para comparar las características de las olas simulados con los valores medidos, de esta manera podemos percatarnos de la eficacia y la facilidad de la obtención de las características de las olas para su estudio en una posible implementación.

De esta manera, en el primer capítulo de esta tesis se aborda el planteamiento del problema donde se analiza el problema, su importancia y justificación; así como los alcances y sus limitaciones que implica la medición y simulación de las olas del canal de pendiente variable. De ahí en el capítulo dos se describen los antecedentes y las bases teórica relacionadas a las variables y las definiciones básicas tomadas en cuenta para poder desarrollar este proyecto. Luego, se detalla la programación para lograr la simulación de las olas en cuatro diferentes velocidades para las cuatro pendientes en el capítulo tres. En el capítulo cuatro se muestran los resultados de los valores de las características de la ola simulada y su comparación con los valores medidos; además, se evalúa el equipamiento para proponer un prototipo teórico usando un sensor ultrasónico, variador de frecuencia, PLC y HMI. Para finalizar la investigación, se redactan las conclusiones, recomendaciones y se describen la referencia bibliográfica utilizada.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

La automatización sigue incrementando su importancia e implementación en la hidráulica marítima, por ello se ha observado una necesidad de nueva tecnología en la medición de las características de las olas en el canal de pendiente variable del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma, teniendo en cuenta que este laboratorio fue implementado en el año 2000. Pues, actualmente, la toma de los datos de las características básicas se realiza de manera experimental y mecánica, siendo las mediciones no tan confiables y probablemente ineficientes y lentas debido al factor de medición humana.

1.1.1. Problema General

¿Cómo se medirá, modelará y simulará olas a diferentes velocidades y pendientes a partir de sus características principales en el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica en la Universidad Ricardo Palma?

1.1.2. Problemas Específicos

- a) ¿Como realizar el modelamiento matemático de las características principales de una ola en relación con el fenómeno hidráulico del oleaje experimentado en el canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma?
- b) ¿Como simular una ola con las diferentes velocidades que proporciona el generador de ondas y recrear una toma de mediciones con la visualización de la ola mediante el software LabVIEW?
- c) ¿Cómo realizar el planteamiento teóricamente del prototipo para las mediciones de las características principales de la ola en el canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma?
- d) ¿Cómo elaborar un análisis técnico-económico sobre la factibilidad de la propuesta tecnológica evaluando la mejor opción en equipos y dispositivos electrónicos según lo requerido?

1.2. Objetivo general y específicos

1.2.1.Objetivo General

Medir, modelar y simular olas a diferentes velocidades y pendientes a partir de sus características principales en el canal de pendiente variable del Laboratorio de Hidráulica en la Universidad Ricardo Palma

1.2.2.Objetivos Específicos

- a) Realizar el modelamiento matemático de las características principales de una ola en relación con el fenómeno hidráulico del oleaje experimentado en el canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma.
- b) Simular una ola con las diferentes velocidades que proporciona el generador de ondas y recrear una toma de mediciones con la visualización de la ola mediante el software LabVIEW.
- c) Realizar el planteamiento teóricamente del prototipo para las mediciones de las características principales de la ola en el canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma.
- d) Elaborar un análisis técnico-económico sobre la factibilidad de la propuesta tecnológica evaluando la mejor opción en equipos y dispositivos electrónicos según lo requerido.

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1.Temporal

Comprende el periodo de estudio y desarrollo del proyecto de tesis entre los meses de mayo 2022 a noviembre 2022, según el programa de titulación por Tesis 2022.

1.3.2.Espacial

El presente proyecto de tesis se orienta al estudio de las características del oleaje en el canal de pendiente variable del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma.

1.3.3.Temática

Acceso a bibliografía e investigaciones relacionadas a un canal de pendiente variable por derecho de autor o institución. Además, esta investigación se limita a la propuesta de dos presupuestos evaluando la calidad y precio de los dispositivos electrónicos requeridos para el proyecto, entre ellos los sensores, actuadores y el PLC. También se considerará como tamaño de muestra 30 mediciones de las características de una ola para las cuatro velocidades y cuatro inclinaciones del generador de Ondas del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1.Justificación

Se justifica porque contribuirá con la mejora en el aspecto académico de los estudiantes que cursan el área de hidráulica marítima, complementando su formación al utilizar nuevas tecnologías; a su vez, garantizará un ejercicio práctico más eficaz disminuyendo la probabilidad de un error por factor humano.

1.4.2.Importancia

El desarrollo de este proyecto de tesis es importante porque facilitará y mejorará el estudio de las características del oleaje como fenómeno hidráulico, al automatizar el proceso de adquisición de datos en el canal de pendiente variable del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma; a su vez, garantizará un ejercicio práctico más eficaz disminuyendo la probabilidad de un error por factor humano.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio de investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

Acosta, H (2014) Mejoramiento de la infraestructura y los servicios del laboratorio nacional de hidráulica en la Universidad Nacional de Ingeniería, Tesis, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. Manifiesta las siguientes conclusiones: El Proyecto "Mejoramiento de la Infraestructura y los Servicios del Laboratorio Nacional de Hidráulica en la Universidad Nacional de Ingeniería" es viable. De acuerdo con los resultados obtenidos de la Evaluación Económica, así como de los análisis de Sensibilidad y Sostenibilidad anteriormente descritos. Además, el Área de Modelos Hidráulicos requiere contar con equipamiento electrónico para registro de datos experimentales y de software pertinente que desarrolle a la par aplicación de modelos matemáticos para generar alternativas probables.

De la investigación de Acosta rescatamos la elaboración del análisis e importancia en cuanto a el mejoramiento de equipamiento y capacitación del personal operario de los equipos del Laboratorio nacional de Ingeniería en la Universidad Nacional de Ingeniera.

Chiroque, I (2021) Sistematización de información y propuesta de implementación de un laboratorio de recursos hídricos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNT.2019, Tesis, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. Trabajo de investigación cuyo objetivo es la recopilación, procesamiento y elaboración de información concerniente al laboratorio de recursos hídricos en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina concluyó en la propuesta de 11 equipos y 39 instrumentos para la implementación del laboratorio de Recursos Hídricos así como el óptimo diseño de los distintos ambientes del laboratorio determinado los costos y presupuestos de dichos equipos en dos propuestas, la primera en un total de inversión de S/ 449,538.99 y la segunda de S/ 309,547.12.7

De esta investigación se rescata el análisis presupuestal en equipamiento e implementación proponiendo distintas líneas de financiamiento. Además, el diseño de los ambientes del laboratorio de recursos hidráulicos con el fin de garantizar que todos los equipos estén regidos bajo normas de calidad, precisión en mediciones y larga durabilidad.

Hernández, Jhanela (2021) Eficiencia en el cálculo de parámetros hidráulicos usando el canal pendiente variable y el software he – ras, Cajamarca 2020, Tesis, Perú, Universidad privada del Norte. Expone las siguientes conclusiones: la eficiencia del uso del software HEC – RAS en el cálculo de los parámetros hidráulicos es en promedio de 97.00% cuando se realiza los modelamientos en dicho software inteligente en comparación de los ensayos en el canal pendiente variable del laboratorio y la eficiencia del uso del software HEC – RAS cuando se realiza los modelamientos en dicho software inteligente en comparación de los ensayos en el canal pendiente variable del laboratorio; lo que implica el uso de este software es de mucha ayuda al momento de realizar investigaciones de parámetros hidráulicos en canales de pendiente variable.

De la anterior investigación se rescató la elaboración de los modelamientos en el software HEC -RAS desde el modelamiento del canal de pendiente variable y la comparación realizada de los resultados de los parámetros hidráulicos con los resultados obtenidos del software.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Armas, K (2021) Automatización de un módulo de transporte de fluido hidráulico para el laboratorio de ingeniería hidráulica de la universidad técnica de Cotopaxi en el periodo 2021, Tesis, Ecuador, Universidad técnica de Cotopaxi. Concluyo lo siguiente con ayuda del PLC S7-1200 logró controlar los dispositivos de medición y montero los cuales cumplen sus funciones de automatización con alta precisión y mediante el protocolo Modbus TCP para transmitir información del monitoreo de los parámetros eléctricos. Además, mediante la implementación del SENTRON PAC 4200 realizó la medición y recopilación datos de parámetros eléctricos como: voltaje, corriente, factor de potencia, armónicos, dependiendo del sistema al que se encuentre conectado, en este caso a la bomba.

De la investigación mencionada en el párrafo anterior se rescató la fundamentación teórica sobre los parámetros de fluido hidráulicos y el diseño para su integración con equipos de monitoreo. Así como, la elaboración de un análisis técnico-económico sobre la factibilidad de su propuesta.

Fernández, M (2005) Diseño e implementación de un instrumento virtual para levantamiento de perfiles en tiempo real del canal hidrodinámico del centro de investigaciones y estudios en recursos hídricos CIERHI-EPN, Investigación, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional. Manifiesta la importancia en la aplicación de la Instrumentación y el Control en el estudio y predicción de la conducta de los fluidos pues se pueden explicar y prevenir fenómenos que se producen cerca de los cauces naturales como son las inundaciones y bores; y anticiparse a las consecuencias de otros comportamientos de los fluidos como maremotos y tsunamis. Así mismo, realiza un balance entre el comportamiento de los parámetros que intervienen en un circuito eléctrico y aquellos que se consideran cuando se obliga a circular a un fluido por un conducto destapado se puede concluir que los transitorios provocados cuando el canal cambia de pendiente o cuando la compuerta altera su posición son extremadamente lentos en comparación a los transitorios que se presentan en el voltaje o la corriente después de provocar una perturbación.

De esta investigación se rescató el desarrollo del diseño del sistema de control del canal ya que al implementar su propuesta nos brinda otro punto visto al realizar el análisis del prototipo teórico.

2.2. Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio

2.2.1. Olas

También referido como ondas se caracterizan por su forma y su movimiento originando se cómo una masa de agua que fue sometida a oscilaciones. Estas pueden ir desde ondas largas como las mareas (causadas por las fuerzas 10 gravitacionales del sol y la luna) hasta pequeñas rizaduras generadas por el arrastre del viento sobre la superficie del mar. Si se observa la distribución de energía oscilatoria en el mar verá que se manifiesta con un rango que va desde las 12 horas hasta medio segundo. Una parte importante de esta energía se localiza en la banda de 0,5 a 30 segundos, (olas gravitatorias), la cual es comúnmente referida como oleaje de viento (Hidronav, 2013).

Es necesario conocer sus parámetros o características que compone una ola; así como mencionar las teorías de oleajes.

- Características de una ola

En la figura N°1 se muestra el esquema de la propagación de una ola señalando sus características principales en la dirección x.

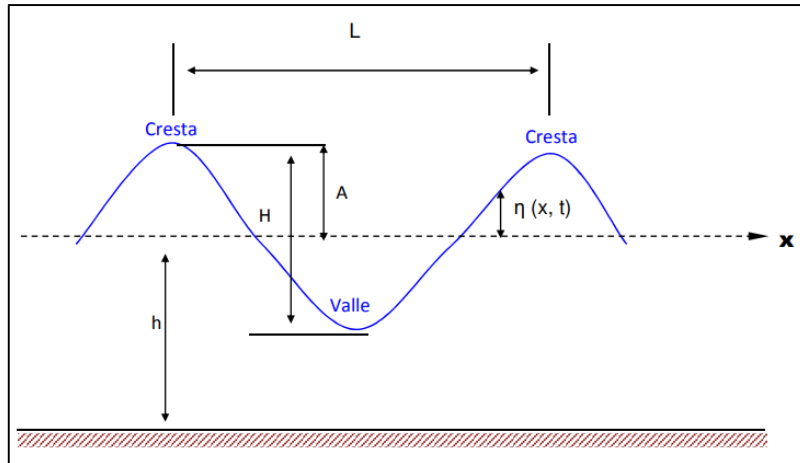


Figura N 1: Variable de una ola

Fuente: [https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Propagacion%20y%20Caracterizacion%20del%20Oleaje%20\(8\).pdf](https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Propagacion%20y%20Caracterizacion%20del%20Oleaje%20(8).pdf)

En seguida se va definir las variables ilustradas en la figura N°1.

- **Altura (H)**: Distancia vertical entre una cresta y un valle consecutivos. La altura de las olas del mar de fondo se clasifica en: (Macdonel et al, 1999)
- **Profundidad (h)**: Es la distancia vertical entre el Nivel Medio del Mar (NMM) y el fondo marino. (Macdonel et al, 1999)
- **Amplitud (A)**: Es la mitad de la altura total de la ola (Macdonel et al, 1999).
- **Período (T)**: Tiempo que transcurre entre el paso de dos crestas (o dos valles) consecutivos por un mismo lugar. (Macdonel et al, 1999)
- **Longitud (L)**: Distancia entre dos crestas consecutivas, desde los valles o desde las crestas. La longitud de las olas de mar de fondo se clasifica en: (Macdonel et al, 1999)
- **Celeridad (C)**: o velocidad de propagación, que resulta de la longitud entre dos crestas (L) dividido entre el Periodo (T). (Macdonel et al, 1999)

$$C = \frac{L}{T} \quad (1)$$

- **Peralte (P)**: es la resultante de dividir la Altura entre la longitud de olas.

$$P = \frac{H}{L} \quad (2)$$

- Elevación de la ola (η ()), tú). - Es la elevación de la superficie del agua con respecto al nivel medio en reposo, en función de la distancia horizontal (x) y del tiempo (t). En la parte más elevada de la ola, en la cresta, la elevación es igual a la amplitud de la ola. (Macdonel et al, 1999)
- Alturas significantes de la ola. - Es el promedio del tercio superior de todas las alturas de olas observadas. (Macdonel et al, 1999)
- Principales teorías de olas
- En el Diseño y construcción de obras de abrigo en talud: introducción al estudio de mareas, olas y transporte de sedimentos (2016), Donini H enumero las teóricas de oleaje destacadas. Que a continuación se presentara en la tabla N°1.

Tabla N°1
Principales teorías de oleaje y sus aplicaciones

Nombre	Aplicación
Teoría de Airy	Olas de pequeña amplitud en aguas profundas
Teoría de Stokes y Gerstner	Olas de amplitud finita en aguas profundas, intermedias y poco profundas
Teoría Cnoidal	Olas de amplitud finita en aguas intermedias a poco profundas
Teoría de la onda solitaria	Crestas solitarias o aisladas de amplitud finita en aguas poco profundas

Fuente: elaboración propia

Para la presente tesis se estudió el caso particular de la ola originada en el canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma. Dicha ola se propaga de forma regular debido a la ausencia de viento y descartando transformaciones físicas como la refracción, asomeramiento y difracción.

Flores, J. (2008) “Ingeniería marítima y costera”. Material de clase, España, Universidad Alfonso X el sabio. Se fundamenta en la teoría de Airy existiendo el caso de propagación del oleaje regular que señala que el periodo se mantiene siempre constante mientras que las demás variables sufren modificación a lo largo de la propagación.

Desarrolla de la relación de dispersión lineal, la cual permite determinar la longitud del oleaje a partir de su periodo y la profundidad deduciendo la siguiente ecuación:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \times \text{Tanh}\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (3)$$

Según Flores, para profundidades muy grandes (denominadas profundidades indefinidas o aguas profundas) o muy pequeñas (profundidades reducidas o aguas someras), el término $\text{tanh}(2\pi h/L)$ tiende asintóticamente a los siguientes valores:

- Profundidades indefinidas $2\pi h/L > \pi \Rightarrow \text{tanh}(2\pi h/L) \rightarrow 1$
- Profundidades reducidas $2\pi h/L \ll 1 \Rightarrow \text{tanh}(2\pi h/L) \rightarrow 2\pi h/L$

Además, menciona que las profundidades que no son tan grandes como para ser consideradas indefinidas ni tan pequeñas como para ser consideradas reducidas se denominan profundidades intermedias. De las expresiones anteriores se deduce que la longitud de onda del oleaje en aguas profundas, L_o , tiene un valor constante como se observa en la siguiente ecuación.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (4)$$

2.2.2. Canal de pendiente variable

La universidad posee el modelo H91.8D/15 permitiendo la toma de datos de forma más fácil para condiciones hidrodinámicas dadas, con menos recurso económico, mientras que la toma de datos en campo es más costosa y difícil de realizar; con mediciones simultáneas más complejas de hacer. Diseñada para el estudio de los fenómenos hidrodinámicos de las corrientes de superficie libre en los canales abiertos con pendiente variable. Las unidades son transparentes para permitir la visualización de los fenómenos hidráulicos; además las mismas son autosuficientes, puesto que comprenden un tanque de alimentación hidráulica. (Didacta, 2018)

A continuación, en la figura N°2 se aprecia el canal de pendiente variable que mide 15 metros y cuenta con una compuerta en el uno de los extremos para la salida del agua del canal.



Figura N 2: Canal de pendiente variable del Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma (vista 1)

Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

En la figura N°2 se puede observar un panel control encargado de manejar tres motores ubicados a lo largo del canal cuyas funciones se detallará en el capítulo tres. El canal de pendiente variable tiene la posibilidad de variar la pendiente entre los valores de 0° y 5° pero este valor se halla limitado por la altura del Laboratorio de hidráulica de la Universidad.

A continuación, en la figura N°3 se observa en uno de los extremos del canal de pendiente variable en la parte inferior se encuentra el motor de reductor para variar la pendiente.



Figura N 3: Motor reductor para variar la pendiente
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

En la siguiente figura N°4 se visualiza la bomba de recirculación ubicado en lado lateral del canal, la cual su función es permitir la circulación de agua dentro del canal.

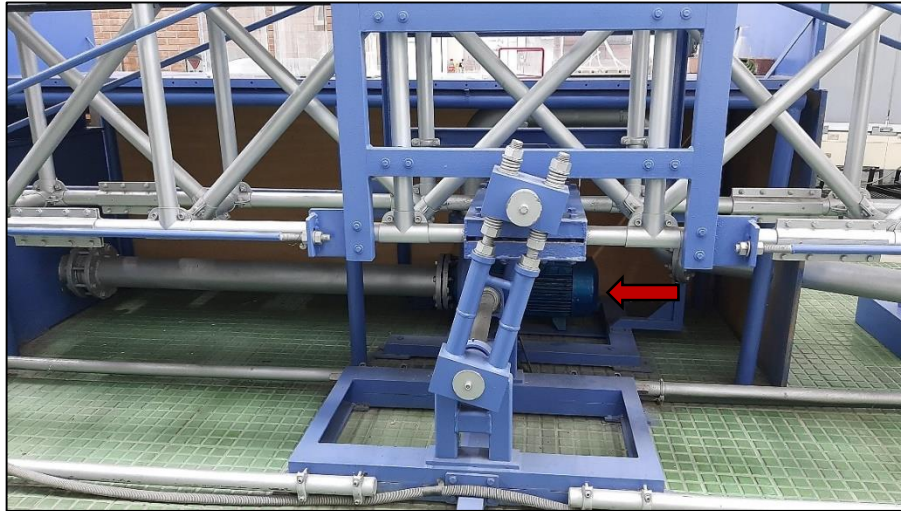


Figura N 4: Bomba de recirculación del canal de pendiente variable
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

En la figura N°5 se aprecia el generador de ondas, la cual permite al operador variar las velocidades para la simulación de una ola regular.



Figura N 5: Generador de ondas
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

2.2.3. LabView

El software LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering) desarrollado por National Instruments es un lenguaje y, a la vez, una herramienta de programación gráfica en el cual se puede crear aplicaciones. Nos permitió realizar el modelamiento de la ola con las mediciones y cálculos de una manera gráfica el cual podremos visualizar de acuerdo con las diferentes velocidades que tiene el canal de pendiente variable (José Lajara,2011).

A continuación, en la Figura N°6 se muestra una simulación de una onda en el software LabVIEW.

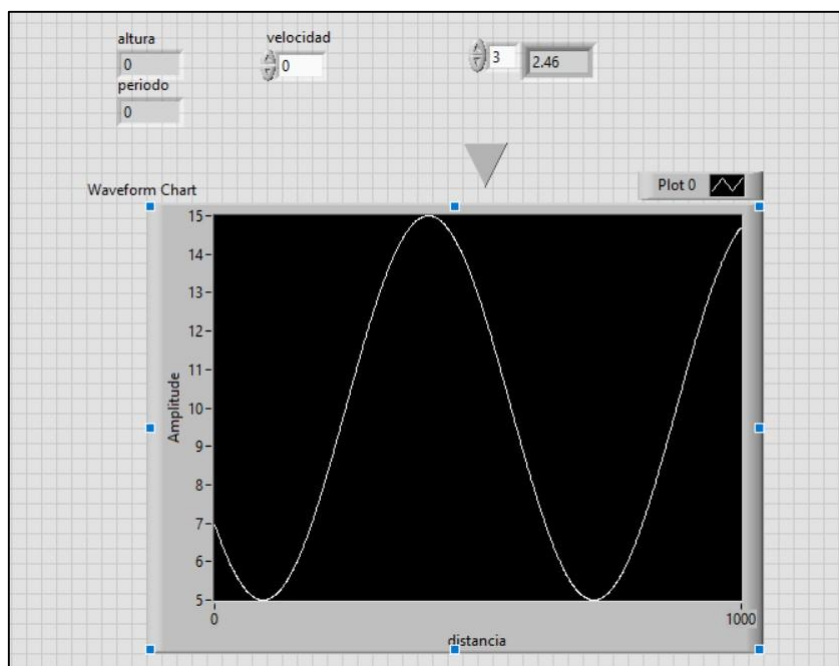


Figura N 6: Panel frontal de la simulación de una onda senoidal en el LabVIEW
Fuente: elaboración propia

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Sensor Ultrasónico

Las mediciones de niveles será por ultrasonido el cual detectará los picos de altura que alcanza la ola en su despliegue por el canal de pendiente variable. Considerando el tiempo en que regresa y la velocidad del sonido, podemos calcular la distancia (Techmake solution, 2017).

El sensor ultrasónico propuesto es de la marca VACORDA modelo HKD cuenta con una exactitud de ± 2 milímetros, temperatura de trabajo de -40 C° a 85 C° y cuenta con la certificación ISO9001:2000CE.

2.3.2. PLC

El PLC (Controlador Lógico Programable) es muy implementado en la industria de la ingeniería de automatización para el control de procesos por ende en nuestra propuesta de proyecto será fundamental el uso de dicho controlador para poder tener el control de los sensores, motores y HMI (Autycom,2022).

Teniendo en cuenta que la Universidad Ricardo Palma cuenta con 2 modelos de PLC son de marca Siemens modelos S7-200 y S7-1200. Por lo tanto, se puede utilizar cualquiera de los 2 modelos de PLC mencionados ya que será suficiente para el desarrollo del proyecto.

2.3.3. HMI

El HMI (Interfaz Máquina Humano) nos permitirá la comunicación con el proceso para así gestionar el proceso.

CAPÍTULO III: MUESTRAS Y SIMULACIÓN

En este capítulo se muestra el proceso realizado para validar el objetivo general del proyecto de tesis; así como los objetivos específicos definidos en el Capítulo I. Para comenzar, se mostrará un diagrama de bloques del desarrollo del proyecto de tesis, luego se detalla la toma de muestras de las características de olas en cuatro velocidades del generador de ondas y cuatro pendientes del canal. Después, se analizaron las muestras obtenidas realizando el modelamiento matemático para conseguir una función relacionada con la velocidad del generador. Con ello se procedió a la simulación en el software LabVIEW y se agregó un sensor. Por último, se presentará teóricamente un prototipo automatizado para la medición y visualización de las características principales de una ola en el canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma.

3.1. Diagrama de bloques general

El siguiente esquema representa el procedimiento para la elaboración del capítulo 3.

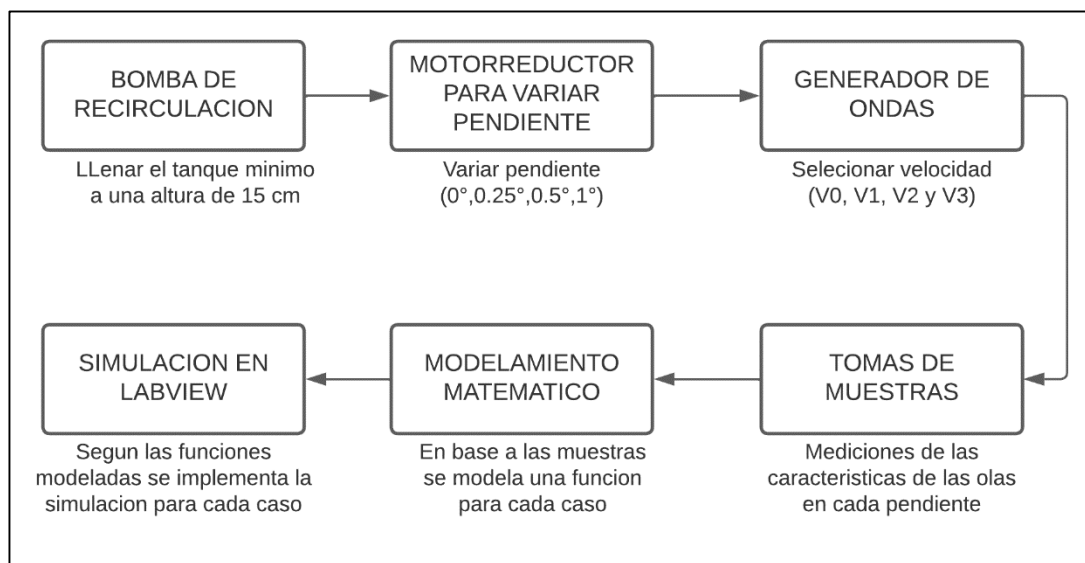


Figura N 7: Esquema del procedimiento del capítulo 3
Fuente: elaboración propia

3.2. Toma de muestras en el canal de pendiente variable

En esta sección se detallará el procedimiento para la medición de olas en el canal de pendiente variable mencionando los motores del canal de pendiente variable señalados en el Capítulo 2 de la presente tesis.

En la figura N°8 se muestra el panel de control del canal de pendiente variable del Laboratorio de hidráulica segmentada en tres partes. En la parte inferior izquierda (1) se encuentran los botones de encendido y apagado de la bomba de recirculación, en la parte inferior derecha (2) se encuentran los botones de encendido y apagado del motor reductor para variar la pendiente y en la parte superior (3) se encuentran los botones de encendido y apagado del generador de ondas junto a la perilla para controlar su velocidad.

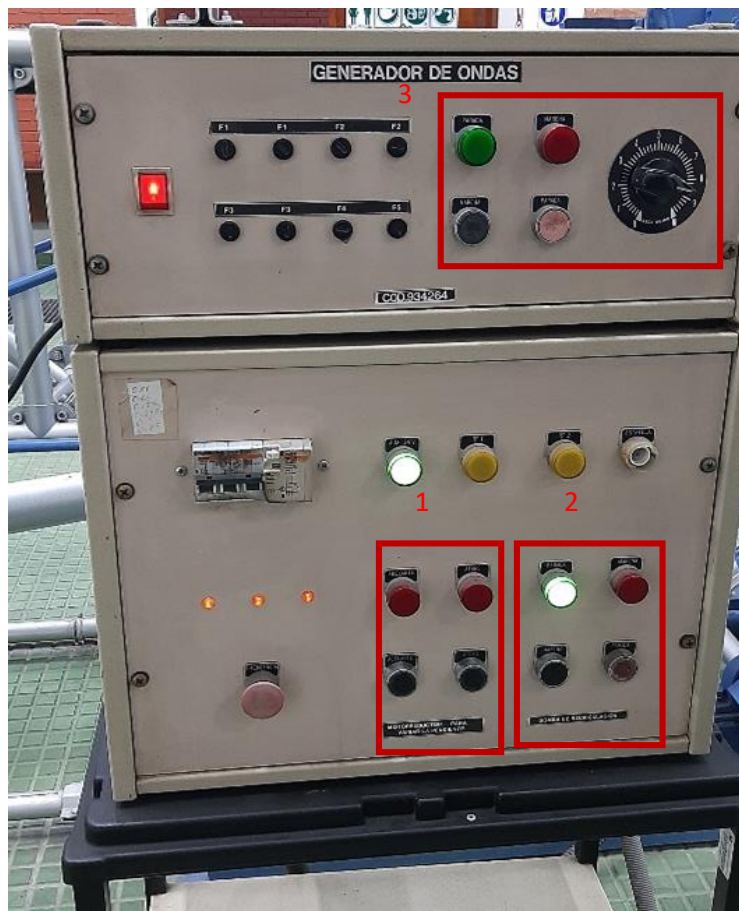


Figura N 8: Panel de control del canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

Para empezar, como se observa en la figura N°9 se cerró la compuerta localizada en el extremo del canal. Luego se procedió a llenar el canal mediante los botones de la bomba de recirculación hasta una altura de 25 cm de agua.

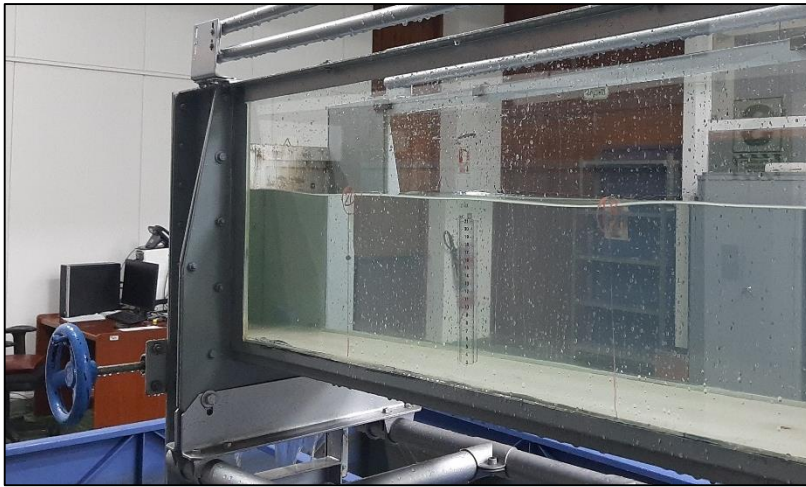


Figura N 9: Extremo del canal de pendiente variable de la Universidad Ricardo Palma
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

Para definir la pendiente del canal se presionó el botón de marcha del motor reductor para variar la pendiente del canal con los valores de 0° , 0.5° , 0.8° y 1° . En la figura N°10 se muestra el péndulo ubicado en la parte lateral del canal, el cual fue utilizado para identificar el grado de inclinación del canal.



Figura N 10: Péndulo del Canal de pendiente variable
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

En la parte 3 del panel de control correspondiente al generador de ondas ubicándose una perilla para variar la velocidad del motor. En la siguiente figura N°11 se observan las posiciones de la perilla y las velocidades que se empleó en la toma de muestras.

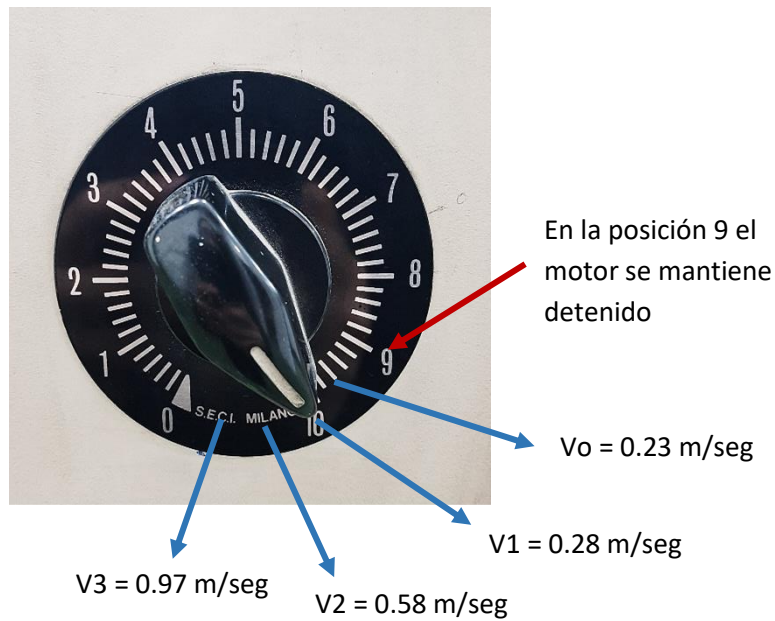


Figura N 11: Perilla para controlar la velocidad del generador de ondas
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

Una vez seleccionada la pendiente del canal y la velocidad del generador se realizó las mediciones de la altura de la ola, el periodo y su longitud. En seguida se muestra el limnómetro.



Figura N 12: Limnómetro del canal de pendiente variable
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

Para agilizar y facilitar las mediciones también se usó una regla en la parte lateral donde se pueda visualizar la forma de la ola. Como se observa en la figura N°13 existe una regla posicionada en vidrio lateral del canal.



Figura N 13: Vista lateral del canal de pendiente variable
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

Por último, se midió el periodo usando un cronómetro y considerando el pico más alto de la ola como inicio, y el siguiente pico alto de la ola como punto final. Dependiendo de la velocidad de las olas esta medición se recomienda ejecutar entre dos personas como se aprecia en la siguiente figura N°14.



Figura N 14: Medición de periodo de la ola en el canal de pendiente variable
Fuente: Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma

3.3. Modelamiento matemático

Como se pudo observar en el generador de ondas no hay un indicador visual de la velocidad exacta selecciona por lo que se vio necesario calcularla de la siguiente forma. Nos basamos en la siguiente ecuación

$$V = \frac{e}{t} \quad (5)$$

Siendo:

V= velocidad (m/seg)

e = espacio recorrido (m)

t = tiempo (seg)

Datos medidos:

Para la primera velocidad V₀: e = 0.35 m y t=1.53 seg

Para la segunda velocidad V₁: e = 0.35 m y t=1.23 seg

Para la tercera velocidad V₂: e = 0.35 m y t=0.6 seg

Para la cuarta velocidad V₃: e = 0.35 m y t=0.36 seg

Reemplazando los datos medidos en la ecuación (3) se obtuvo lo siguiente

Primera velocidad V₀ = 0.23 m/seg

Segunda velocidad V₁ = 0.28 m/seg

Tercera velocidad V₂ = 0.58 m/seg

Cuarta velocidad V₃ = 0.97 m/seg

En la próxima sección se detalló el modelamiento para la obtención de una función por cada pendiente. Se describió el cálculo para el primero caso y los restantes se realizó de manera similar.

3.3.1 Muestras en pendiente de 0°

A continuación, se expondrá las muestras tomadas en la pendiente de 0° del canal para cuatro velocidades (V₀, V₁, V₂ y V₃) del generador de ondas.

- En velocidad V₀

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad V₀=0.23 m/seg.

Tabla N°2

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0° y Vo

Periodo(seg.)	Altura(cm)
0	19.5
1.34	11.5
2.68	19.4
4.02	11.4
5.36	19.6
6.7	11.5
8.04	19.3
9.38	11.8
10.72	18.9
12.06	11.9

Fuente: elaboración propia

Para modelar una función con los datos obtenidos se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas.

$$Altura\ Min\ prom = \frac{11.5 + 11.4 + 11.5 + 11.8 + 11.9}{5} = 11.62cm$$

$$Altura\ Max\ prom = \frac{19.5 + 19.4 + 19.6 + 19.3 + 18.9}{5} = 19.34cm$$

Se utilizo las ambas alturas promedio calculadas para hallar la altura offset

$$Altura\ offset = \frac{19.34 + 11.62}{2} = 15.48cm$$

Luego, la amplitud se calculó de la siguiente manera

$$Amplitud = \frac{19.34 - 11.62}{2} = 3.86cm$$

Finalmente, se reemplazó los datos calculados en la siguiente ecuación

$$f(t) = H_{off} + A \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{P}\right) \times t\right) \quad (6)$$

Siendo:

H_{off} : altura offset

A: Amplitud

P: periodo

t: tiempo

Según la medición realizara el periodo es igual a 2.68 seg. Con los datos del caso expuesto de se tendrá la siguiente función.

$$f(t) = 15.48 + 3.86 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{2.68}\right) \times t\right) \quad (7)$$

En seguida, en la figura N°15 se graficó la función modelada.

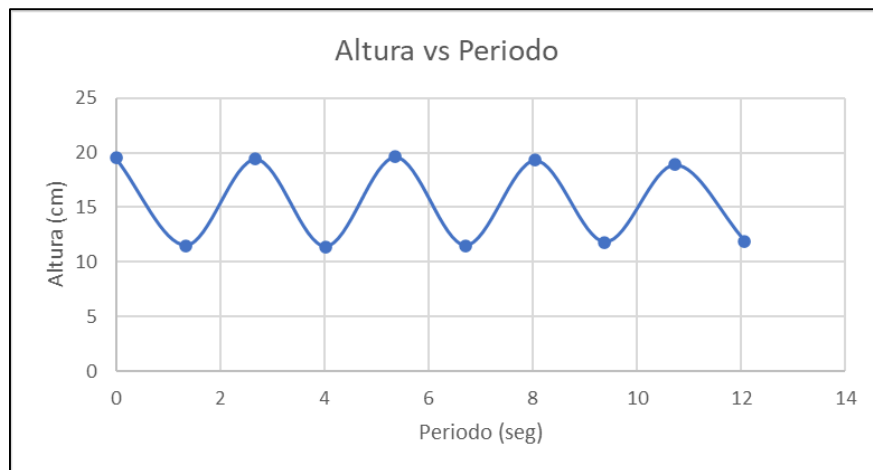


Figura N 15: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0 y V0
Fuente: elaboración propia

- En velocidad V1

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_1 = 0.28$ m/seg

Tabla N°3

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0° y V1

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	18.4
1.09	12.1
2.18	18.3
3.27	12.3
4.36	18.5
5.45	12.4
6.54	18.2
7.63	12.5
8.72	18.1
9.81	12.6

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$Altura\ offset = \frac{18.3 + 12.38}{2} = 15.34cm$$

$$Amplitud = \frac{18.3 - 12.38}{2} = 2.96cm$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 2.18 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 15.34 + 2.96 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{2.18}\right) \times t\right) \quad (8)$$

En seguida, en la figura N°16 se graficó la función modelada

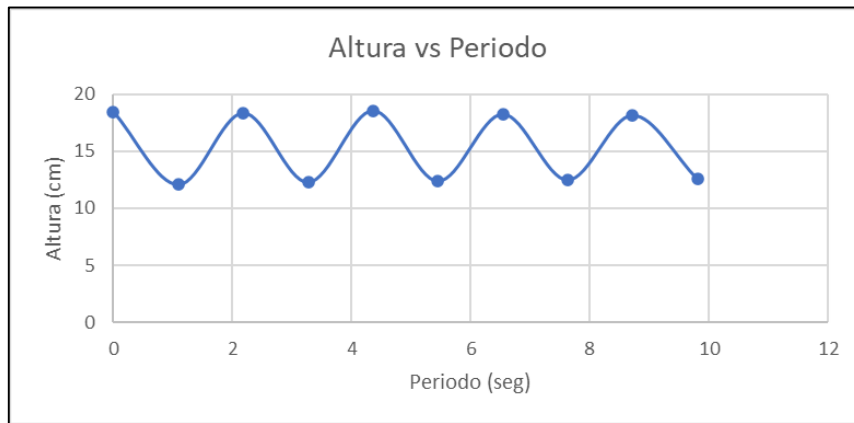


Figura N 16: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0 y v V1
Fuente: elaboración propia

- En velocidad V2

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_2 = 0.58$ m/seg

Tabla N°4
Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0° y V2

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	17.7
0.74	12.7
1.48	17.8
2.22	12.3
2.96	17.9
3.7	12.4
4.44	18.2
5.18	13
5.92	18
6.66	12.9

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$\text{Altura offset} = \frac{17.92 + 12.66}{2} = 15.29\text{cm}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{17.92 - 12.66}{2} = 2.63\text{cm}$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 1.48 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 15.29 + 2.63 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{1.48}\right) \times t\right) \quad (9)$$

En seguida, en la figura N°17 se graficó la función modelada

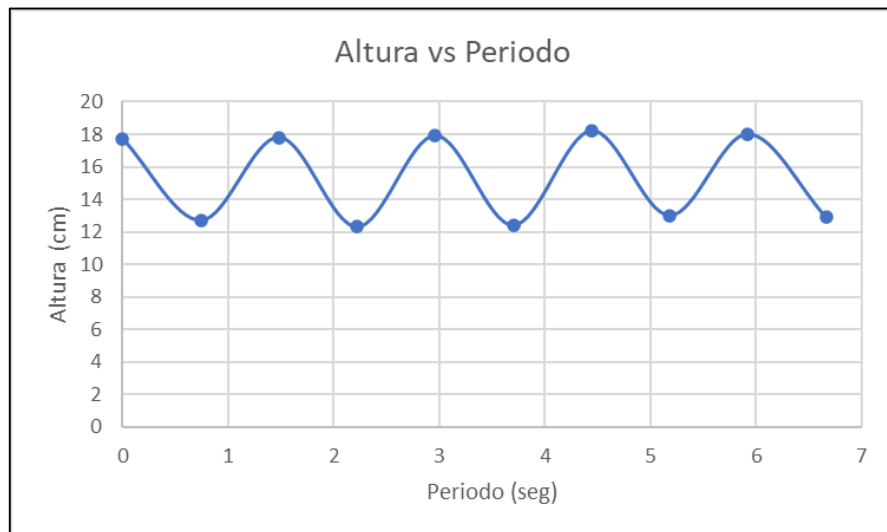


Figura N 17: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0 y V2

Fuente: elaboración propia

- En velocidad V3

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_3 = 0.97$ m/seg

Tabla N°5

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0° y V3

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	17.3
0.655	12.1
1.31	17.2
1.965	12.4
2.62	17.5
3.275	12.8
3.93	17.1
4.585	12.6
5.24	17.6
5.895	12.3

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$\text{Altura offset} = \frac{17.34 + 12.44}{2} = 14.89\text{cm}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{17.34 - 12.44}{2} = 2.45\text{cm}$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 1.31 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 14.89 + 2.45 \times \cos\left(\frac{2\pi}{1.31} \times t\right) \quad (10)$$

En seguida, en la figura N°18 se graficó la función modelada

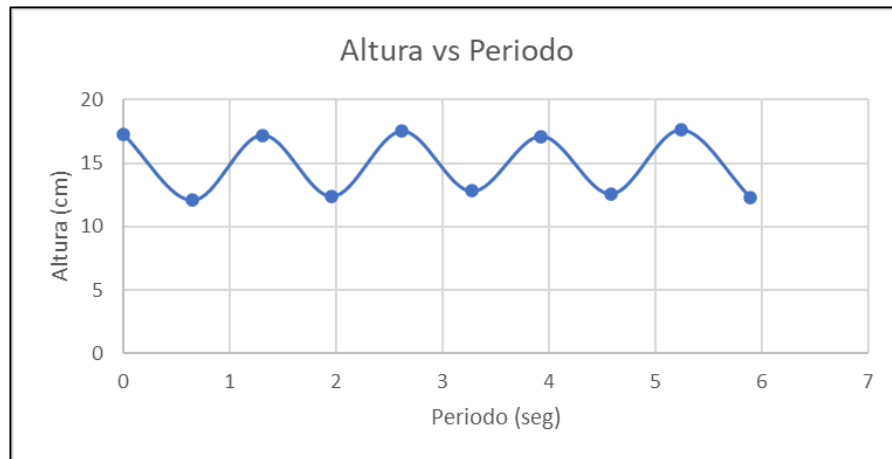


Figura N 18: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0 y V3

Fuente: elaboración propia

- Longitud de las olas en cada velocidad

Se midió la longitud de las olas en cada velocidad haciendo uso de un guincha debido a la naturaleza de la ola es imposible medir la longitud para cada periodo por lo que se decidió utilizar la medición más precisa. En la siguiente tabla se puede visualizar las longitudes para cada velocidad en la pendiente 0°.

Tabla N°6
Longitud de ola en pendiente 0°

Velocidades	Longitud (cm)
V0	65
V1	62
V2	90
V3	140

Fuente: elaboración propia

3.3.2 Muestras en pendiente de 0.25°

A continuación, se expondrá las muestras tomadas en la pendiente de 0.25° del canal para cuatro velocidades (V_0 , V_1 , V_2 y V_3) del generador de ondas.

- En velocidad V_0

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_0=0.23$ m/ser

Tabla N°7
Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0.25° y V_0

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	18.5
0.315	10.2
0.63	18.2
1	10.1
1.315	17.5
1.63	10.5
2	18.6
2.315	11
2.63	18.2
2.945	10.4

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$\text{Altura offset} = \frac{18.2 + 10.44}{2} = 14.2\text{cm}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{18.2 - 10.44}{2} = 3.88\text{cm}$$

De la tabla (6) se extrajo el valor del periodo igual a 0.63 segundos y se reemplazaron los demás valores calculados en la ecuación (6) obteniendo la siguiente ecuación.

$$f(t) = 14.2 + 3.88 \times \cos\left(\frac{2\pi}{0.63} \times t\right) \quad (11)$$

En seguida, en la figura N°19 se graficó la función modelada

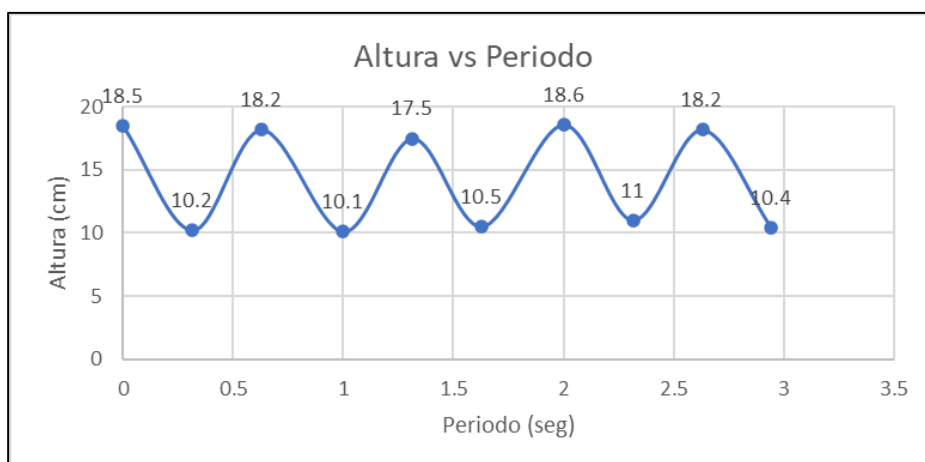


Figura N 19: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.25° y V0

Fuente: elaboración propia

- En velocidad V1

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_1=0.28$ m/seg

Tabla N°8

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0.25° y V1

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	22.6
0.455	12.4
0.91	22.3
1.365	12.6
1.82	21.5
2.275	13.2
2.73	21.7
3.185	12.8
3.64	22.5
4.095	12.8

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$Altura\ offset = \frac{22.12 + 12.76}{2} = 17.44cm$$

$$Amplitud = \frac{22.12 - 12.76}{2} = 4.68cm$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 0.91 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 17.44 + 4.68 \times \cos\left(\frac{2\pi}{0.91} \times t\right) \quad (12)$$

En seguida, en la figura N°20 se graficó la función modelada

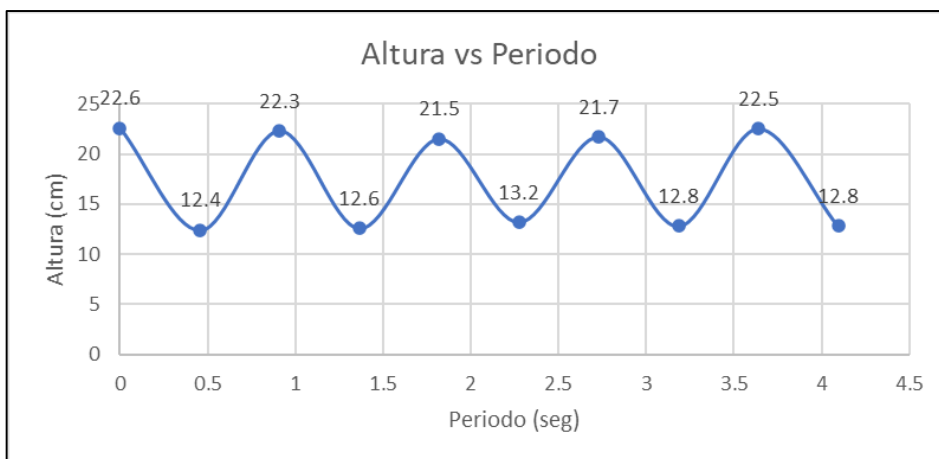


Figura N 20: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.25° y VI
Fuente: elaboración propia

- En velocidad V2

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_2 = 0.58$ m/seg

Tabla N°9

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0.25° y V2

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	39.8
0.6	22.6
1.2	39.2
1.8	23.4
2.4	38.7
3	23.3
3.6	37.9
4.2	24
4.8	37.7
5.4	23.5

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$Altura\ offset = \frac{38.66 + 23.36}{2} = 31.01cm$$

$$Amplitud = \frac{38.66 - 23.36}{2} = 7.65cm$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 1.2 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 31.01 + 7.65 \times \cos\left(\frac{2\pi}{1.2}\right) \times t \quad (13)$$

En seguida, en la figura N°21 se graficó la función modelada

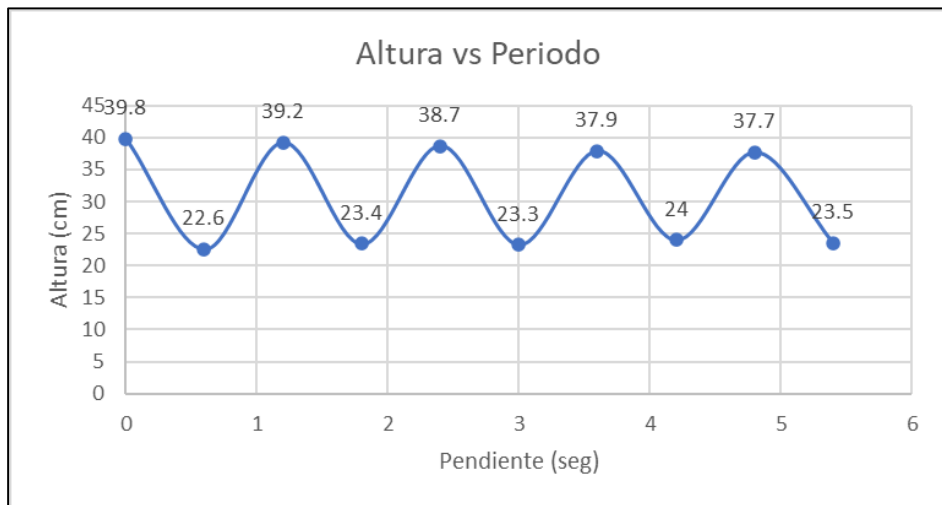


Figura N 21: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.25° y V2
Fuente: elaboración propia

- En velocidad V3

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_3 = 0.97$ m/seg

Tabla N°10

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0.25° y V3

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	35
0.47	20.1
0.94	34.2
1.41	20.9
1.94	33.8
2.41	21.41
2.94	32.9
3.41	22.1
3.94	34.5
4.41	21.8

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$\text{Altura offset} = \frac{21.26 + 34.08}{2} = 27.67\text{cm}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{34.08 - 21.26}{2} = 6.4\text{cm}$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 0.94 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 27.67 + 6.4 \times \cos\left(\frac{2\pi}{0.94} \times t\right) \quad (14)$$

En seguida, en la figura N°22 se graficó la función modelada

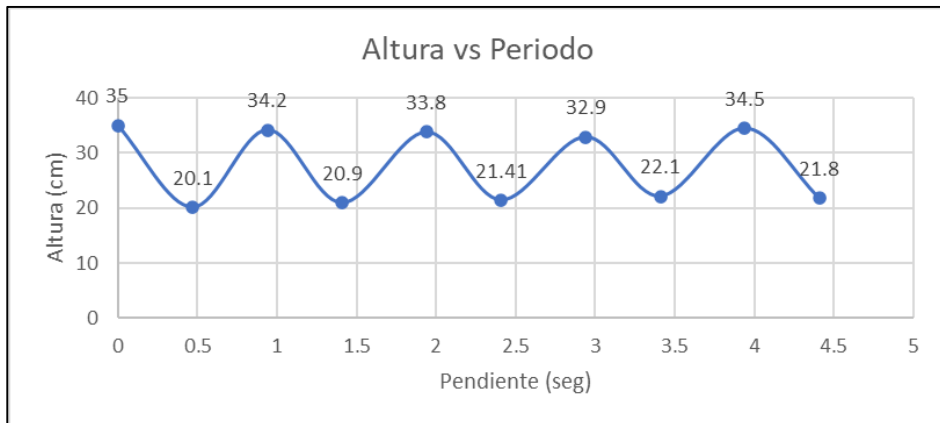


Figura N 22: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.25° y V3
Fuente: elaboración propia

- Longitud de las olas en cada velocidad

En la siguiente tabla se puede visualizar las longitudes para cada velocidad en la pendiente 0.25° .

Tabla N°11
Longitud de ola en pendiente 0.25°

Velocidades	Longitud (cm)
V0	50
V1	74
V2	180
V3	170

Fuente: elaboración propia

3.3.3 Muestras en pendiente de 0.5°

A continuación, se expondrá las muestras tomadas en la pendiente de 0° del canal para cuatro velocidades (V_0 , V_1 , V_2 y V_3) del generador de ondas.

- En velocidad V0

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_0=0.23$ m/seg

Tabla N°12
Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0.5° y V0

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	23.5
1.565	14
3.13	23.7
4.695	14.3
6.26	23.4
7.825	13.7
9.39	23.6
10.955	13.9
12.52	23.2
14.085	14.2

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$\text{Altura offset} = \frac{23.48 + 14.02}{2} = 18.75\text{cm}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{23.48 - 14.02}{2} = 4.73\text{cm}$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 3.13 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 18.75 + 4.73 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{3.13}\right) \times t\right) \quad (15)$$

En seguida, en la figura N°23 se graficó la función modelada

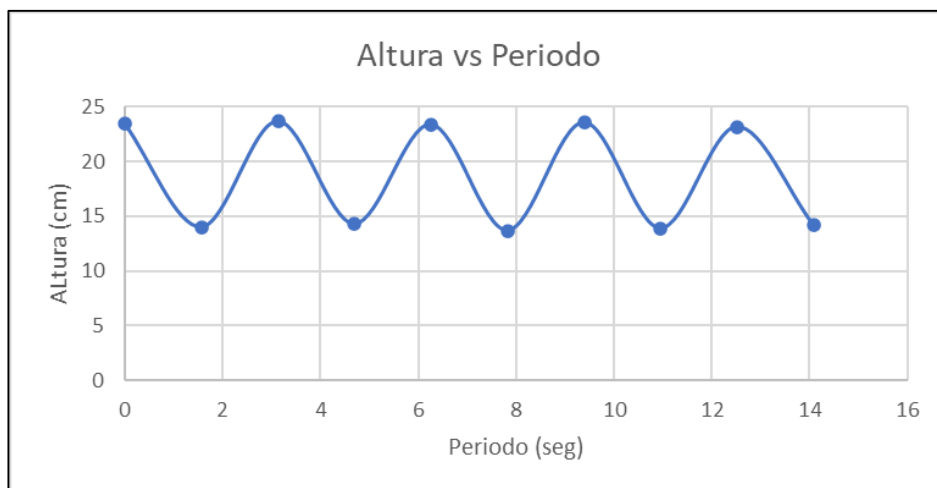


Figura N 23: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.5° y V0
Fuente: elaboración propia

- En velocidad V1

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_1=0.28$ m/seg

Tabla N°13

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0.5° y V1

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	20.5
1.175	11.4
2.35	20.3
3.525	11.6
4.7	20.7
5.875	11.6
7.05	20.6
8.225	11.5
9.4	20.5
10.575	11.3

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$\text{Altura offset} = \frac{20.52 + 11.48}{2} = 16\text{cm}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{20.52 - 11.48}{2} = 4.52\text{cm}$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 2.35 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 16 + 4.52 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{2.18}\right) \times t\right) \quad (16)$$

En seguida, en la figura N°24 se graficó la función modelada

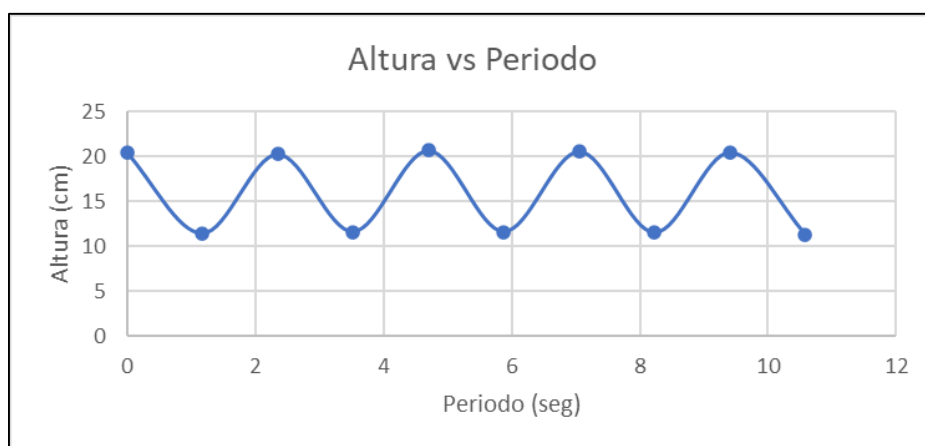


Figura N 24: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.5° y V1
Fuente: elaboración propia

- En velocidad V2

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_2=0.58$ m/seg

Tabla N°14

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0.5° y V2

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	18.5
0.85	12.4
1.7	18.3
2.55	12.3
3.4	18.1
4.25	12.1
5.1	18.9
5.95	11.8
6.8	17.8
7.65	11.7

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$\text{Altura offset} = \frac{18.32 + 12.06}{2} = 15.19\text{cm}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{18.32 - 12.06}{2} = 3.13\text{cm}$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 1.7 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 15.19 + 3.13 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{1.7}\right) \times t\right) \quad (17)$$

En seguida, en la figura N°25 se graficó la función modelada.

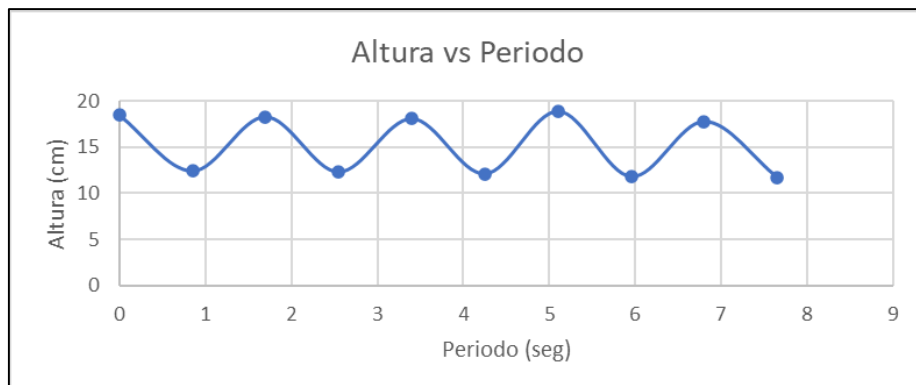


Figura N 25: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.5° y V2
Fuente: elaboración propia

- En velocidad V3

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_3=0.97$ m/seg

Tabla N°15

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 0.5° y V3

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	20
0.525	14.2
1.05	20.4
1.575	14.3
2.1	20.3
2.625	14.6
3.15	20.6
3.675	14.1
4.2	19.9
4.725	13.8

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$Altura\ offset = \frac{20.24 + 14.2}{2} = 14.89cm$$

$$Amplitud = \frac{20.24 - 14.2}{2} = 2.45cm$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 1.05 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 14.89 + 2.45 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{1.05}\right) \times t\right) \quad (18)$$

En seguida, en la figura N°26 se graficó la función modelada

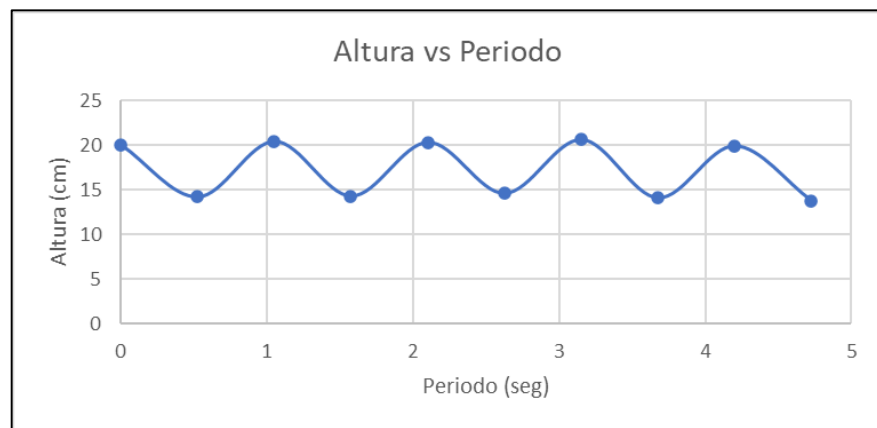


Figura N 26: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 0.5° y V3
Fuente: elaboración propia

- Longitud de las olas en cada velocidad

En la siguiente tabla se puede visualizar las longitudes para cada velocidad en la pendiente 0.5°.

Tabla N°16
Longitud de ola en pendiente 0.5°

Velocidades	Longitud (cm)
V0	82
V1	70
V2	120
V3	160

Fuente: elaboración propia

3.3.4 Muestras en pendiente de 1°

A continuación, se expondrá las muestras tomadas en la pendiente de 0° del canal para cuatro velocidades (V₀, V₁, V₂ y V₃) del generador de ondas.

- En velocidad V_0

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_0=0.23$ m/seg

Tabla N°17

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 1° y V_0

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	17.8
1.605	11
3.21	17.6
4.815	11.4
6.42	17.2
8.025	11.7
9.63	16.9
11.235	12
12.84	16.7
14.445	12.3

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$Altura\ offset = \frac{17.24 + 11.68}{2} = 14.46cm$$

$$Amplitud = \frac{17.34 - 11.68}{2} = 2.78cm$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 3.21 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 14.46 + 2.78 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{3.21}\right) \times t\right) \quad (19)$$

En seguida, en la figura N°27 se graficó la función modelada

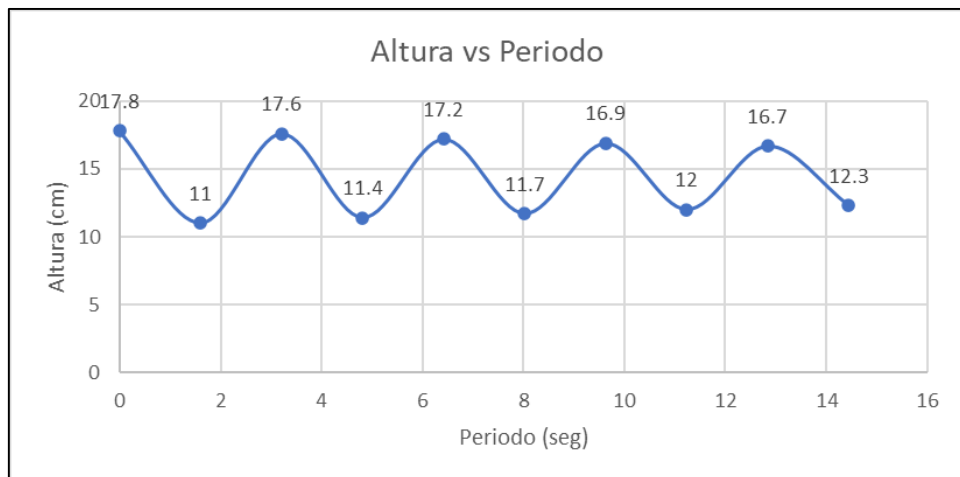


Figura N 27: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 1° y V0

Fuente: elaboración propia

- En velocidad V1

Se presenta en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_1=0.28$ m/seg

Tabla N°18

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 1° y V1

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	25.6
1.33	13.1
2.66	25
3.99	13.6
5.32	24.5
6.65	13.3
7.98	24.2
9.31	14.2
10.64	23.7
11.97	14.3

Fuente: elaboración propia

Se promediaron los valores de las alturas mínimas y las alturas máximas para calcular los siguientes valores:

$$\text{Altura offset} = \frac{24.6 + 13.7}{2} = 19.15\text{cm}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{24.6 - 13.7}{2} = 5.45\text{cm}$$

De ahí, teniendo en cuenta como valor medido el periodo igual a 2.66 segundos y reemplazando los demás valores calculados en la ecuación (6) se obtiene la siguiente ecuación.

$$f(t) = 19.15 + 5.45 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{2.66}\right) \times t\right) \quad (20)$$

En seguida, en la figura N°28 se graficó la función modelada

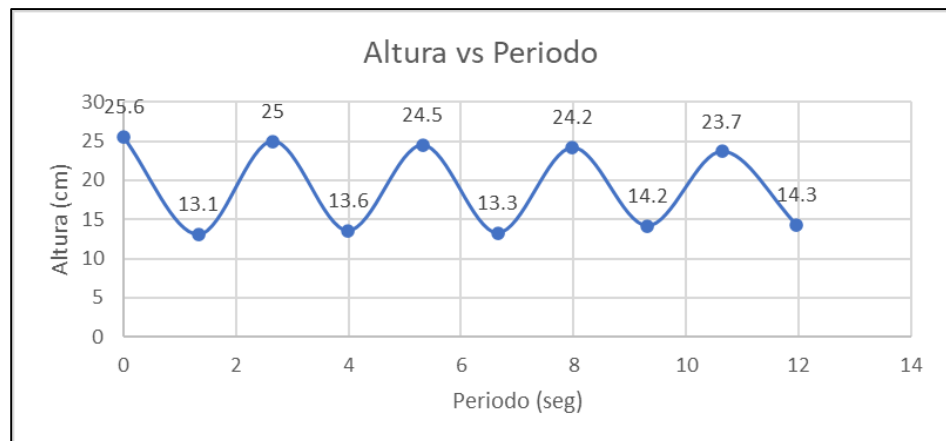


Figura N 28: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 1° y V1
Fuente: elaboración propia

- En velocidad V2

Se presentan en la siguiente tabla los datos medidos con el generador de ondas en la velocidad $V_1=0.58$ m/seg

Tabla N°19

Alturas de olas respecto a su periodo con pendiente 1° y V2

Periodo(seg)	Altura(cm)
0	23
0.9	13.6
1.8	22
2.7	14
3.6	21
4.5	14.6
5.4	20
6.3	15
7.2	19
8.1	15.6

Fuente: elaboración propia

En seguida, en la figura N°29 se graficó la línea de tendencia sobre los valores de la toma de muestra.

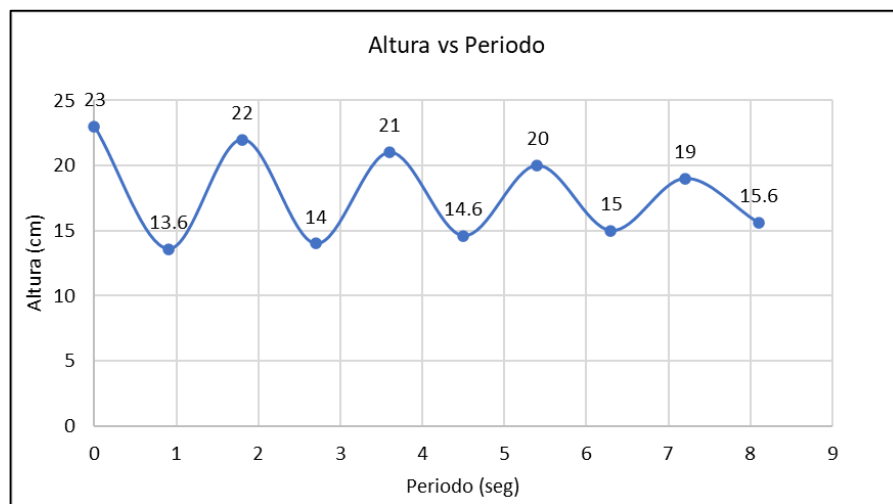


Figura N 29: Gráfica de la onda en la pendiente 1° y V2

Fuente: elaboración propia

Como se visualiza en la figura anterior al final de ola se produjo un amortiguamiento por lo que se tuvo que agregar dos datos entre cada pico de altura calculando la altura offset y la amplitud entre cada pico de altura. A continuación, en la tabla N°20 se colocó una columna con la fórmula utilizada.

Tabla N°20

Cálculo de alturas adicionales de olas respecto a su periodo.

Periodo (seg)	Altura (cm)	H offset(cm)	Amplitud (cm)	Calculo
0	23	18.3	4.7	
0.3	20.65			=18.3+4.7xCOS((2π/1.8) x0.3)
0.6	15.95			=18.3+4.7xCOS((2π/1.8) x0.6)
0.9	13.6	17.8	4.2	
1.2	15.7			=17.8+4.2xCOS((2π/1.8) x1.2)
1.5	19.9			=17.8+4.2xCOS((2π/1.8) x1.5)
1.8	22	18	4	
2.1	20			=18+4xCOS((2π/1.8) x2.1)
2.4	16			=18+4xCOS((2π/1.8) x16)
2.7	14	17.5	3.5	
3	15.75			=17.5+3.5xCOS((2π/1.8) x3)
3.3	19.25			=17.5+3.5xCOS((2π/1.8) x3.3)
3.6	21	17.8	3.2	
3.9	19.4			=17.8+3.2xCOS((2π/1.8) x3.9)
4.2	16.2			=17.8+3.2xCOS((2π/1.8) x4.2)
4.5	14.6	17.3	2.7	
4.8	15.95			=17.3+2.7xCOS((2π/1.8) x4.8)
5.1	18.65			=17.3+2.7xCOS((2π/1.8) x5.1)
5.4	20	17.5	2.5	
5.7	18.75			=17.5+2.5xCOS((2π/1.8) x5.7)
6	16.25			=17.5+2.5xCOS((2π/1.8) x6)
6.3	15	17	2	
6.6	16			=17+2xCOS((2π/1.8) x6.6)
6.9	18			=17+2xCOS((2π/1.8) x6.9)
7.2	19	17.3	1.7	
7.5	18.15			=17.3+1.7xCOS((2π/1.8) x7.5)
7.8	16.45			=17.3+1.7xCOS((2π/1.8) x7.8)
8.1	15.6			

Fuente: elaboración propia

Luego, se realizó la gráfica de las alturas respecto al periodo como se observa en la siguiente figura.

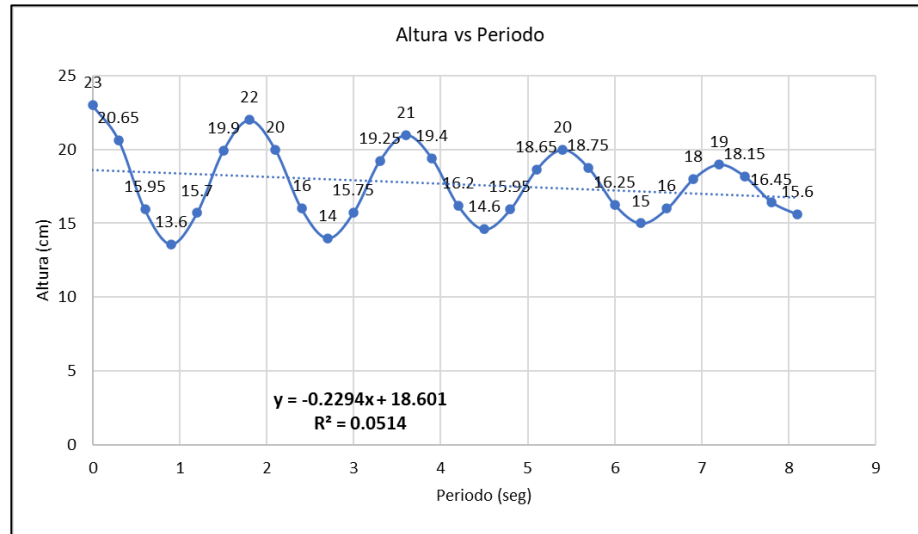


Figura N 30: Gráfica de la función modelada de la onda en la pendiente 1° y V2
Fuente: elaboración propia

- Longitud de las olas en cada velocidad

En la siguiente tabla se puede visualizar las longitudes para cada velocidad en la pendiente 1°.

Tabla N°21
Longitud de ola en pendiente 1°

Velocidades	Longitud (cm)
V0	360
V1	300

Fuente: elaboración propia

3.4. Implementación de interfaz en LabVIEW

En esta sección se describen la programación de la simulación en LabVIEW, la cual se basó en la función modelada para cada pendiente con sus respectivas velocidades del generado de ondas. En el primer caso se explicó detalladamente la programación ya para los casos siguientes el procedimiento es similar.

3.4.1. Simulación de olas en la pendiente 0°

A continuación, se expondrá la programación en el diagrama de bloques cuando la pendiente de 0° del canal para cuatro velocidades (V_0 , V_1 , V_2 y V_3) del generador de ondas y el panel frontal de la simulación respectivamente.

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V_0

En la ventana diagrama de bloques presentamos las gráficas de las olas para cada pendiente mostrando el valor de las características de la ola. Se explicará detalladamente el procedimiento realizado para la simulación de una ola en la pendiente 0° y velocidad V_0 . Para este caso es necesario recordar la ecuación (6) presentada en el apartado anterior.

$$f(t) = 15.48 + 3.86 \times \cos\left(\left(\frac{2\pi}{2.68}\right) \times t\right) \quad (6)$$

De la función se puede identificar los siguientes valores:

Periodo = 2.68 seg

Altura offset = 15.48 cm

Amplitud = 3.86 cm

Una vez se identificó los valores en la función se explicará la programación de la simulación en 4 partes (A, B, C y D) en el block diagram del Labview. Primero todo se encuentra dentro un case structure separados por cada pendiente. De ahí en case se empleó un while loop para repite el código.

Como se muestra en la siguiente figura N°31 se visualiza segmentada la parte (A), en la cual en el lado inferior se ubica un terminal de iteración que indica el número de iteraciones completadas. Dicho terminal se multiplica por π y se dividió entre 180 para convertirlo en radianes. Este resultado se multiplica con la división de dos veces π entre el periodo 2.68 segundos obteniendo el valor que se encuentra dentro del coseno de la ecuación (6).

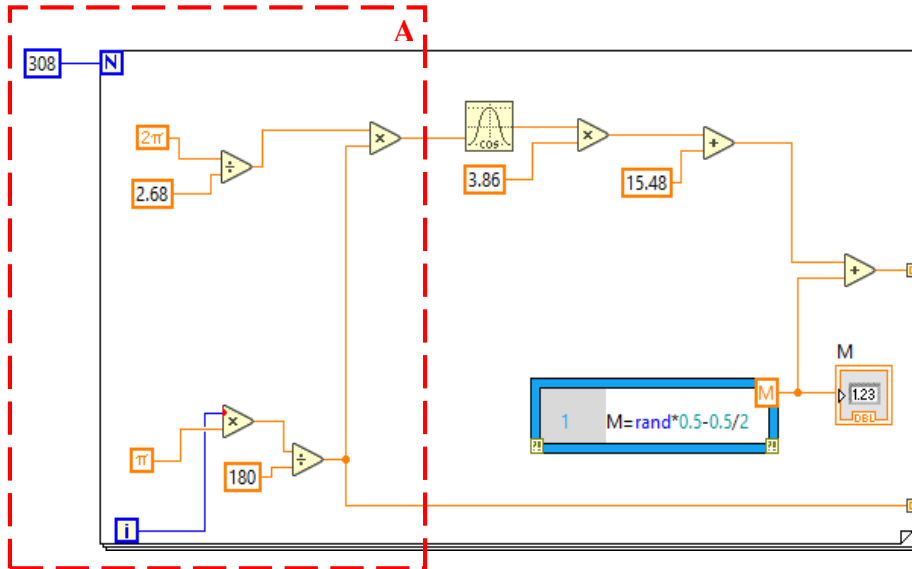


Figura N 31: Diagrama de bloque del LabVIEW con pendiente 0° y V0 parte A
 Fuente: elaboración propia

En la figura N°32 se observa el icono de la función trigonométrica coseno y cuyo flujo es calcular el coseno del valor x. Esta función es de suma importancia para lograr la simulación de la función deseada. Además, es necesario mencionar que el valor de x debe estar en radianes.

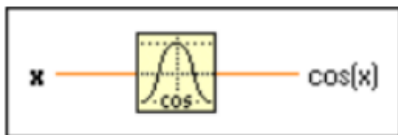


Figura N 32: Flujo de la función trigonométrica coseno en el LabVIEW
 Fuente: LabVIEW

En la figura N°33 se encuentra señalada la parte (B) donde se calcula el coseno del resultado de salida obtenida en radianes descrita en la parte (A) luego se multiplica por la amplitud de 3.86 cm. Este resultado se suma con la altura offset de 15.48 cm.

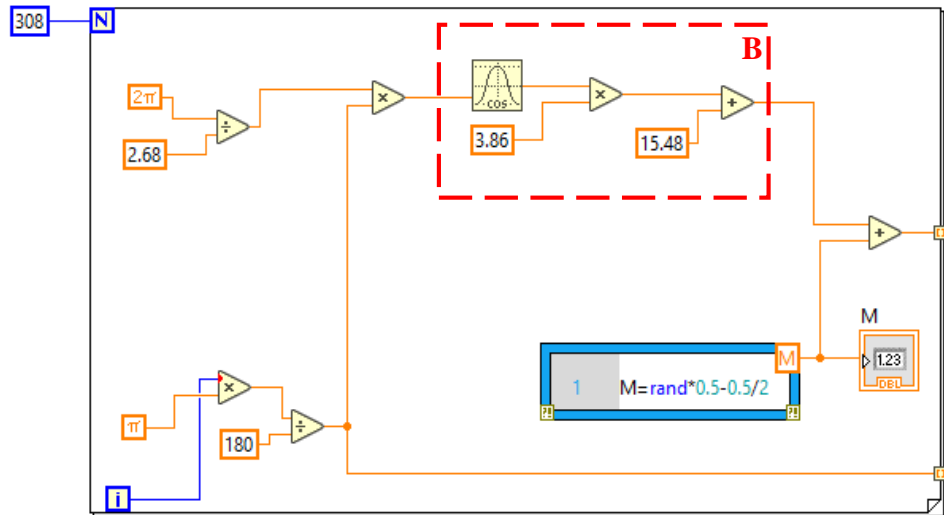


Figura N 33: Diagrama de bloque del LabVIEW con pendiente 0° y V0 parte B
Fuente: elaboración propia

En la parte (C) se muestra en la figura N°34 el resultado de la parte B se sumó con un valor aleatorio del rango de -0.25 al 0.25 adquirido del script M con la intención de simular una perturbación para que se asemeje más a los experimentos hechos en el canal de pendiente variable.

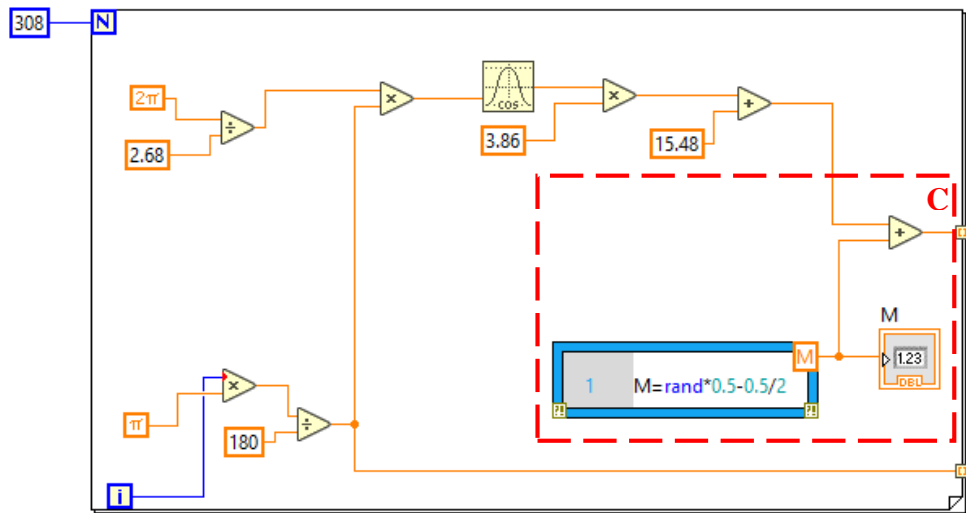


Figura N 34: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V0 parte C
Fuente: elaboración propia

En la figura N°35 se observa la función Array máx. & min que nos permite usar el Labview para devolver los valores máximos y mínimos encontrados en el arreglo junto con los índices de cada valor.

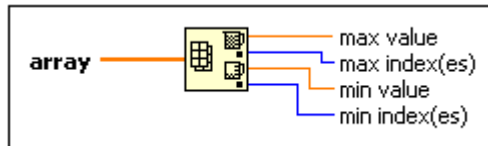


Figura N 35: Flujo de funcionamiento de un array en LabVIEW

Fuente: LabVIEW

También se empleó la función write delimited spreadsheet para exportar los valores de la altura offset. En la siguiente imagen se aprecia el flujo de funcionamiento de dicha función.

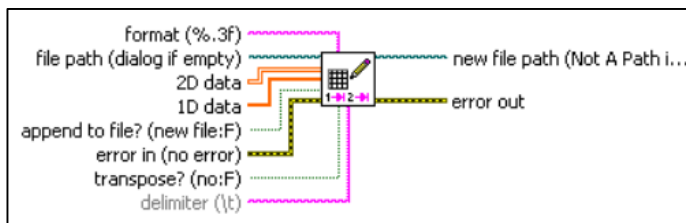


Figura N 35: Flujo de funcionamiento del write delimited spreadsheet

A continuación, en figura N°37 se observa en la parte (D) un indicador numérico creado para la salida del for loop permitiéndonos visualizar el valor en el panel frontal. Luego, se empleó el mismo array de la figura N°35 con el objetivo de obtener la semi resta del valor máximo con el valor mínimo. Después ese resultado se resta con un valor aleatorio del script M para obtener la amplitud offset. Además, se utilizó un Build XY graph express Vi para visualizar un gráfico de la altura respecto al periodo en el panel frontal

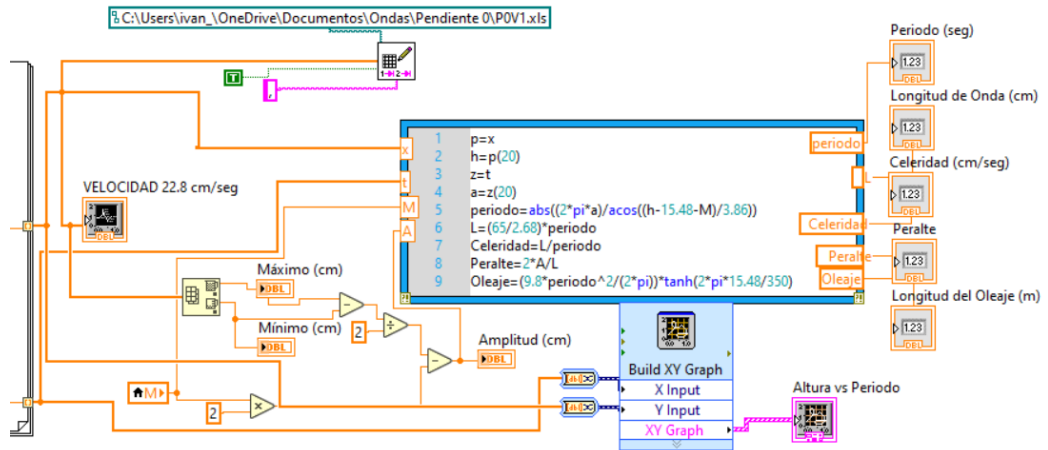


Figura N 37: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V0 parte D
Fuente: elaboración propia

En el script se indicó las variables y se calculó las características de la ola con el fin de visualizarlo en el panel frontal.

- $P = x$: Función modelada salida de la parte C (figura N°34)
- $h = p(20)$: Muestra 20 de la función modelada
- $z = t$: Establecido la variable z como periodo en radianes obtenido usando una iteración.
- $a = z(20)$: Amplitud de la muestra 20
- $\text{periodo} = \text{abs}((2 * \pi * a) / \text{acos}((h - 15.48 - M) / 3.86))$: despejado de la ecuación (7) con el fin de calcular el periodo.
- $L = (\text{Longitud} / \text{Periodo modelado}) \times \text{Periodo}$: fórmula para calcular la longitud
- $\text{Celeridad} = \text{Longitud} / \text{Periodo}$: ecuación (1)
- $\text{Peralte} = (2 \times \text{Amplitud}) / \text{Longitud}$: ecuación (2)
- $\text{Oleaje} = 9.8 \times (\text{Periodo})^2 / (2 \pi \times \text{TANH}(2 \pi \times 15.48 / 350))$: ecuación (3)

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V0

En el panel frontal se muestra la función modelada y como se observa en la siguiente figura N°38 en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

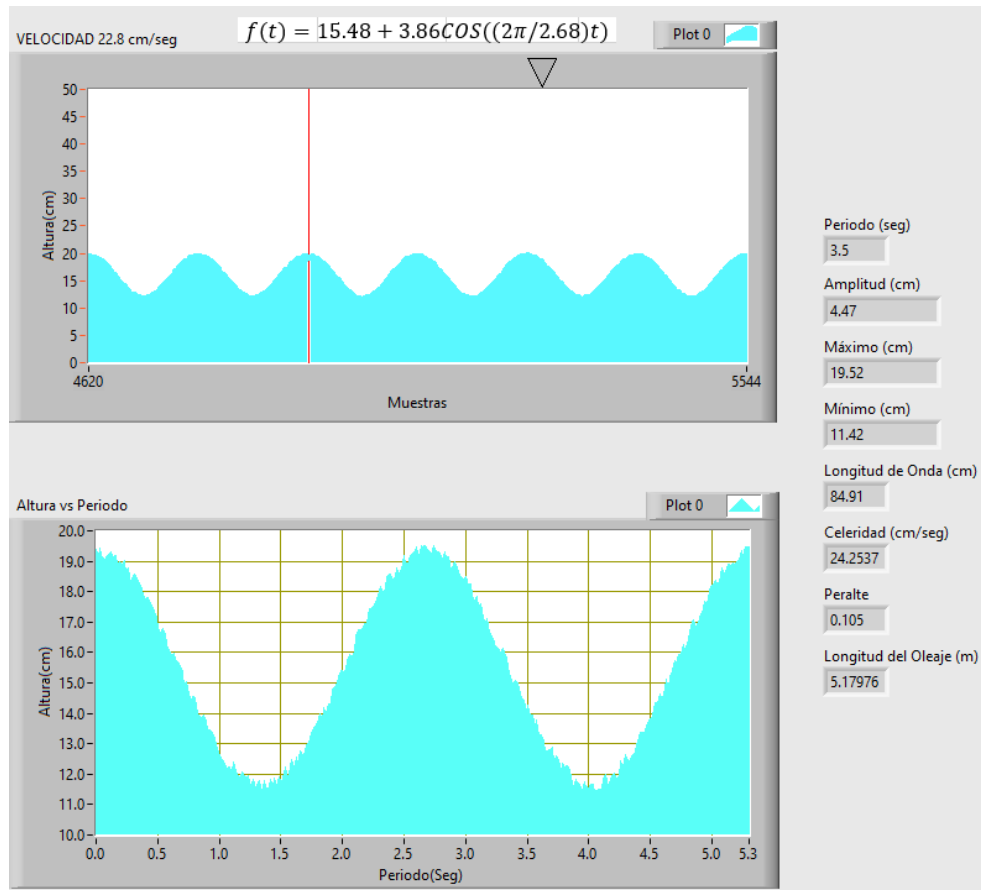


Figura N 38: Panel frontal en pendiente 0 y velocidad V0
Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V1

En la figura N°39 se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (8).

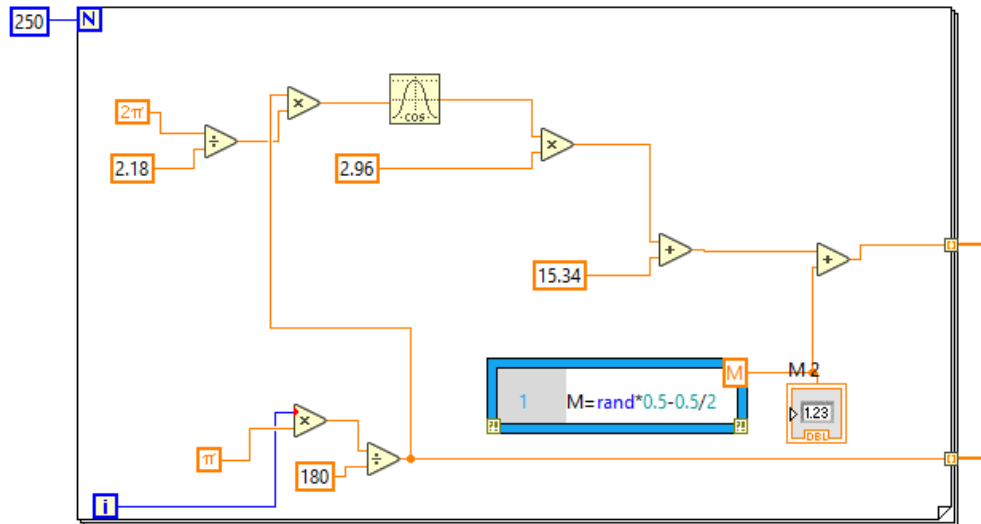


Figura N 39: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V1 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En la figura N°40 se conforma como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios y visualizarlos en el panel frontal.

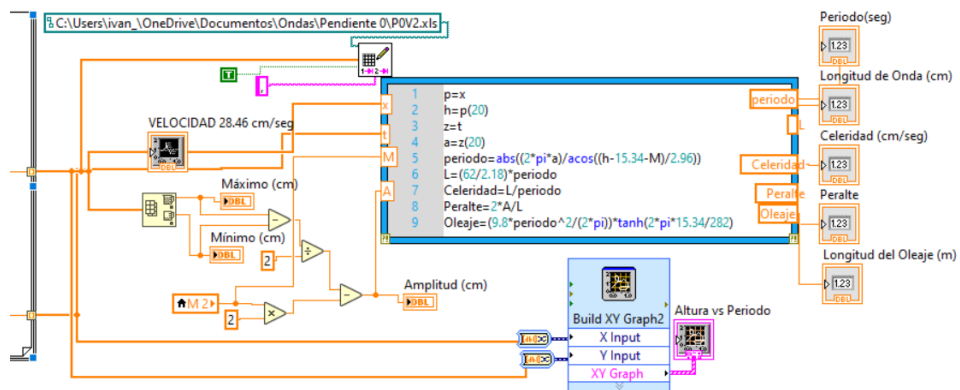


Figura N 40: Diagrama de bloque del LabVIEW con pendiente 0° y V1 parte D
Fuente: elaboración propia

En la figura N°41 se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques.

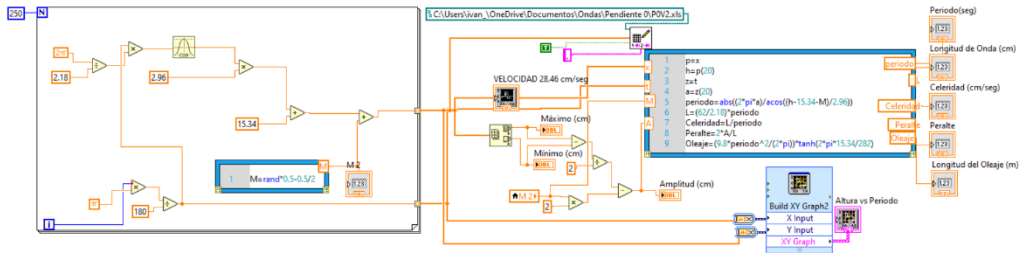


Figura N 36: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0° y V1
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V0

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

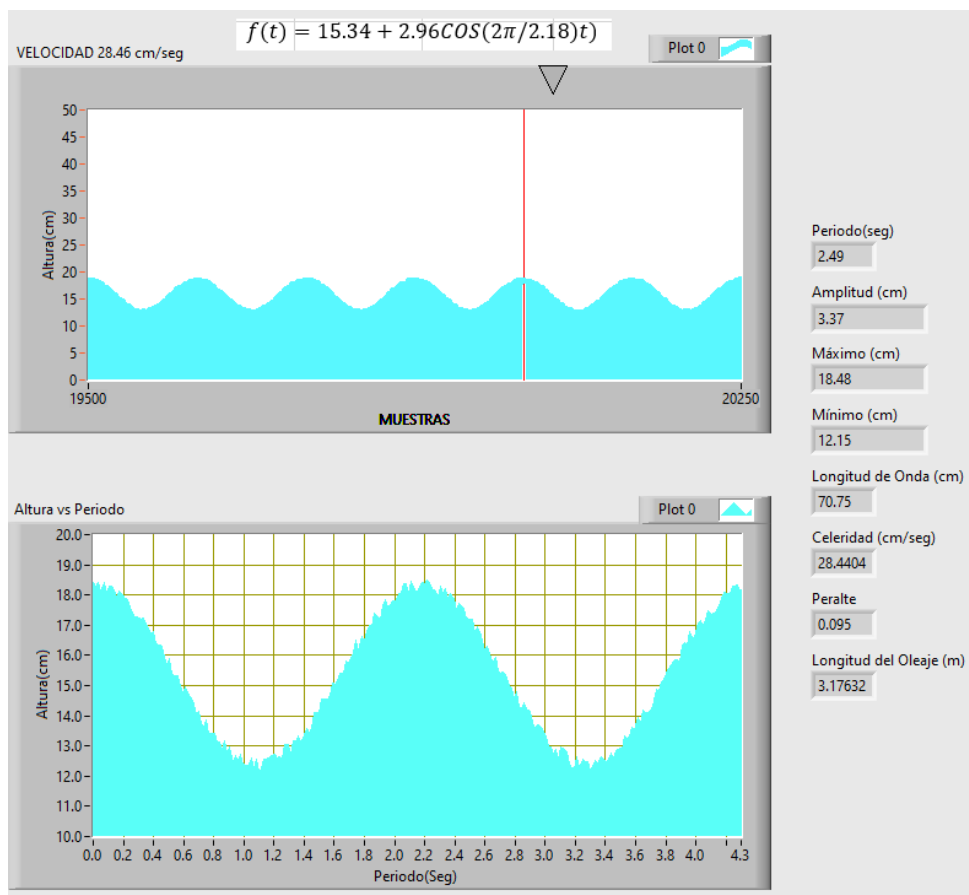


Figura N 37: Panel frontal en pendiente 0 y velocidad V1
Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V2

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (9).

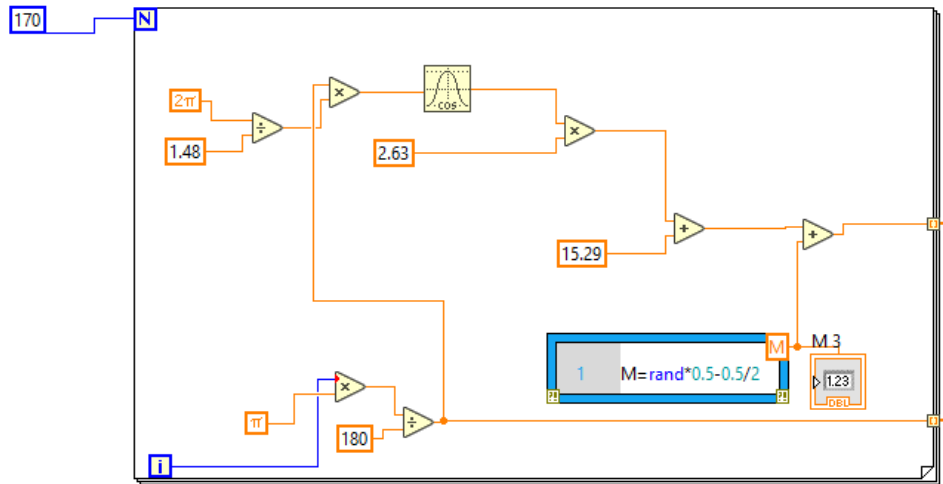


Figura N 38: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V2 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°44 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

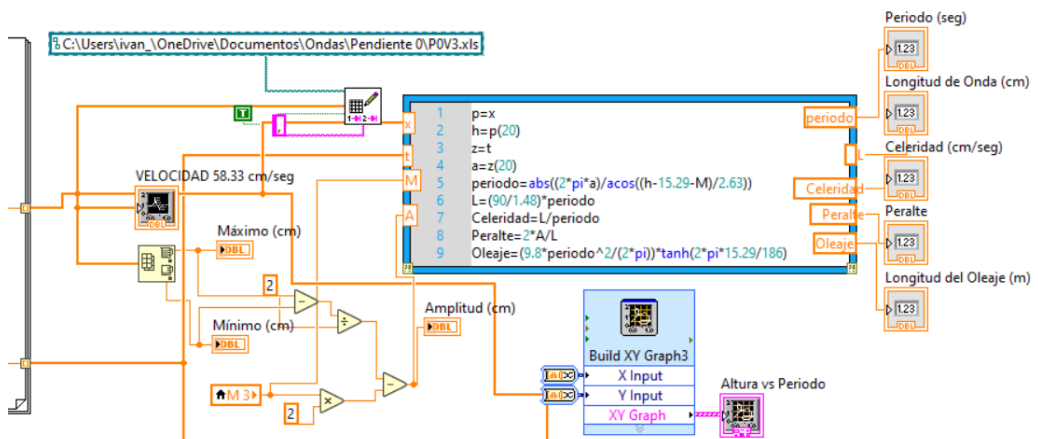


Figura N 39: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V2 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

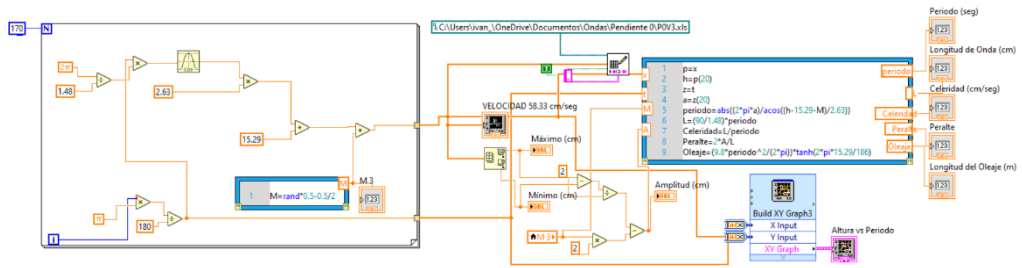


Figura N 40: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0° y V2

Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V2

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

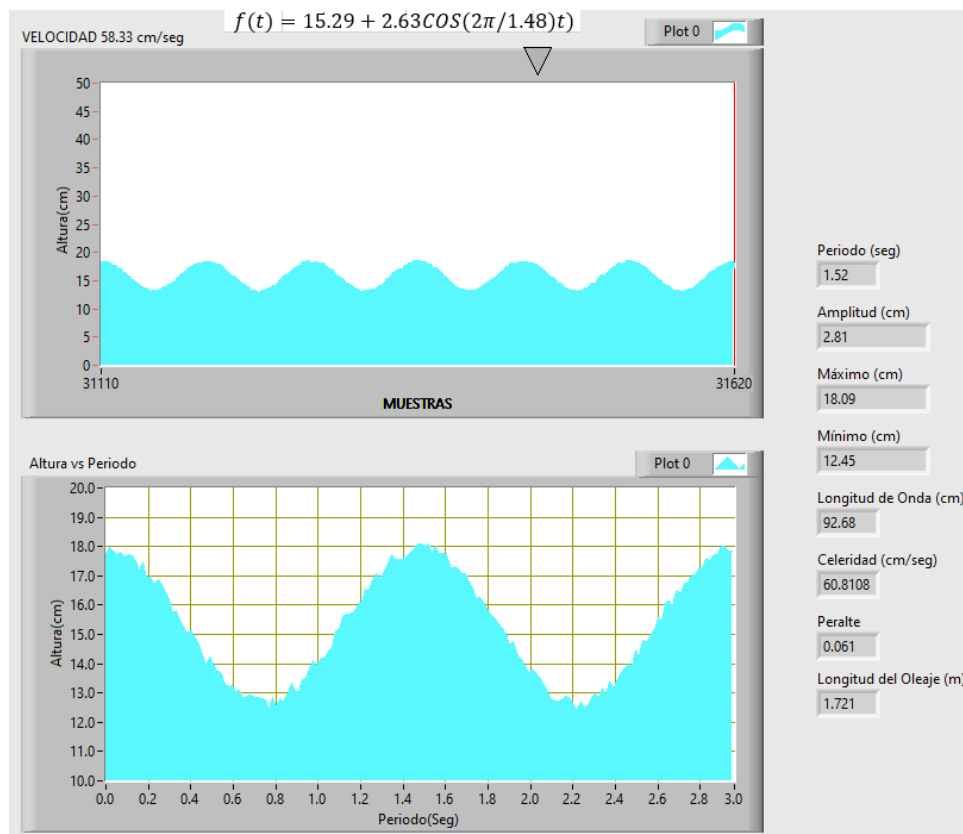


Figura N 41: Panel frontal en pendiente 0 y velocidad V2

Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V3

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (10).

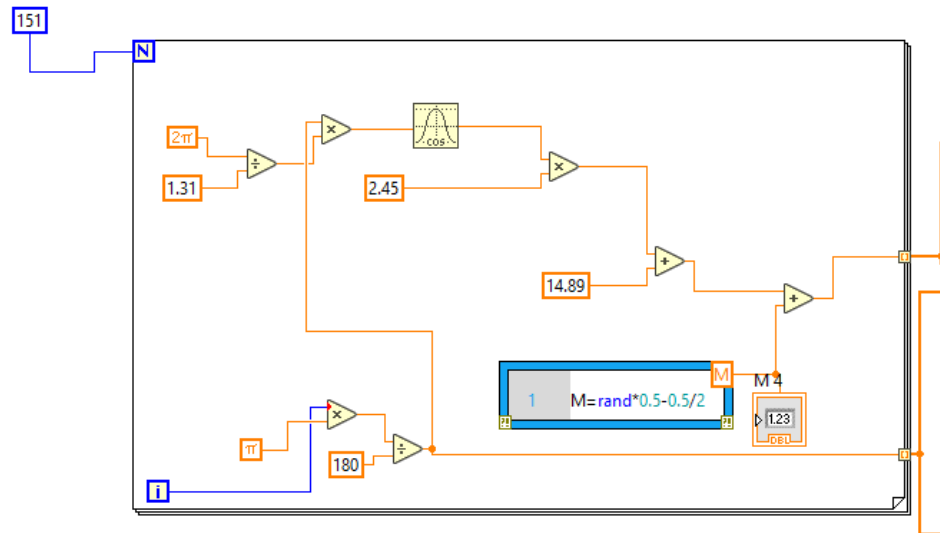


Figura N 42: Diagrama de bloque del LabVIEW con pendiente 0° y V3 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°48 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

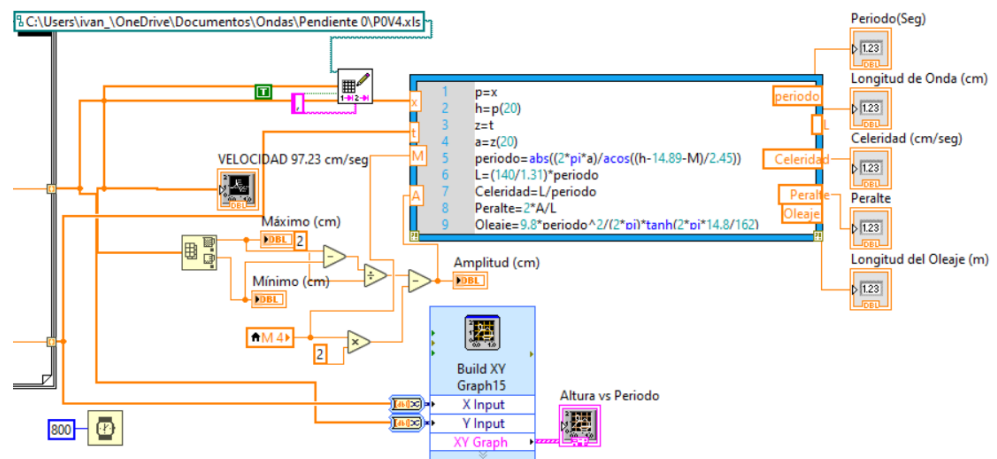


Figura N 43: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y velocidad V3 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura

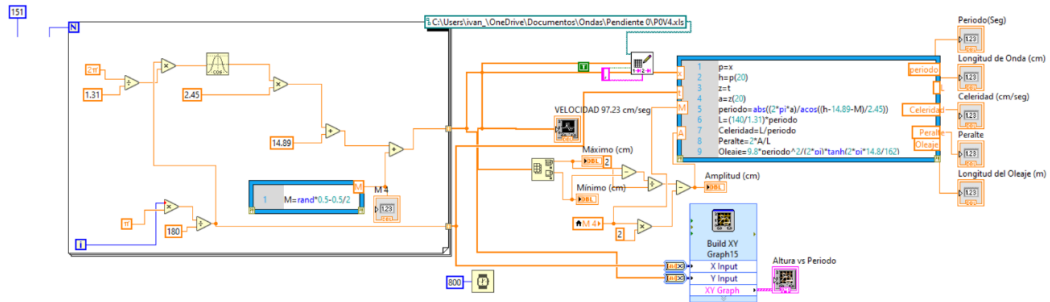


Figura N 44: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0° y V3
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V3

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

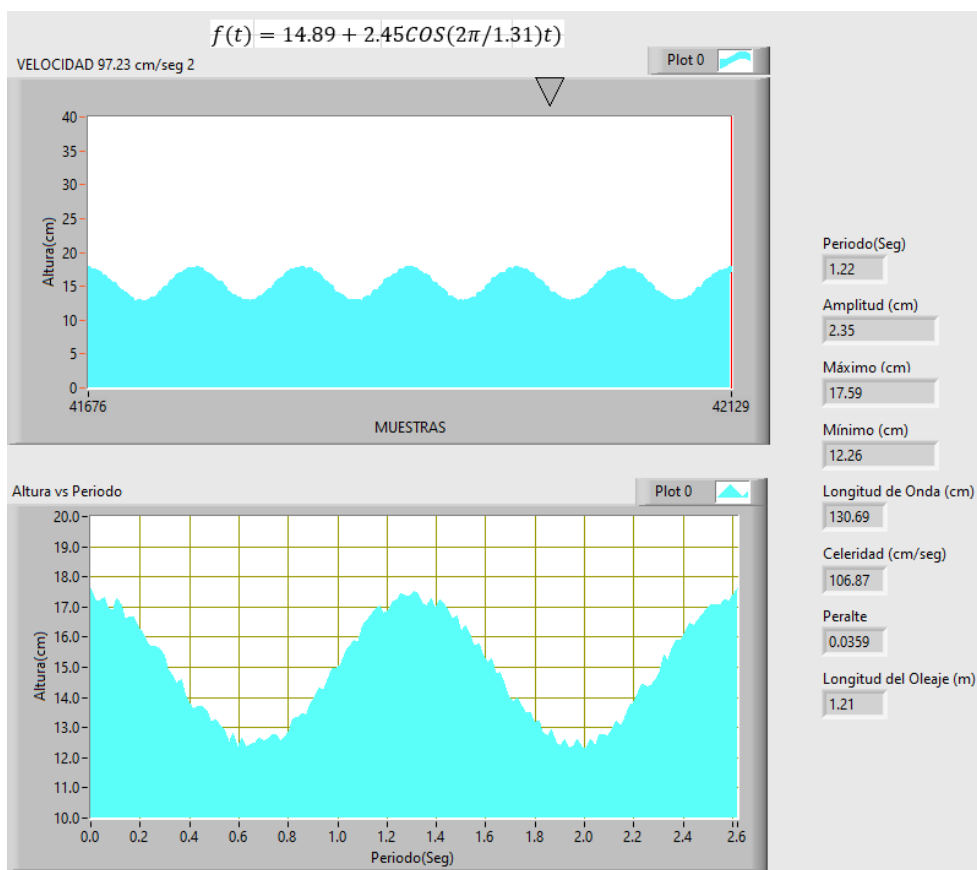


Figura N 45: Panel frontal en pendiente 0 y velocidad V3

Fuente: elaboración propia

3.4.2. Simulación de olas en la pendiente 0.25°

A continuación, se expondrá la programación en el diagrama de bloques cuando la pendiente de 0° del canal para cuatro velocidades (V_0 , V_1 , V_2 y V_3) del generador de ondas y el panel frontal de la simulación respectivamente.

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V_0

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (11).

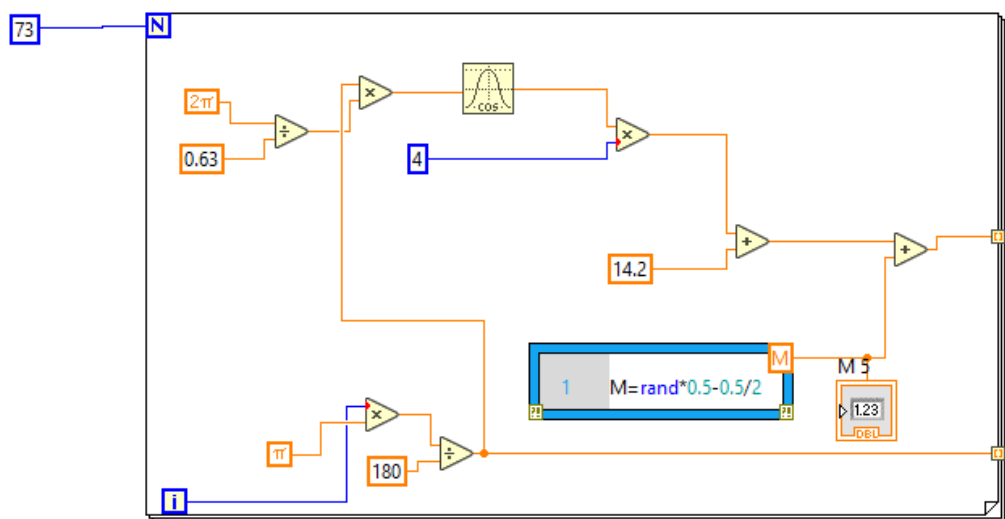


Figura N 46: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0° y V_1 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°52 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

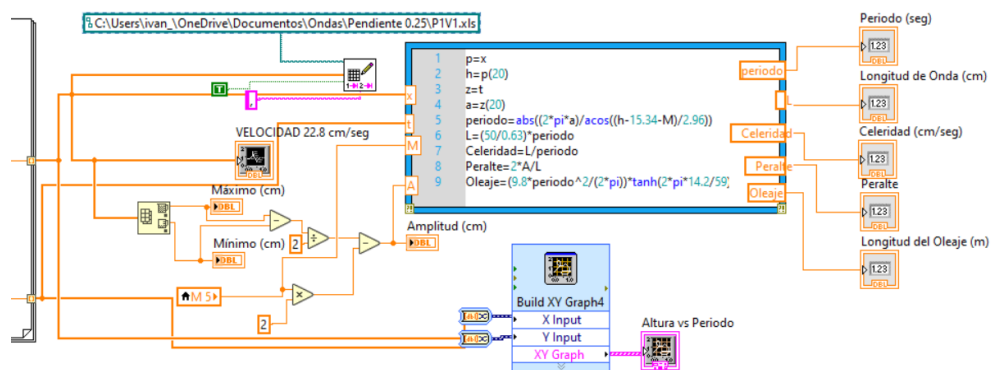


Figura N 47: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V_0 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

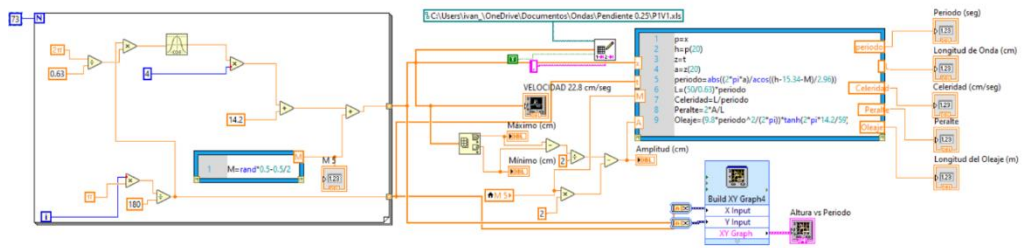


Figura N 48: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.25° y V0
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V0

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

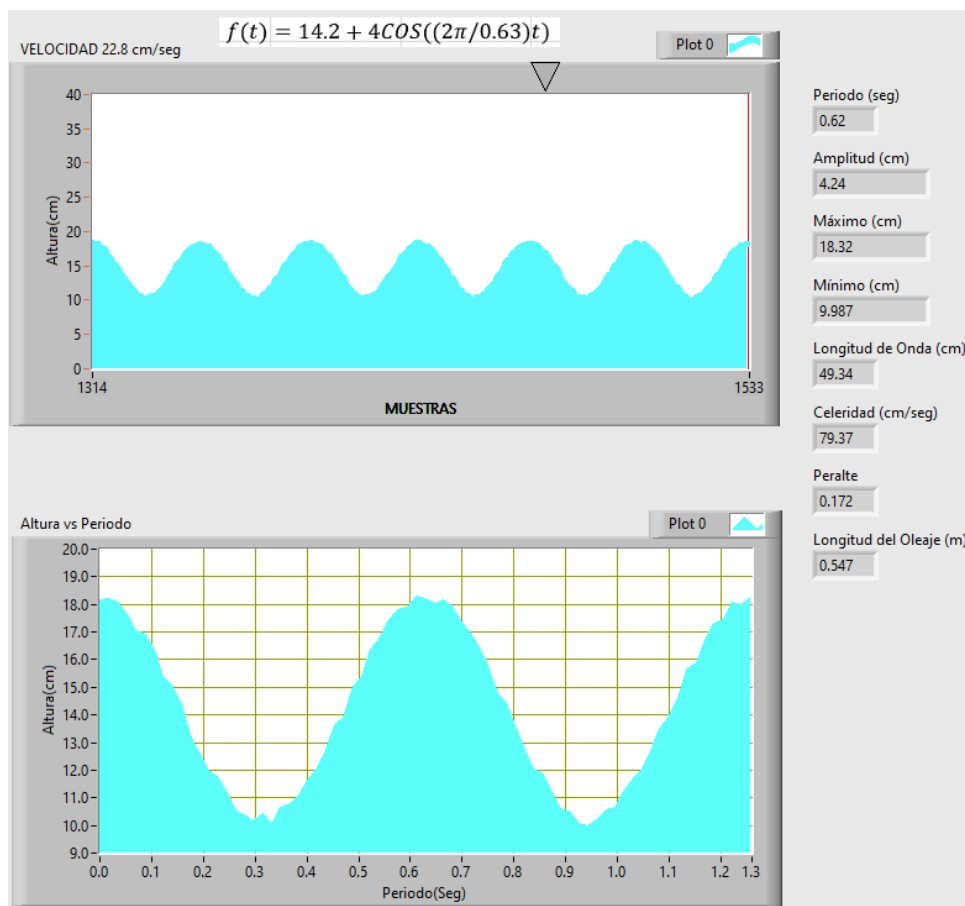


Figura N 49: Panel frontal en pendiente 0.25 y velocidad V0
Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V1

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (12).

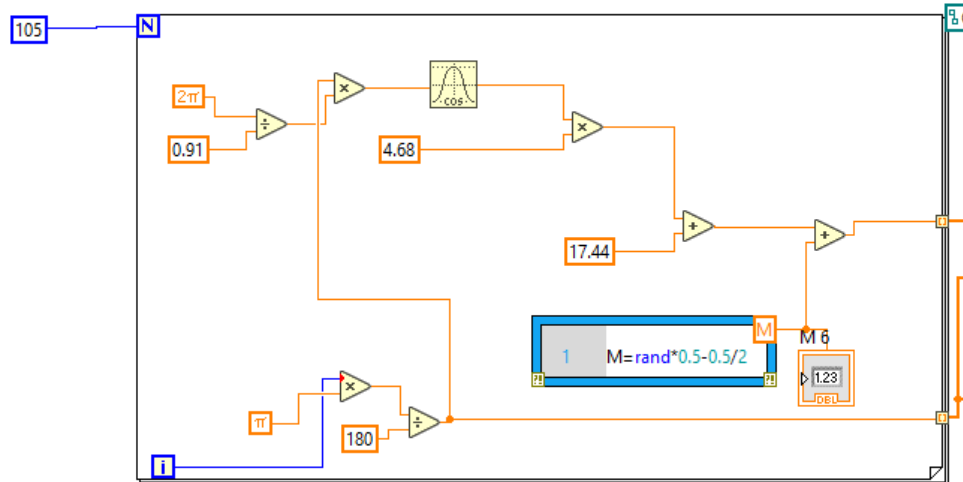


Figura N 50: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V1 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°56 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

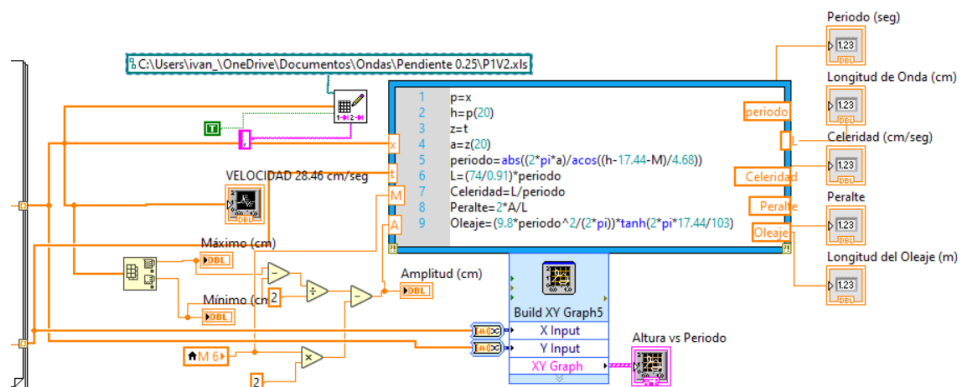


Figura N 51: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V1 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

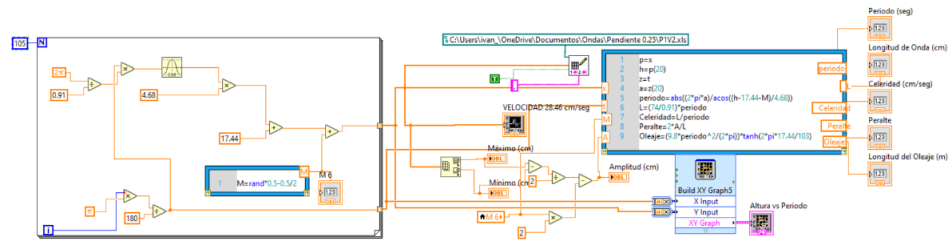


Figura N 52: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.25° y V1
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V1

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

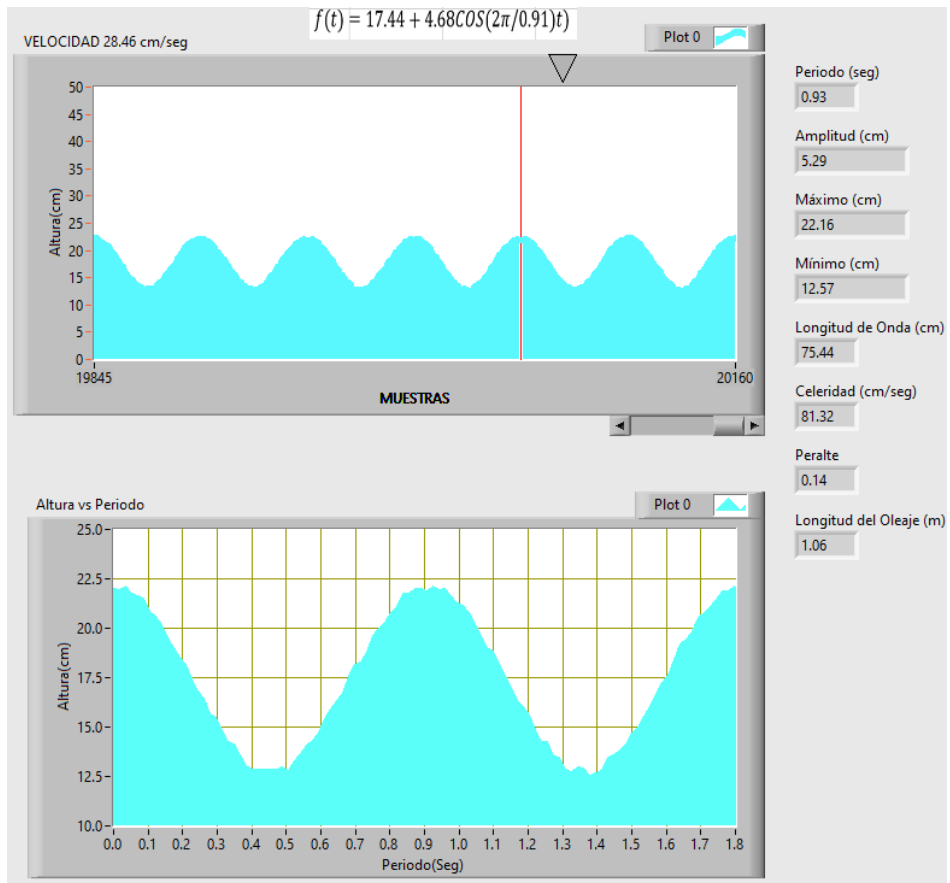


Figura N 53: Panel frontal en pendiente 0.25 y velocidad V1

Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V2

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (13).

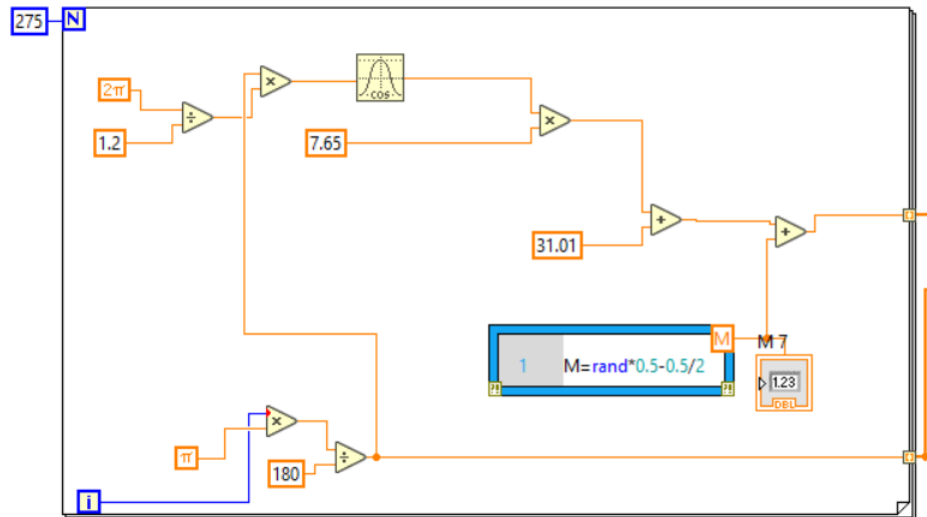


Figura N 54: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V2 partes A, B y C Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°60 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

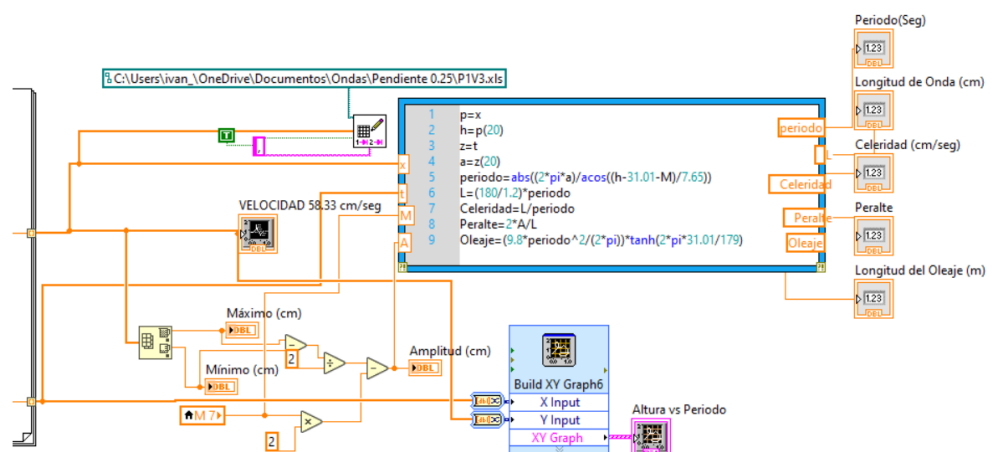


Figura N 55: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V2 parte D Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

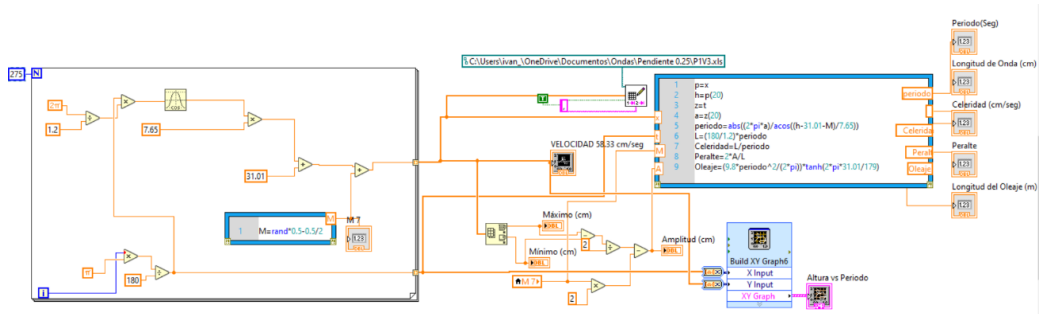


Figura N 56: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.25° y V2
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V2

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

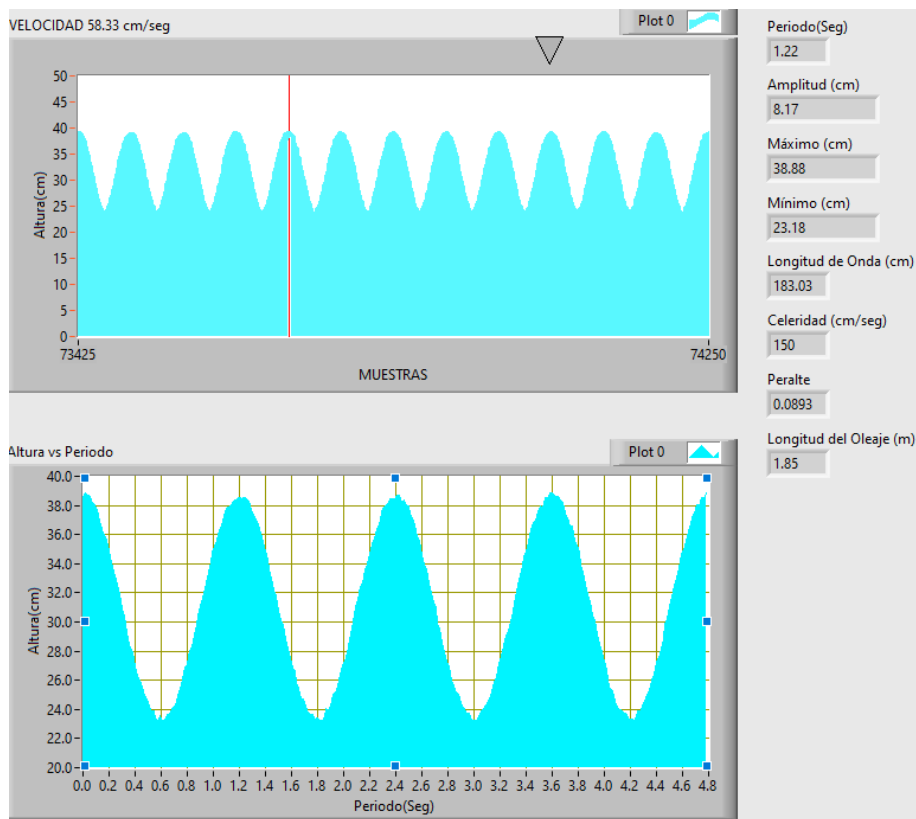


Figura N 57: Panel frontal en pendiente 0.25 y velocidad V2
Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V3

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (14).

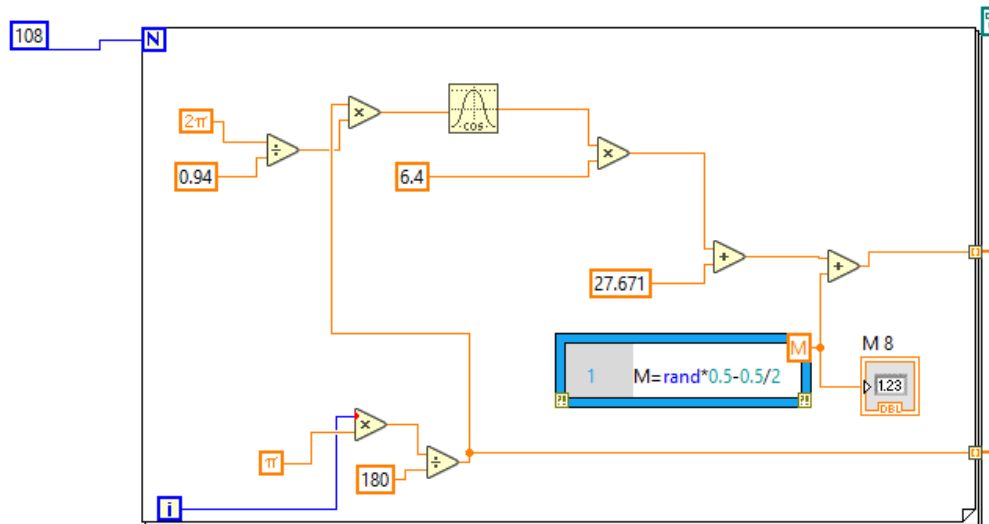


Figura N 58: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V3 partes A, B y C Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°64 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

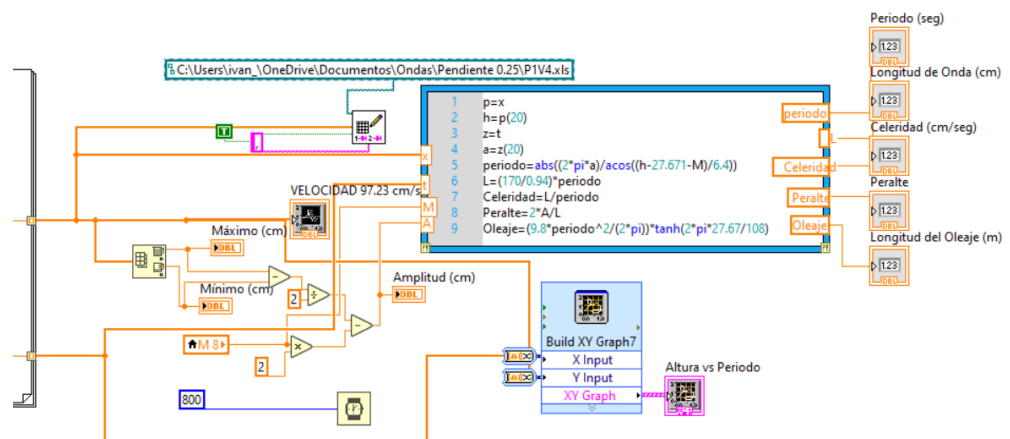


Figura N 59: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.25° y V3 parte D Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

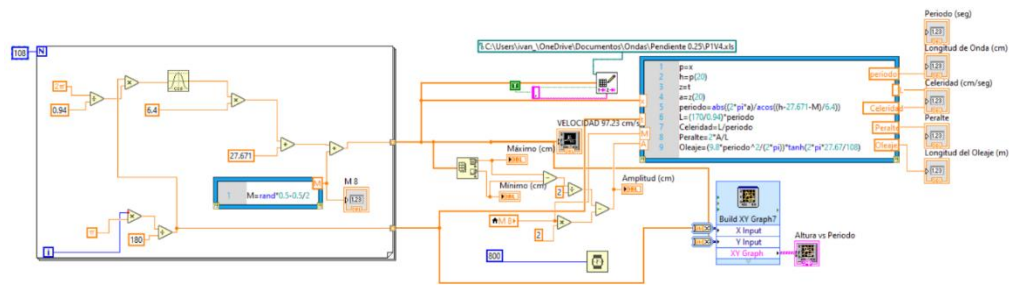


Figura N 60: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.25° y V3
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V3

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado derecho se visualiza las características de la ola.

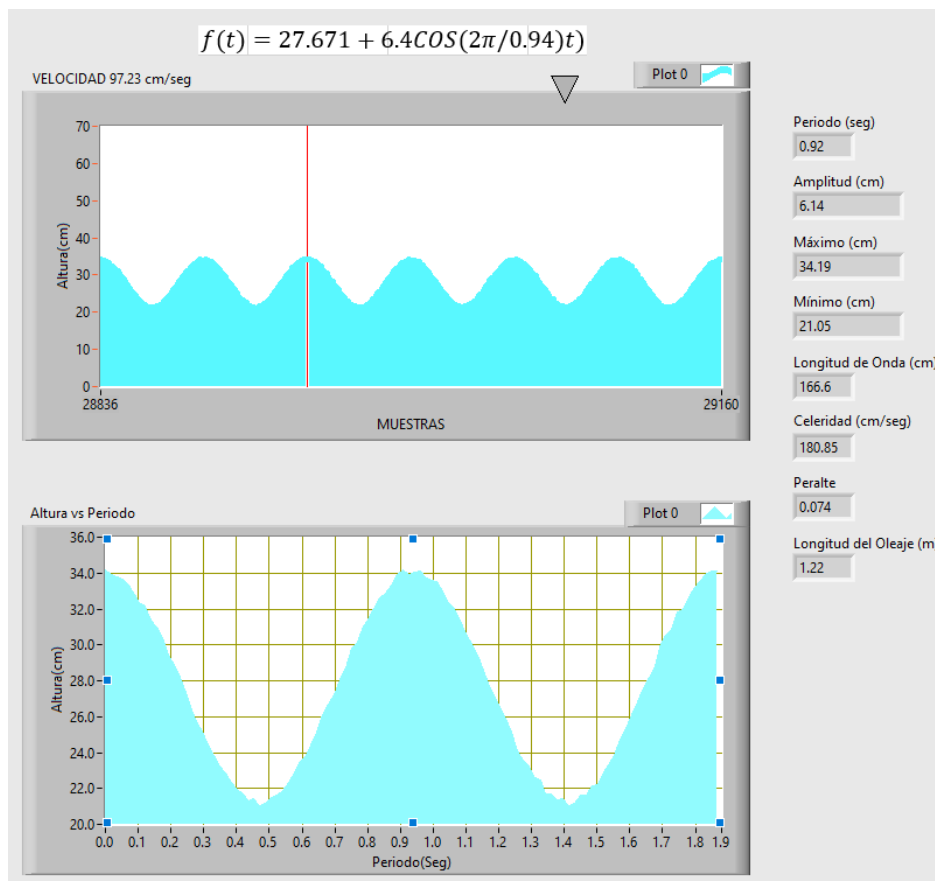


Figura N 61: Panel frontal en pendiente 0.25 y velocidad V3
Fuente: elaboración propia

3.4.3. Simulación de olas en la pendiente 0.5°

A continuación, se expondrá la programación en el diagrama de bloques cuando la pendiente de 0° del canal para cuatro velocidades (V_0 , V_1 , V_2 y V_3) del generador de ondas y el panel frontal de la simulación respectivamente.

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V_0

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (15).

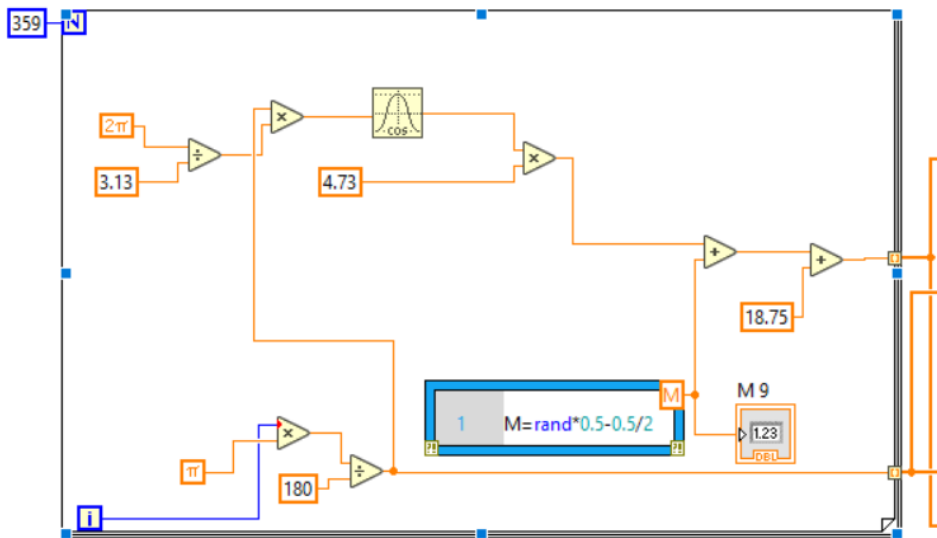


Figura N 62: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V_0 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°68 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

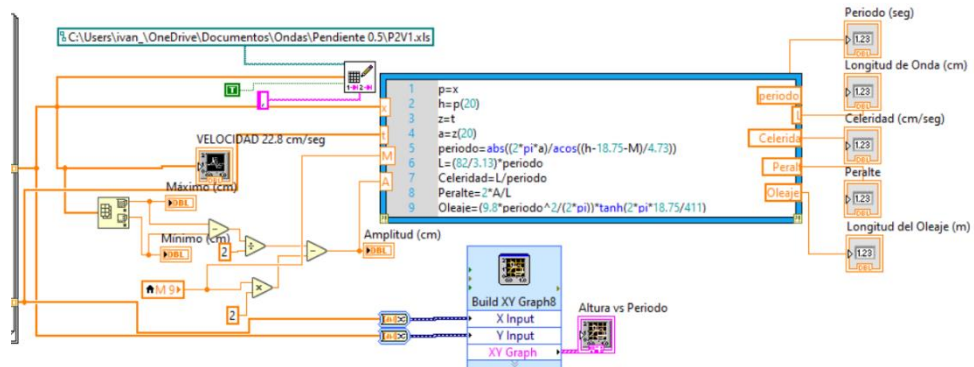


Figura N 63: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V_0 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

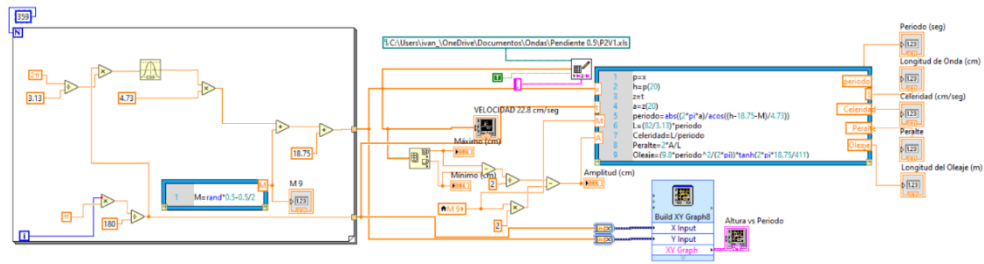


Figura N 64: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V0
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V0

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

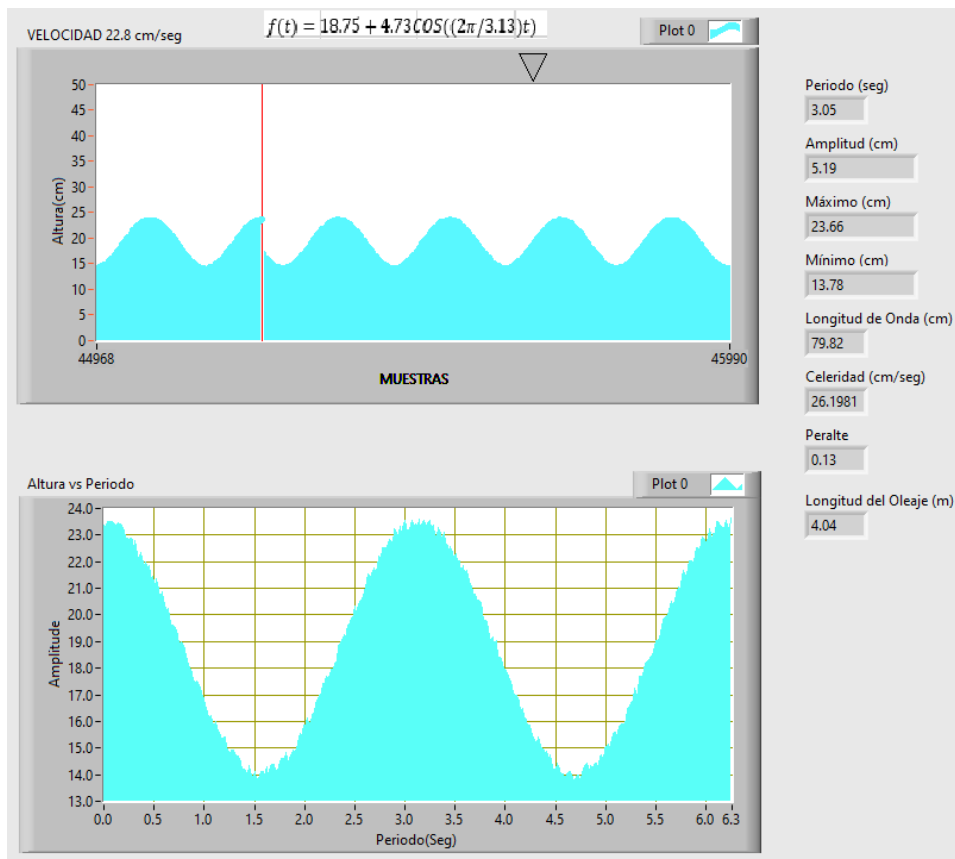


Figura N 65: Panel frontal en pendiente 0.5 y velocidad V0
Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V1

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (16).

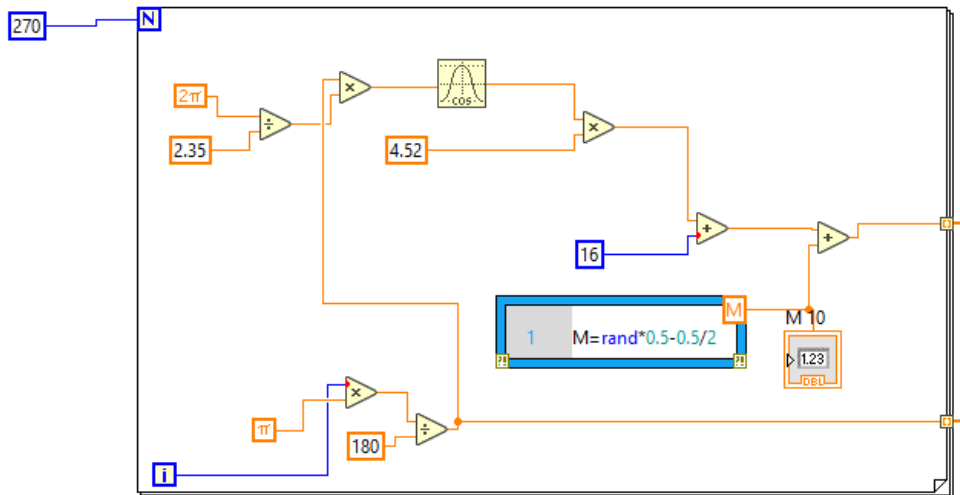


Figura N 66: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V1 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°72 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal

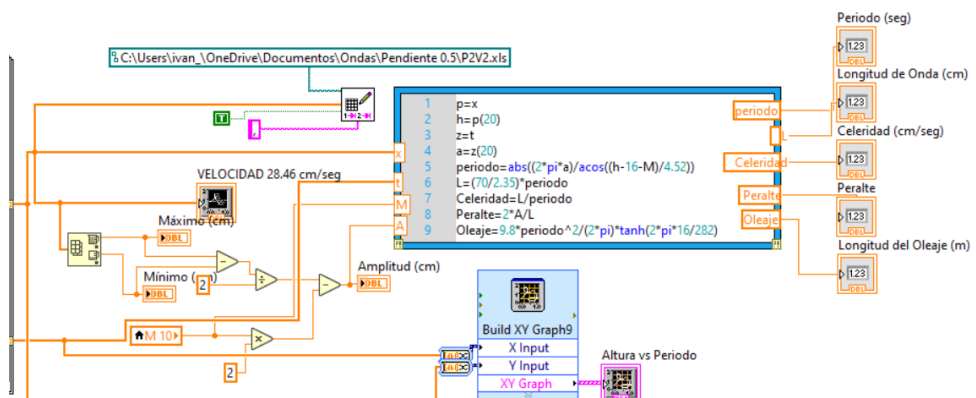


Figura N 67: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V1 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

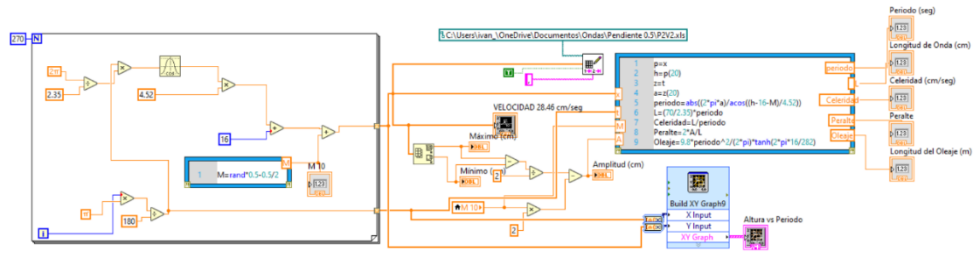


Figura N 68: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V1
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V1

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

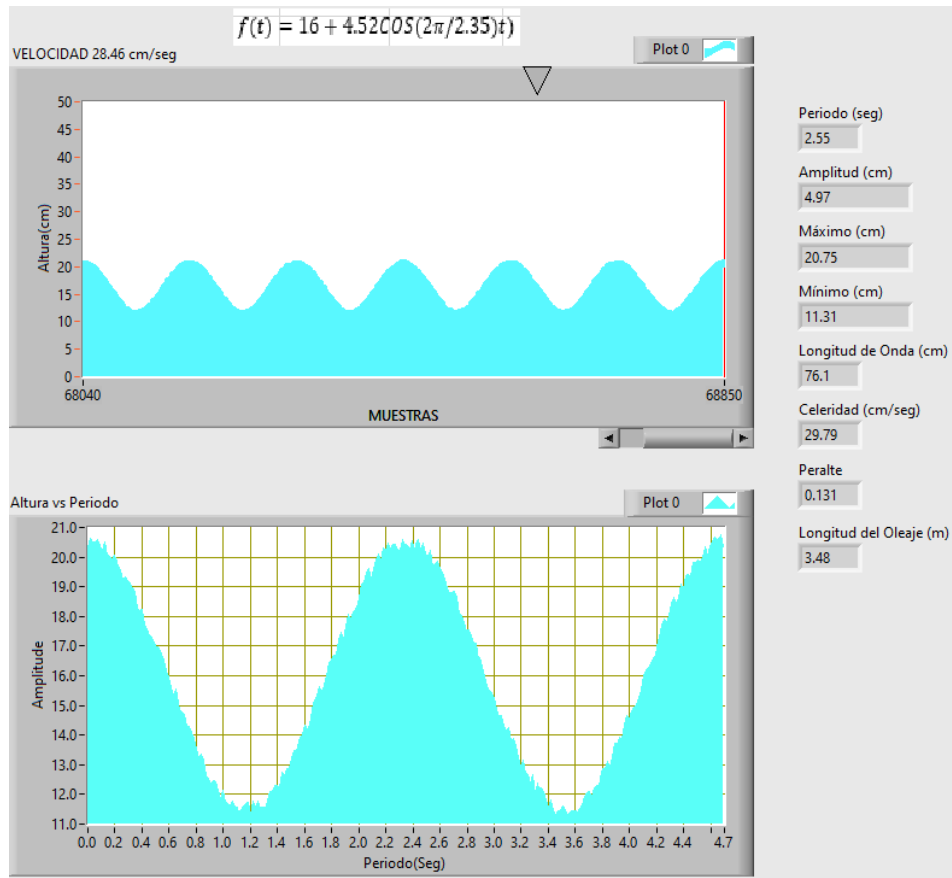


Figura N 69: Panel frontal en pendiente 0.5 y velocidad V1
Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V2

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (17).

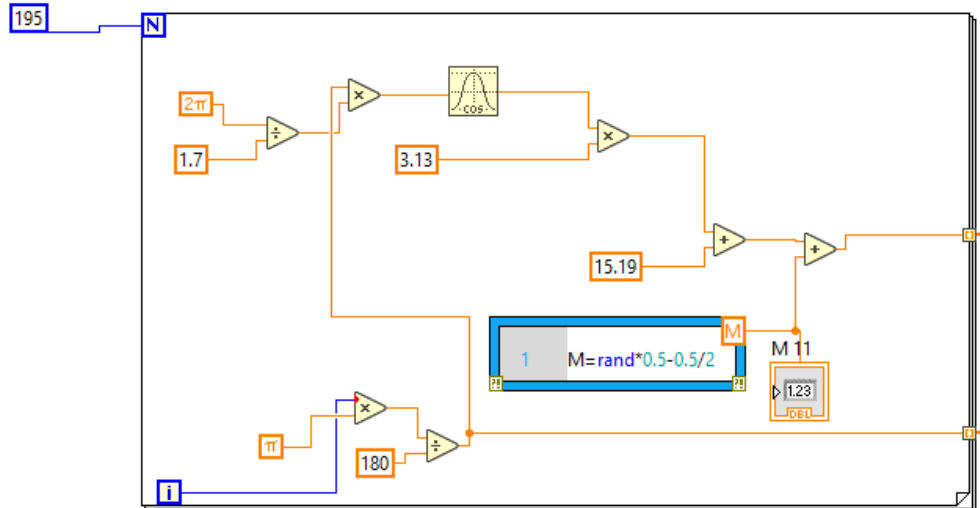


Figura N 70: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V2 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°76 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

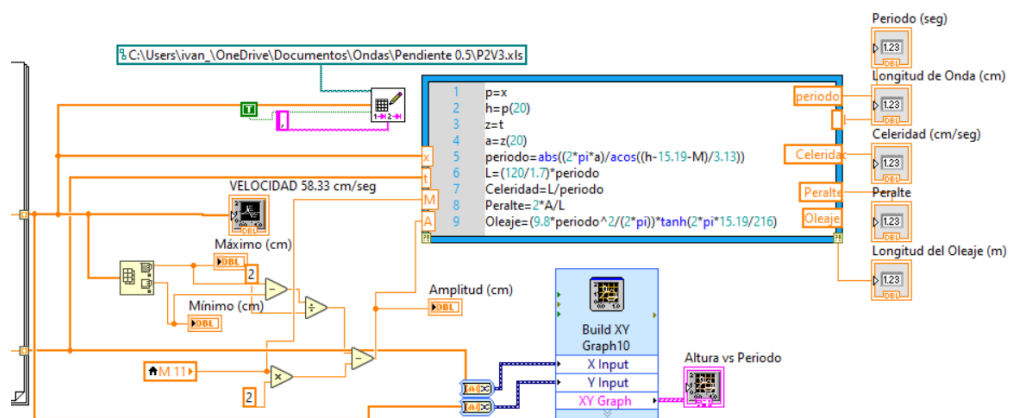


Figura N 71: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V2 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

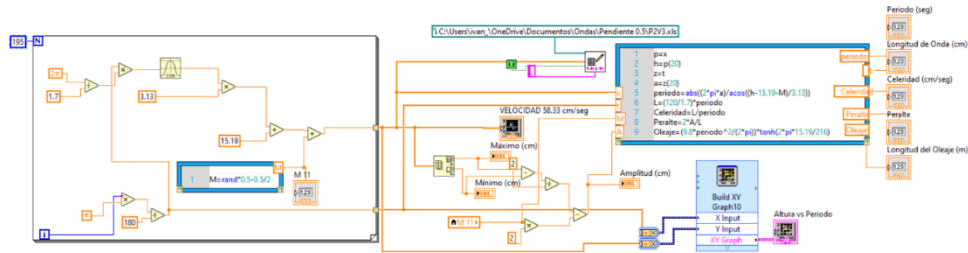


Figura N 72: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V2
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V2

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado derecho se visualiza las características de la ola.

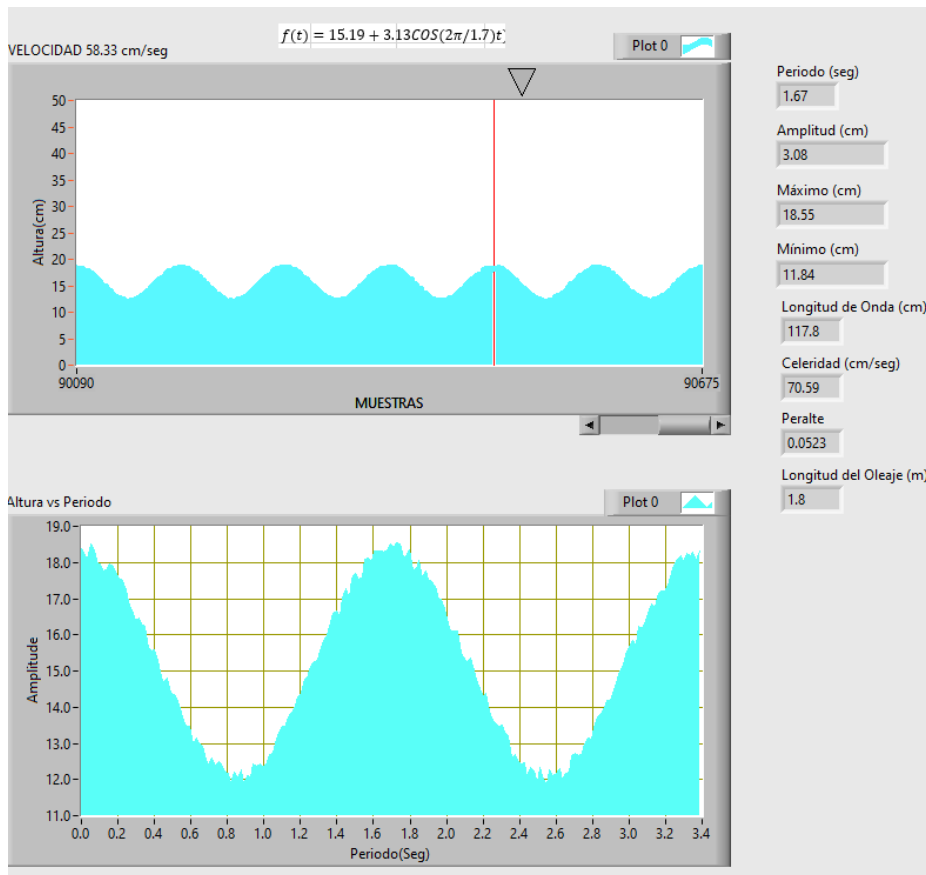


Figura N 73: Panel frontal en pendiente 0.5 y velocidad V2
Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V3

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (18).

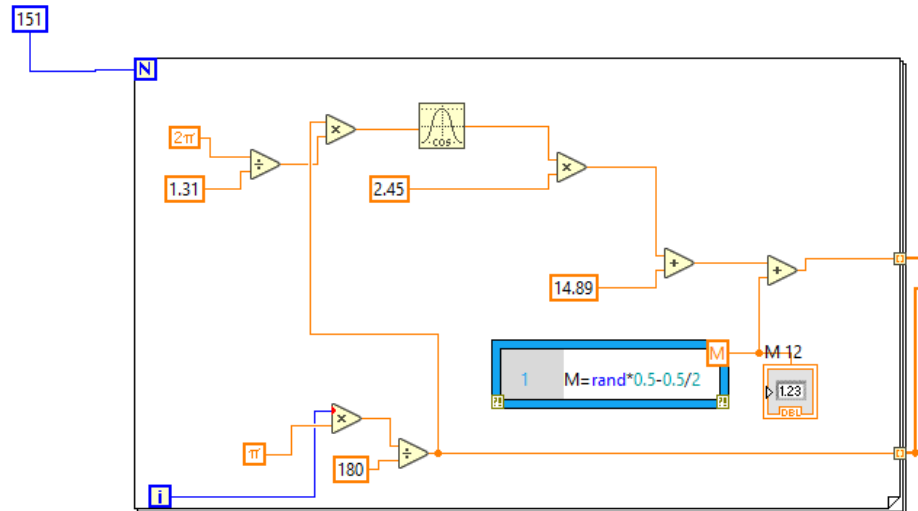


Figura N 74: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V3 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°80 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

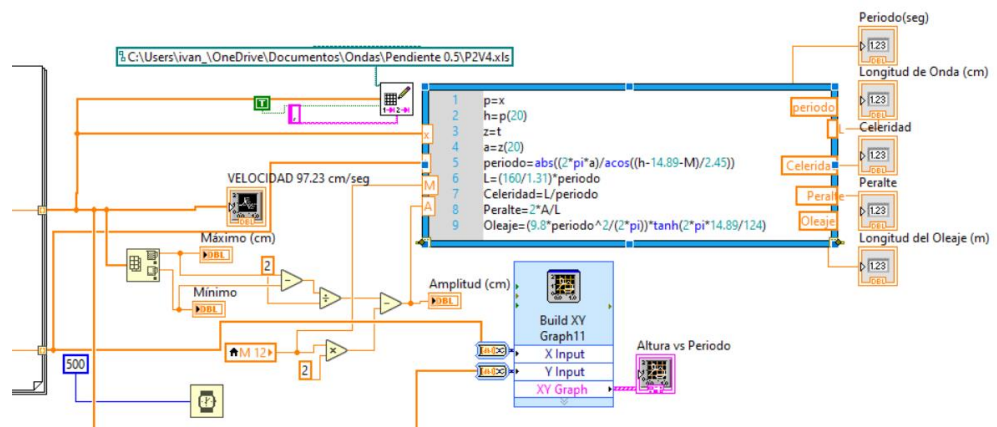


Figura N 75: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 0.5° y V3 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

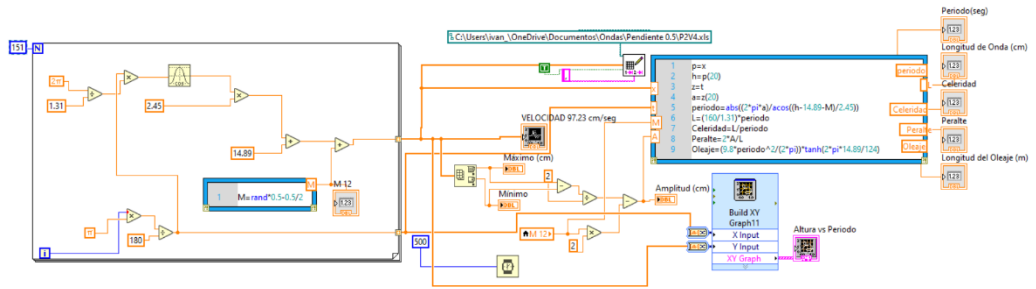


Figura N 76: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 0.5° y V3
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V3

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

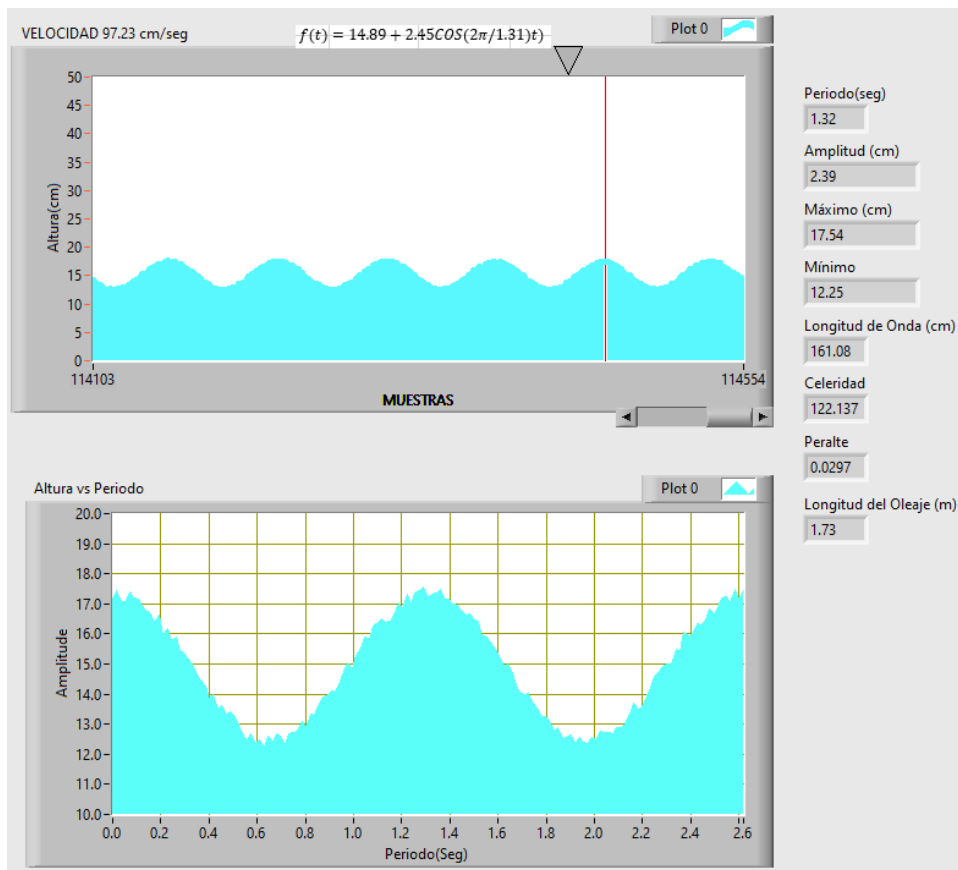


Figura N 77: Panel frontal en pendiente 0.5 y velocidad V3
Fuente: elaboración propia

3.4.4. Simulación de olas en la pendiente 1°

A continuación, se expondrá la programación en el diagrama de bloques cuando la pendiente de 0° del canal para cuatro velocidades (V_0 , V_1 Y V_2) del generador de ondas y el panel frontal de la simulación respectivamente. Debido a que con el generador a una velocidad de V_3 no permitía la formación de las olas.

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V_0

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (19).

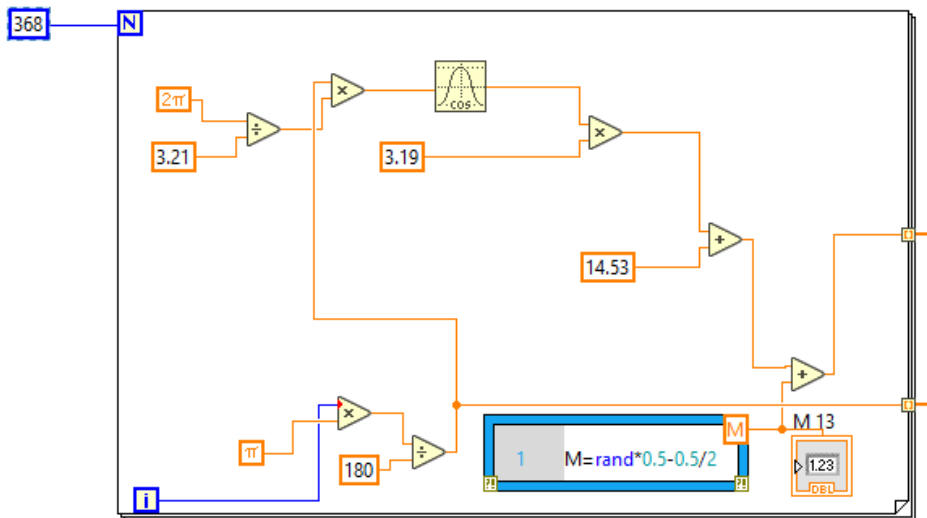


Figura N 78: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V_0 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°84 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

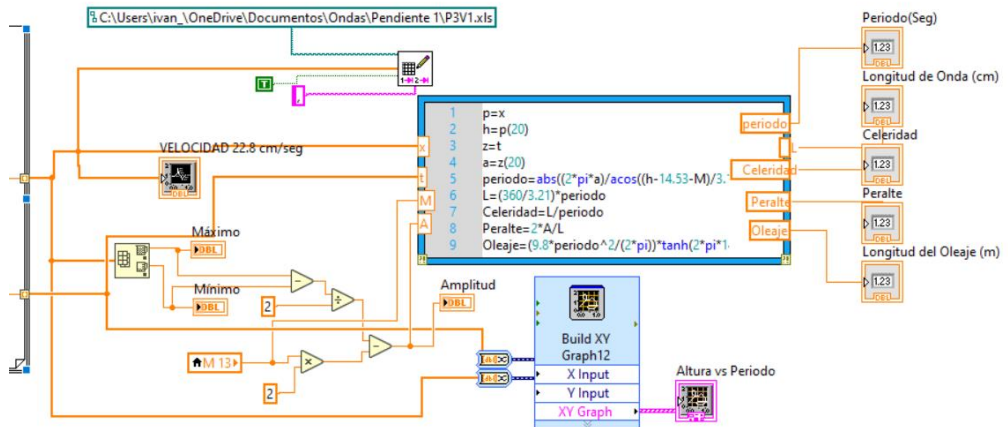


Figura N 79: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V_0 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

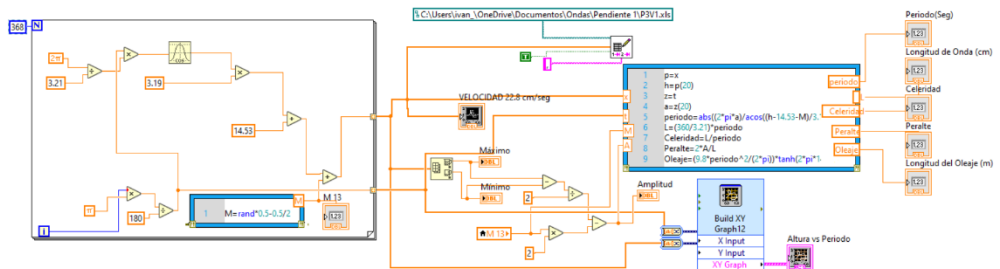


Figura N 80: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 1° y V0
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V0

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

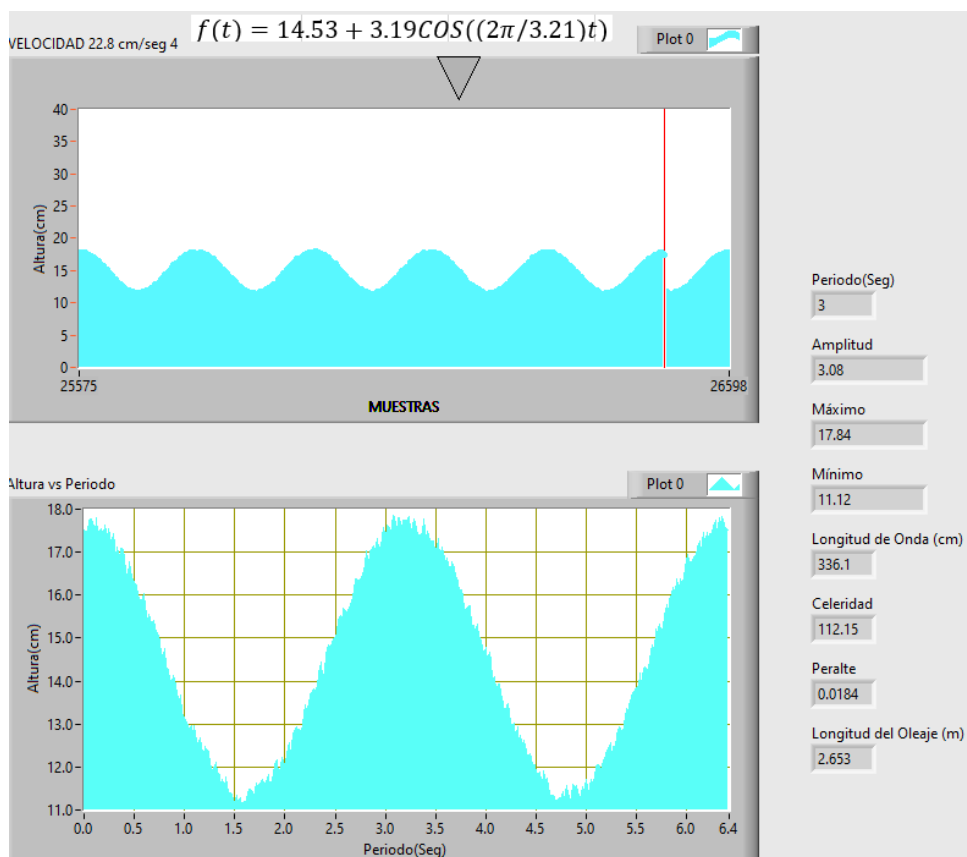


Figura N 81: Panel frontal en pendiente 1° y velocidad V0

Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V1

La siguiente figura se conforma como el primer caso en las partes A, B y C para simular la ecuación (20).

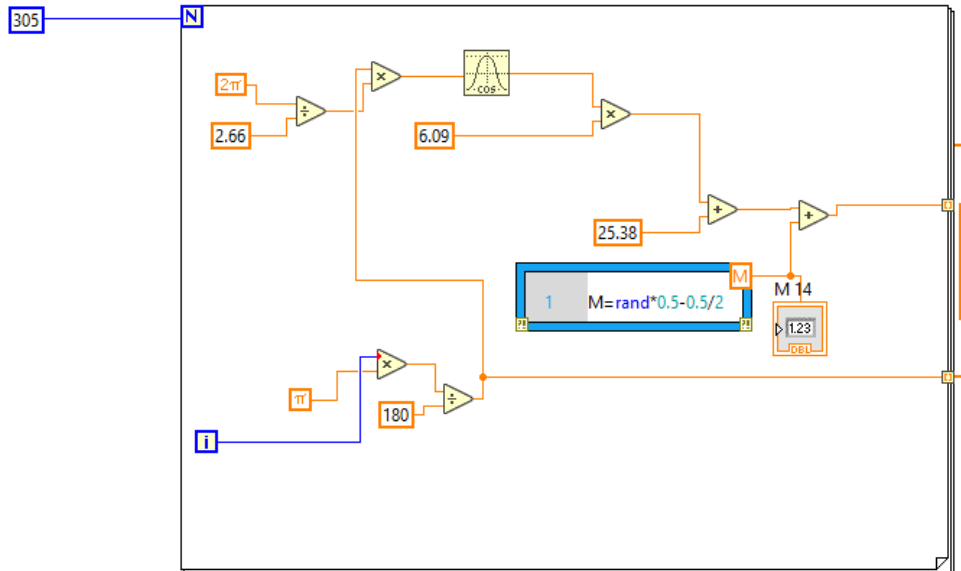


Figura N 82: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V1 partes A, B y C
Fuente: elaboración propia

En seguida en la figura N°88 se muestra como el primer caso en la parte D, la cual nos permite hacer los cálculos necesarios de las características de la ola y visualizarlos en el panel frontal.

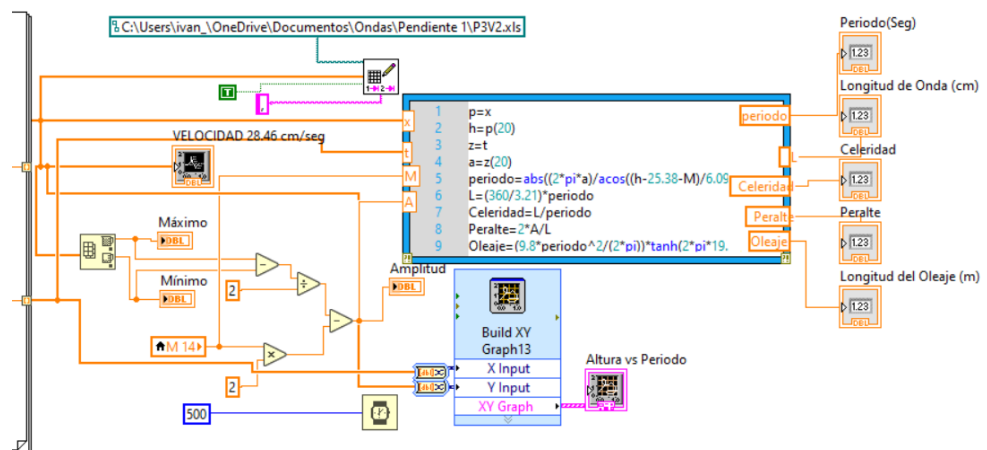


Figura N 83: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V1 parte D
Fuente: elaboración propia

A continuación, se aprecia una imagen completa de la programación en el diagrama de bloques en la siguiente figura.

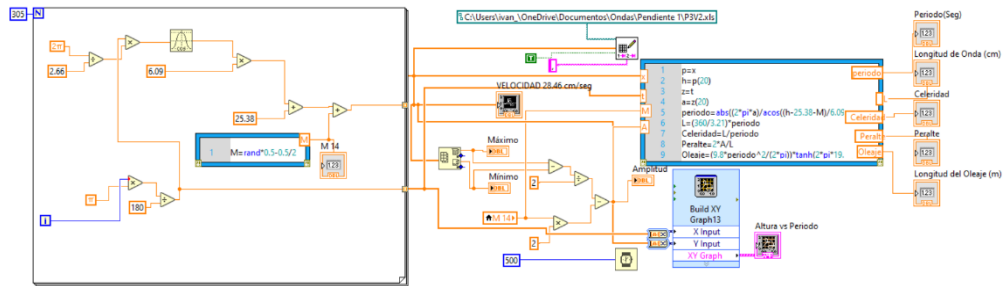


Figura N 84: Diagrama de bloque completo del LabVIEW con pendiente 1° y V1
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V1

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada y en el lado izquierdo se visualiza las características de la ola.

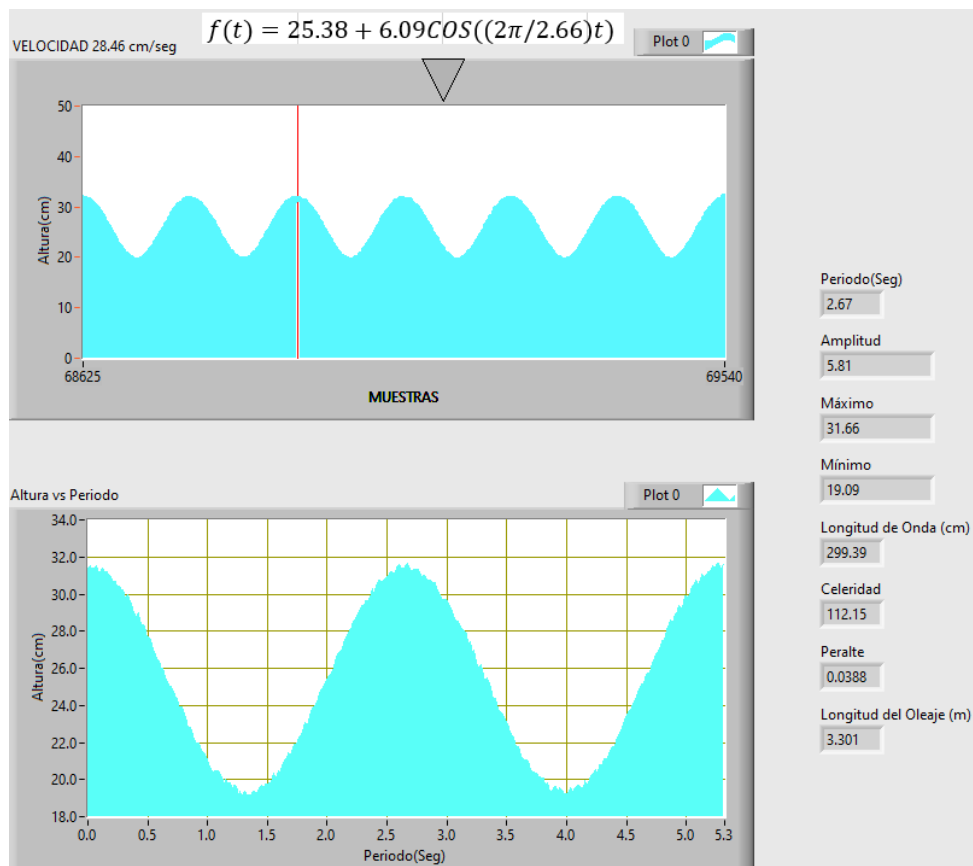


Figura N 85: Panel frontal en pendiente 1° y velocidad V1
Fuente: elaboración propia

- Programación en el diagrama bloques con la velocidad V2

Para este caso especial se realizo el modalamiento de la funcion con un exponencial ya que esta onda presenta un amortiguamiento. En la siguiente imagen se pued observa se empleo un Mathscript.

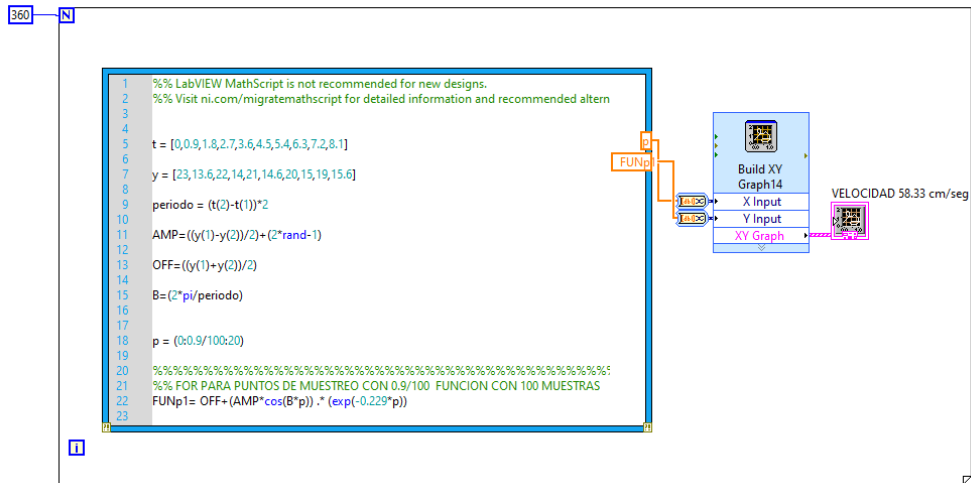


Figura N 86: Diagrama de bloque del Labview con pendiente 1° y V2
Fuente: elaboración propia

- Panel frontal de la simulación con la velocidad V2

Como se observa en la siguiente figura se muestra la función modelada.

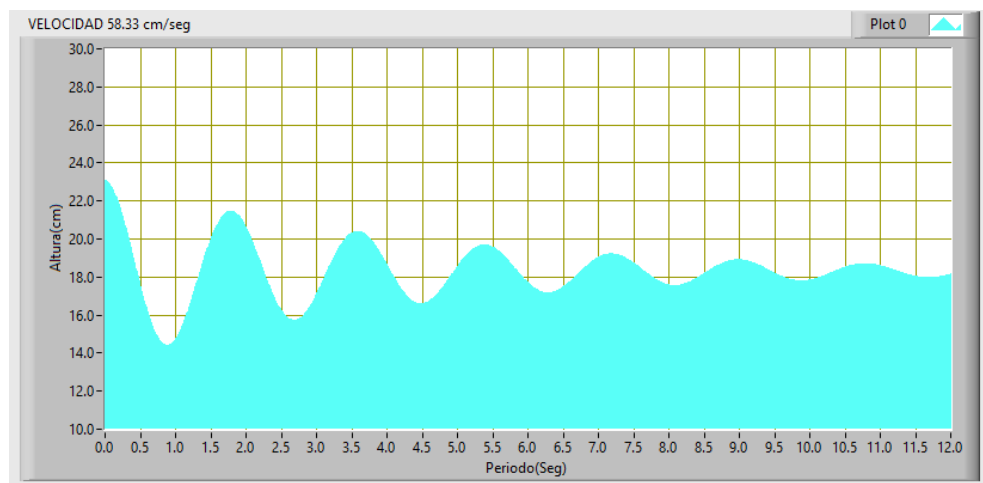


Figura N 87: Panel frontal en pendiente 1° y velocidad V2
Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

El propósito de este capítulo es comparar los valores de las características de una ola medidos y obtenidos del modelamiento matemáticos con los valores simulados. Asimismo, se elaboró la propuesta teórica de un prototipo de un sistema automatizado para la medición y visualización de las características principales de una ola en el canal de pendiente variable recomendando los modelos de los dispositivos PLC, HMI y el sensor ultrasónico; igualmente se presenta un plano descriptivo del canal de pendiente variable con la ubicación de los dispositivos.

4.1. Resumen comparativo de las características de la ola

4.1.1. Características de la ola en pendiente 0°

Desde las ecuaciones modeladas para cada velocidad en esta pendiente (ecuaciones 7, 8, 9 y 10) se identificó los valores del periodo y amplitud. Dichos valores se encuentran en la tabla N°22 en la columna de Periodo modelado y amplitud modelado respectivamente; mientras que en el caso de la longitud se consideró la medición de una ola por cada velocidad como longitud medida.

En la siguiente tabla se observa los valores de periodo modelado, amplitud modelada y longitud medida con sus valores simulados.

Tabla N°22
Comparativo de periodo, amplitud y longitud en la pendiente 0°

	PERIODO (seg)		AMPLITUD (cm)		LONGITUD (cm)	
	Modelado	simulado	Modelado	simulado	Medida	Simulado
V0	2.68	2.91	3.86	4.06	65	69.84
V1	2.18	2.29	2.96	3.15	62	64.75
V2	1.48	1.51	2.63	2.83	90	91.49
V3	1.31	1.31	2.45	2.63	140	143.30

Fuente: elaboración propia

Se calculo el peralte con la ecuación 1 y la celeridad con la ecuación 2 haciendo uso de los valores del periodo modelado, amplitud modelada y longitud mostradas en la tabla anterior.

En la tabla N°23 se compara los valores obtenidos de al reemplazar en las ecuaciones respectivas con el valor de la simulación.

Tabla N°23
Comparativo de peralte y celeridad en la pendiente 0°

	PERALTE		CELERIDAD	
	Teórico	Simulado	Teórico	Simulado
V0	0.12	0.12	24.25	24.25
V1	0.10	0.10	28.44	28.44
V2	0.06	0.06	60.81	60.81
V3	0.04	0.04	106.87	106.87

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, se hayo la longitud del olaje empleando la ecuación (3) al reemplazar el periodo y un valor de longitud propuesta para que cumpla la ecuación. Este valor de longitud propuesta se encuentra en la siguiente tabla en la columna de longitud de olaje teórico.

Tabla N°24
Comparativo de longitud de oleaje en pendiente 0°

	LONGITUD DE OLAJE (m)		
	Medido	Teórico	Simulado
V0	0.65	3.50	3.09
V1	0.62	2.82	2.23
V2	0.9	1.86	1.79
V3	1.4	1.62	1.39

Fuente: elaboración propia

Estos valores se alejan a mayor medida ya que la ecuación del olaje no cumple con las olas generadas en el canal de pendiente variable del Laboratorio de hidráulica; sin embargo, contribuye al ejercicio analítico que el alumno que cursa las materias del área de hidráulica.

4.1.2. Características de la ola en pendiente 0.25°

De las ecuaciones modeladas para cada velocidad en esta pendiente (ecuaciones 11, 12, 13 y 14) se utilizó los valores del periodo y amplitud en la tabla N°25; así como la longitud medida. En la siguiente tabla se observa los valores de periodo modelado, amplitud modelada y longitud medida con sus valores simulados.

Tabla N°25

Comparativo de periodo, amplitud y longitud en la pendiente 0.25°

	PERIODO (seg)		AMPLITUD (cm)		LONGITUD (cm)	
	Modelado	simulado	Modelado	simulado	Modelado	Simulado
V0	0.63	0.63	3.88	4.10	50	49.27
V1	0.91	0.90	4.68	4.83	74	73.80
V2	1.2	1.21	7.65	7.73	180	75.04
V3	0.94	0.95	6.4	6.44	170	169.50

Fuente: elaboración propia

En la siguiente tabla N°26 se compara los valores calculados al reemplazar los valores del periodo modelado, amplitud modelado y longitud de onda en las ecuaciones 1 y 2 con el valor de la simulación.

Tabla N°26

Comparativo de peralte y celeridad en la pendiente 0.25°

	PERALTE		CELERIDAD	
	Teórico	Simulado	Teórico	Simulado
V0	0.16	0.17	79.37	79.37
V1	0.13	0.13	81.32	81.32
V2	0.09	0.09	150.00	150
V3	0.08	0.42	180.85	180.85

Fuente: elaboración propia

Se calculo la longitud del olaje empleando la ecuación (3) al usar el valor del periodo y un valor de longitud propuesta para que cumpla la ecuación. A continuación, este valor de longitud propuesta se encuentra en la tabla N° 27 en la columna de longitud de olaje teórico junto con la longitud medida y la simulada.

Tabla N°27
Comparativo de longitud de oleaje en pendiente 0.25°

	LONGITUD DE OLEAJE (m)		
	Medido	Teórico	Simulado
V0	0.5	0.59	0.541
V1	0.74	1.03	1.035
V2	1.8	1.79	1.775
V3	1.7	1.08	1.2565

Fuente: elaboración propia

4.1.3. Características de la ola en pendiente 0.5°

De las ecuaciones modeladas para cada velocidad en esta pendiente (ecuaciones 15, 16, 17 y 18) se utilizó los valores del periodo y amplitud en la tabla N°28; así como la longitud medida. En la siguiente tabla se observa los valores de periodo modelado, amplitud modelada y longitud medida con sus valores simulados

Tabla N°28
Comparativo de periodo, amplitud y longitud en la pendiente 0.5°

	PERIODO (seg)		AMPLITUD (cm)		LONGITUD (cm)	
	Modelado	simulado	Modelado	simulado	Modelado	Simulado
V0	3.13	3.25	4.73	4.92	82	85.85
V1	2.18	2.31	4.52	4.69	70	67.73
V2	1.7	1.71	3.13	3.30	120	122.90
V3	1.05	1.30	2.45	2.70	160	159.96

Fuente: elaboración propia

En la siguiente tabla N°29 se compara los valores calculados al reemplazar los valores del periodo modelado, amplitud modelado y longitud de onda en las ecuaciones 1 y 2 con el valor de la simulación.

Tabla N°29
Comparativo de peralte y celeridad en la pendiente 0.5°

	PERALTE		CELERIDAD	
	Teórico	Simulado	Teórico	Simulado
V0	0.12	0.12	26.20	26.198
V1	0.13	0.14	32.11	29.79
V2	0.05	0.06	70.59	70.59
V3	0.03	0.03	152.38	122.137

Fuente: elaboración propia

Se calculo la longitud del olaje empleando la ecuación (3) al usar el valor del periodo y un valor de longitud propuesta para que cumpla la ecuación. A continuación, este valor de longitud propuesta se encuentra en la tabla N° en la columna de longitud de olaje teórico junto con la longitud medida y la simulada.

Tabla N°30
Comparativo de longitud de oleaje en pendiente 0.5°

	LONGITUD DE OLEAJE (m)		
	Medido	Teórico	Simulado
V0	0.82	4.11	5.2405
V1	0.7	2.82	3
V2	1.2	2.16	2.09
V3	1.6	1.24	1.98

Fuente: elaboración propia

4.1.4. Características de la ola en pendiente 1°

De las ecuaciones modeladas para cada velocidad en esta pendiente (ecuaciones 19 y 20) se utilizó los valores del periodo y amplitud en la tabla N°31; así como la longitud medida. En las siguientes tablas se observan los valores de periodo modelado, amplitud modelada y longitud medida con sus valores simulados; además, del peralte, celeridad y longitud de oleaje.

Tabla N°31

Comparativo de periodo, amplitud y longitud en la pendiente 1°

	PERIODO (seg)		AMPLITUD (cm)		LONGITUD (cm)	
	Medido	simulado	Medido	simulado	Medido	Simulado
V0	3.21	4.14	2.78	3.33	360	494.10
V1	2.66	2.78	5.45	6.20	300	293.25

Fuente: elaboración propia

Tabla N°32

Comparativo de peralte y celeridad en la pendiente 1°

	PERALTE		CELERIDAD	
	Teórico	Simulado	Teórico	Simulado
V0	0.02	0.02	112.15	112.15
V1	0.04	0.04	112.78	112.15

Fuente: elaboración propia

Tabla N°33

Comparativo de longitud de oleaje en pendiente 1°

	LONGITUD DE OLAJE (m)		
	Medido	Teórico	Simulado
V0	3.6	4.74	4.04
V1	3	3.93	3.57

Fuente: elaboración propia

4.2. Propuesta teórica de un prototipo

La propuesta teórica procura mediante un sensor ultrasónico captar las señales de la altura de la ola, periodo y longitud e integrarlo con un controlador lógico programable para su monitoreo. Una vez procesada la información, un HMI permite la visualización de los valores numéricos junto con una gráfica.

Se presenta los modelos de sensores ultrasónicos, variadores de frecuencias, los PLCs y los HMIs, los cuales se analizaron según su funcionalidad, disponibilidad y durabilidad con el fin que cumpla la propuesta teórica.

4.2.1. PLC

De acuerdo a los PLCs que la Universidad Ricardo Palma posee y a manera de reutilizarlos se consideró los siguientes modelos de PLC:

- PLC SIEMENS S7 200

Es un micro-PLC potente que ofrece conectividad y todo tipo de facilidades en el manejo de software y del hardware. Su software de programación STEP 7-Micro/WIN ofrece potentes herramientas que permiten ahorra mucho tiempo. Su CPU es la encargada de ejecutar el programa de usuario y de ordenar la transferencia de información tanto de las entradas como salidas. (“Siemens SIMATIC S7-200 CPUs PLC”, 2014)

En la siguiente figura se aprecia el PLC SIMATIC S7-200.

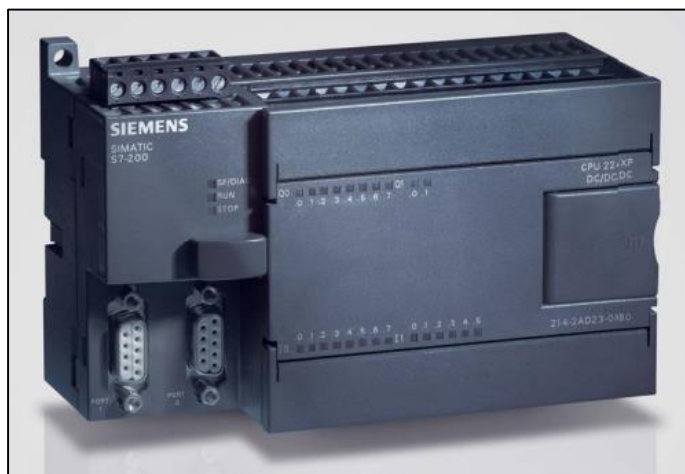


Figura N 88: PLC SIMATIC S7-200

Fuente: <https://www.s7automation.com/simatic-s7-200/>

- PLC SIEMENS S7 1200

Los controladores básicos SIMATIC S7-1200 son la opción ideal cuando se trata de realizar tareas de automatización de manera flexible y eficiente en el rango de rendimiento medio a bajo. Cuentan con una amplia gama de funciones tecnológicas e IO integradas, así como un diseño especialmente compacto y que ahorra espacio. Hasta 3 módulos de comunicación pueden ser añadidos a cualquiera de las CPUs SIMATIC S7-1200. Posee una interfaz PROFINET integrada se utiliza para la programación; además soporta la comunicación con dispositivos de terceros utilizando protocolos Ethernet abiertos.

En caso de pretender adquirir un PLC para este prototipo se debería considera un nano PLC como el siguiente:

- PLC EASY-E4-UC-12RC1

El modelo EASY-E4-UC-12RC1 (Anexo 1) se caracteriza por ser multifuncional asegurando una planificación simplificada y ofrece opciones de programación directamente en el equipo o remoto mediante el software easySoft. Permite aumentar las entradas/salidas agregando módulos de extensión. Con voltaje nominal de operación de 12V DC, 24V DC o 24V AC con 8 entradas digitales, de los cuales 4 entradas pueden ser utilizados como análogos y cuatro entradas de contador rápido. (“197211 EASY-E4-UC-12RC1”, s/f)

A continuación, en la figura N°94 se muestra el plc de la marca Eaton



Figura N 89: PLC easy-E4-UC-12RC1

Fuente: <https://www.electricalautomationnetwork.com/es/eaton-moeller/easy-e4-uc-12rc1-197211-4500546-eaton-electric-197211-facil-e4-uc-12rc1>

El prototipo teórico propuesto se consideró la posibilidad de la reutilización del PLC SIEMENS modelo S7 200 como opción tentativa en comparación del PLC SIEMENS modelo S7 1200 ya que no se aprovecharía sus funcionalidades debidamente. Sin embargo, en caso de adquirir un nuevo PLC se sugiere el modelo EASY-E4-UC-12RC1 debido a que solo capta una señal digital de entrada y tres señales analógicas cumpliendo el objetivo.

A continuación, se presenta una tabla comparativa de precios de los PLCs.

Tabla N°34

Comparativa de precios de los PLCs

Dispositivos	Precio estimado
PLC SIEMENS S7 200	s/ 2,601.37
PLC SIEMENS S7 1200	s/. 1,750.00
PLC EASY-E4-UC-12RC1	s/. 747.20

Fuente: elaboración propia

4.2.2. SENSOR ULTRASÓNICO

Se comparo dos sensores ultrasónicos que poseen una mayor aplicación en medición de nivel agua.

- Sensor Vacorda modelo HKD

Es un sensor de nivel ultrasónico que permite la medición de agua de manera precisa y eficaz contando con una exactitud de medición de ± 1 mm. Posee un chip principal de grado industrial, compensación de temperatura digital y regulador de tensión de entrada de voltaje entre otras que aumentan su rendimiento y fiabilidad (Anexo 2). (“High-Precision Small Dead Zone Ultrasonic Level Transmitter”, s/f)

A continuación, en la siguiente figura se aprecia el sensor ultrasónico modelo HKD.



Figura N 90: Sensor Vacorda modelo HKD

Fuente: <https://www.vacorda.com/high-precision-small-dead-zone-ultrasonic-level-transmitter-product/>

- Sensor KSONIK MICRO LP

El transmisor de nivel ultrasónico KSONIK MICRO LP está diseñado para medir niveles de líquidos (16 pies / 5 m). El rango puede ser configurado por el teclado y la pantalla. El KMICRO LP se monta en la parte superior del recipiente o tanque. (“Data sheet DS/KMICROLP-EN Rev. G”, s/f)



Figura N 96: sensor ultrasónico KSONIK MICRO LP

Fuente: https://www.seita.com.co/Descargas/ABB/Nivel/DS_KMICROLP-EN_G.pdf

A continuación, se presenta una tabla comparativa de precios de ambos sensores.

Tabla N°35
Comparativa de precios de los sensores ultrasónicos

Sensores	Precio estimado
Sensor Vacorda modelo HKD	s/. 594.75
Sensor KSONIK MICRO LP	s/.2,319.51

Fuente: elaboración propia

Ambos sensores mencionados cumplen con los estándares internacionales que definen el nivel de resistencia al polvo y agua de un dispositivo. Se recomienda el sensor Vacorda modelo HKD debido a que su precio de mercado es menor que la otra opción.

4.2.3. HMI

Se propuso estos HMIs debido a su eficiencia y que cumplen con el objetivo de integración en la propuesta técnica.

- Wecon 7 " Pi3070n HMI

Soporta multiplataformas, proporciona una función web sencilla para acceder al HMI desde cualquier navegador. además, posibilita la transferencia del programa HMI a través de la conexión inalámbrica y posee múltiples puertos seriales. También admite varios equipos periféricos para que sea más potente. (“Wecon 7 " HMI comunica-se com o PLC de muitos tipos”, s/f)

- Siemens Simatic HMI Ktp 400

Los paneles SIMATIC HMI (Anexo 3) han demostrado su valor en muchas aplicaciones diferentes en todos los sectores industriales durante muchos años. La gama de sistemas utilizados es tan amplia como la de las aplicaciones y tecnologías en las respectivas plantas. Cabe mencionar que se este dispositivo al ser de la misma marca que el PLC su integración y soporte tendría mayor facilidad. (“Paneles HMI”, 2021)

A continuación, se presenta una tabla comparativa de precios de ambos HMI.

Tabla N°36
Comparativa de precios de los HMI

Dispositivo	Precio estimado
Wecon 7 " Pi3070n HMI	s/. 1,700.00
Siemens Simatic Hmi Ktp 400	s/. 1,450.00

Fuente: elaboración propia

4.2.4. Variador de frecuencia

Se comparo unos de los variadores de frecuencias más utilizados para el control de velocidad de motores.

- Variador de frecuencia ABB Modelo ACS355

Los convertidores de frecuencia ACS355 de ABB para maquinaria han sido diseñados para ofrecer un proceso rápido de instalación, además de ser muy compactos y rentables. Equipados con la última tecnología en computación y seguridad, cumpliendo una doble función: satisfacer las exigencias en cuanto a producción y rendimiento de integradores de sistemas, fabricantes de bienes de equipos (OEM) para cubrir las necesidades de los usuarios finales con una amplia gama de aplicaciones. (“ACS355 - la opción flexible para fabricantes de maquinaria”, s/f)

En la siguiente imagen se muestra el variador de frecuencia ABB



Figura N 97: Variador de frecuencia ABB modelo ACS355

Fuente: <https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/maquinaria/acs355>

- Variador de frecuencia SINAMICS G120

Su estructura modular de los componentes y el amplio rango de potencia de 0,55 a 250 kW aseguran que siempre pueda ensamblar el convertidor ideal para sus aplicaciones individuales y rama industrial. Esta serie de convertidores está disponible en tres variantes de tensión para conexión a redes de 200 V, 400 V y 690 V. Además, SINAMICS G120 cuenta con un completo paquete de seguridad para máquinas. SINAMICS Startdrive se utiliza para la puesta en marcha de las funciones de seguridad. (“Sinamics G120”, 2022)

En seguida, se visualiza en la figura N°98 el variador de frecuencia Sinamics



Figura N 98: Variador de frecuencia SINAMICS G120

Fuente: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics/low-voltage-converters/standard-performance-frequency-converter/sinamics-g120.html>

A continuación, se presenta una tabla comparativa de precios de ambos variadores de frecuencia.

Tabla N°37

Comparativa de precios de los variadores de frecuencia

Dispositivos	Precios estimados
ABB MODELO ACS355	s/. 1,600.00
SINAMICS G120	s/. 1,150.00

Fuente: elaboración propia

Los variadores de frecuencia son muy utilizados para regular las velocidades de los motores por eso planteamos el uso de uno de ellos para que pueda controlarse las velocidades del generador de ondas teniendo en cuenta estos dispositivos en mención siendo de muy buena calidad, rendimiento y eficiente para ello luego de la comparativa se propone el SINAMICS G120 debido al factor precio.

4.3. Presupuesto estimado

Luego de hacer la comparativa de los dispositivos para la propuesta nos quedamos con los dispositivos que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°38
Presupuesto estimado de equipamiento

Dispositivos	Marca-modelo	Precios estimados
Sensor Ultrasonico	Sensor Vacorda modelo HKD	s/. 594.75
PLC	EASY-E4-UC-12RC1	s/. 747.20
HMI	Siemens Simatic Ktp 400	s/. 1,450.00
VFD	SIEMENS SINAMICS G120	s/. 1,150.00
Total		s/. 3,941.95

Fuente: elaboración propia

4.4. Plano de prototipo

Se elaboro una propuesta del posicionamiento de los dispositivos electrónicos PLC, variador de frecuencia, Sensor ultrasónico y HMI en el canal de pendiente variable usando el software AutoCAD. (Anexo 4)

En seguida en la figura N°99 se presenta el plano del canal de pendiente variable de manera lateral posicionando los dispositivos electrónicos.

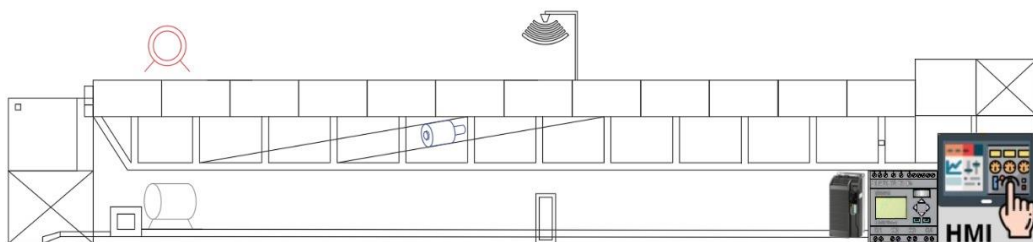


Figura N 99: Prototipo teórico en plano del canal dependiente variable

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

1. Se logró realizar el modelamiento matemático de las características de una ola de acuerdo en la toma muestras obtenidos con los instrumentos de mediciones detallado en el capítulo 3. Se consideraron los valores de la altura offset y la amplitud promediada; así como también el periodo medido en la ecuación trigonométrica coseno para las cuatro pendientes (0,0.25,0.5 y 1) en diferentes velocidades del generador de ondas. Es necesario recalcar el caso especial cuando la pendiente es de 1° y con la velocidad V2 (58,33 cm/ser) se consideró un mayor muestreo y para cumplir con el amortiguamiento experimentado se multiplico a la función coseno una función exponencial.
2. La simulación de las olas en las cuatro pendientes (0,0.25,0.5 y 1) y con diferentes velocidades de generador realizado en el software LabVIEW funciono de manera correcta. En la programación de la simulación se consideró un factor de perturbación aleatorio acercando a la representación de los valores medidos
3. Se realizó el planteamiento teórico del prototipo al presentar el plano de del prototipo teórico de un sistema automatizado del canal de pendiente variable del Laboratorio de hidráulica de la Universidad Ricardo Palma ubicando el posicionamiento del sensor ultrasónico, Variador de Frecuencia, PLC y HMI.
4. Se elaboró el análisis técnico-económico seleccionando el sensor ultrasónico marca VACORDA modelo HKD 585, VFD Marca Siemens modelo Sinamics G120, PLC EASY-E4-UC-12RC1y HMI marca Siemens Simatic Ktp 400 teniendo un precio estimado de los equipamientos de s/.3,941.95.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para la toma de muestras que el generador de ondas se encuentre posicionado sin ningún tipo de rose con los bordes del canal de pendiente variable para poder tener una velocidad constante del generador de ondas.
2. Para el caso de la onda con amortiguamiento se recomienda hacer el modelamiento matemático para cada periodo y así obtener más muestras. Asimismo, eso influirá para que la simulación aproximada sea más precisa.
3. Para lograr hacer la simulación se recomienda descargar el software LabVIEW con todos sus módulos entre ellos el MathScript.
4. Al realizar la medición de las características de una ola corroboro la dificultad y poca precisión que implica por lo que recomendamos la implementación del prototipo teórico propuesto en la presente tesis. De esta manera se contribuirá al aprendizaje de los alumnos hacen uso del canal de pendiente variable del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 197211 EASY-E4-UC-12RC1. (s/f). Recuperado el 26 de octubre de 2022, de Rs-online.com website: <https://es.rs-online.com/web/p/controladores-plcs-y-automatas/1819081>
- ACS355 - la opción flexible para fabricantes de maquinaria. (s/f). Recuperado el 26 de octubre de 2022, de Drives website: <https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/maquinaria/acs355>
- Acosta, H. (2014). Mejoramiento de la infraestructura y los servicios del laboratorio nacional de hidráulica en la Universidad Nacional de ingeniería (Título profesional, Universidad Nacional de ingeniería). Recuperado de <https://1library.co/document/yee2wo0y-mejoramiento-infraestructura-servicios-laboratorio-nacional-hidraulica-universidad-ingenieria.html>
- Armas,K (2021). automatización de un módulo de transporte de fluido hidráulico para el laboratorio ingeniería hidráulica de la universidad técnica de Cotopaxi en el periodo 2021 (Título profesional, Universidad técnica de Cotopaxi). Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8006>
- Autycom (17 de abril del 2022) ¿Para qué sirve un PLC? Recuperado de <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/>
- Chiroque, I. (2021) sistematización de información y propuesta de implementación de un laboratorio de recursos hídricos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNT.2019 (Título profesional, Universidad Nacional de Trujillo). Recuperado de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18234>
- Data sheet DS/KMICROLP-EN Rev. G. (s/f). Recuperado el 26 de octubre de 2022: https://www.seita.com.co/Descargas/ABB/Nivel/DS_KMICROLP-EN_G.pdf
- Didacta (2000) H91.8D/C - Canal Abierto de Pendiente Variable Computarizado - Longitud 10, 12,5, 15 y 20 metros. Cod. R01056/F 0914 Ed. 01 Rev. 04.

Disponible en: <https://fdocuments.es/document/hidraulica-h918dc-canal-abierto-de-pendiente-934255-vertedero-con-seccion.html?page=1>

Fernandez, I. Masabanda, L. (2005) Diseño e implementación de un instrumento virtual para levantamiento de perfiles en tiempo real del canal hidrodinámico del centro de investigaciones y estudios en recursos hídricos CIERHI-EPN (Título profesional, Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9815/1/2005AJIEE-5.pdf>

Flores, J. (2008) "Ingeniería marítima y costera". Material de clase, España, Universidad Alfonso X el sabio. Disponible en [https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Propagacion%20y%20Caracterizacion%20del%20Oleaje%20\(8\).pdf](https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Propagacion%20y%20Caracterizacion%20del%20Oleaje%20(8).pdf)

Hernandez, J. (2021) Eficiencia en el cálculo de parámetros hidráulicos usando el canal pendiente variable y el software HEC – RAS, Cajamarca 2020. (Título profesional, Universidad Privada del Norte) Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28246/Hernandez%20Villena%2c%20Jhanela%20Stefany%20Alexandra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

High-precision small dead zone ultrasonic level transmitter. (s/f). Recuperado el 26 de octubre de 2022, de <https://www.vacorda.com/> website: <https://www.vacorda.com/high-precision-small-dead-zone-ultrasonic-level-transmitter-product/>

Hughes, S. A., 1993. Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal engineering.

Lajara, J. (2011) LabView: Entorno gráfico de programación. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZFQua3-eeQEC&oi=fnd&pg=PA21&dq=labview&ots=qJ-wN6NLfw&sig=uqYUhVdVECixPBpA_LoUhSQ12xA#v=onepage&q=labview&f=false

Paneles HMI. (2021, marzo 9). Recuperado el 26 de octubre de 2022, de Siemens España website:

<https://new.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/hmi.html>

Riaño Valle, Félix. (2015). El nacimiento de la Hidráulica Experimental. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 36(3), 48-60. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382015000300004&lng=es&tlng=es

Siemens SIMATIC S7-200 CPUs PLC. (2014, junio 12). Recuperado el 26 de octubre de 2022, de S7automation.com website: <https://www.s7automation.com/simatic-s7-200/>

Sinamics g120. (2022, octubre 20). Recuperado el 26 de octubre de 2022, de siemens.com Global Website: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics/low-voltage-converters/standard-performance-frequency-converter/sinamics-g120.html>

Techmake Solution. (2019, octubre 16). Cómo usar el sensor ultrasónico de distancia HC-SR04 con Arduino (tutorial) [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=IXzoax1LPQ8&feature=emb_title

Wecon 7 " HMI comunica-se com o PLC de muitos tipos. (s/f). Recuperado el 26 de octubre de 2022, de Made-in-china.com website: https://pt.made-in-china.com/co_wecontech/product_Wecon-7-HMI-Communicate-with-Many-Brands-PLC_eogsoyreg.html

ANEXOS

Anexo 1: Hoja de características del PLC EASY-E4-UC-12RC1

DATASHEET - EASY-E4-UC-12RC1



Control relays, Expandable, networkable (Ethernet), 12/24 V DC, 24 V AC, Digital: 8, of which can be used as analog: 4, Quantity of outputs: Relay: 4, screw terminal



Referencia EASY-E4-UC-12RC1
Catalog No. 197211

Delivery program

Basic function		easyE4 base device
Description		Electronic control relay Rated operating voltage 12V DC, 24V DC or 24V AC 8 digital inputs with 12 VDC, 24 VDC or 24 VAC of these, 4 inputs can also be used as analog inputs and 4 inputs as fast counters 4 relay outputs for 12–250 VAC or 12–240 VDC with display Real-time clock with Ethernet interface Expandable with the easyE4 series of digital input/output expansions with easy-E4-CONNECT1 connector (Item Y7-197225) Expandable with communications modules EASY-COM-... Screw terminals
Inputs		
Digital		8
of which can be used as analog		4
Outputs		
Quantity of outputs		Relay: 4
Additional features		
Real time clock		#
Display & keypad		#
Expansions		Expandable networkable (Ethernet)
Supply voltage		12/24 V DC 24 V AC
Software		EASYSOFT-SWLIC/easySoft 7
Connection type		screw terminal

Technical data

General

Standards		EN 61000-6-2 EN 61000-6-3 IEC 60068-2-6 IEC 60068-2-27 IEC 60068-2-30 IEC/EN 61131-2 EN 61010 EN 50178
Approvals		
Approvals certificate		cULus
shipping classification		CE DNV GL
Dimensions (W x H x D)	mm	71.5 x 90 x 58
Weight	kg	0.215
Mounting		Top-hat rail IEC/EN 60715, 35 mm or screw fixing using fixing brackets ZB4-101-GF1 (accessories)
Connection type		screw terminal
Ethernet		
Connections		RJ45 plug, 8-pin
Cable		CAT5

Terminal capacities

Screw terminals		
Solid	mm ²	0.2 - 4
flexible	mm ²	0.2 - 2.5
Solid or flexible conductor, with ferrule	mm ²	0.2 - 2.5
Solid or stranded	AWG	22 - 12
Standard screwdriver	mm	0.8 x 3.5
Tightening torque	Nm	0.5 - 0.7
Stripping length	mm	6.5

Display

Display - Type		Monochrome
Lines x characters		6 x 16

Climatic environmental conditions

Operating ambient temperature	°C	-25 to 55, cold as per IEC 60068-2-1, heat as per IEC 60068-2-2
Condensation		Take appropriate measures to prevent condensation
LCD display (clearly legible)	°C	0 - 55
Storage	θ	°C -40 - +70
relative humidity	%	in accordance with IEC 60068-2-30, IEC 60068-2-78 5 - 95
Air pressure (operation)	hPa	795 - 1080

Ambient conditions, mechanical

Protection type (IEC/EN 60529, EN50178, VBG 4)		IP20
Vibrations	Hz	In accordance with IEC 60068-2-6 constant amplitude 0.15 mm: 10 - 57 constant acceleration 2 g: 57 - 150
Mechanical shock resistance (IEC/EN 60068-2-27) semi-sinusoidal 15 g/11 ms	Impacts	18
Drop to IEC/EN 60068-2-31	Drop height	mm 50
Free fall, packaged (IEC/EN 60068-2-32)	m	0.3
Mounting position		Vertical or horizontal

Electromagnetic compatibility (EMC)

Overvoltage category/pollution degree		III/2
Electrostatic discharge (ESD)		
applied standard		nach IEC/EN 61000-4-2
Air discharge	kV	8
Contact discharge	kV	6
Electromagnetic fields (RFI) to IEC EN 61000-4-3	V/m	0.08 - 1.0 GHz: 10 1.4 - 2 GHz: 3 2.0 - 2.7 GHz: 1
Radio interference suppression		EN 61000-6-3 Class B
Burst	kV	according to IEC/EN 61000-4-4 Supply cables: 2 Signal cables: 2
power pulses (Surge)		according to IEC/EN 61000-4-5 1 kV (supply cables, symmetrical) 2 kV (supply cables, asymmetrical)
Immunity to line-conducted interference to (IEC/EN 61000-4-6)	V	10

Insulation resistance

Clearance in air and creepage distances		nach EN 50178, EN 61010-2-201, UL61010-2-201, CSA-C22.2 NO. 61010-2-201
Insulation resistance		per EN 50178, EN 61010-2-201, UL61010-2-201, CSA-C22.2 NO. 61010-2-201

Back-up of real-time clock

Back-up of real-time clock		
		① Backup time (hours) with fully charged double layer capacitor ② Service life (years)
Accuracy of the real-time clock	s/day	typ. ± 2 (± 0.2 h/Year) depending on ambient air temperature fluctuations of up to ± 5 s/day (± 0.5 h/Year) are possible

Repetition accuracy of timing relays

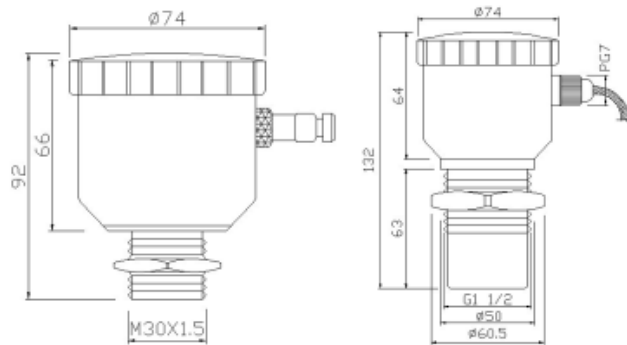
Accuracy of timing relays (of values)	%	± 0.02
---------------------------------------	---	--------

Anexo 2: Hoja de características del Sensor HKD Vacorda

Product introduction

The HKD-CYT series high-precision small dead zone ultrasonic level transmitter is an ultrasonic ranging product developed by our company for the measurement and control of small dead zones, high precision and small space. It is the first domestic ultrasonic ranging product with a dead zone of less than 0.06m and an accuracy of $\pm 1\text{mm}$ (It has won National Science and Technology Innovation Fund Project Award, Chongqing High-tech New Products, Chongqing Key New Products). With ABS engineering plastic waterproof outer casing and PP or stainless steel probe, the casing is small and quite sturdy. The transparent main cover is designed for easy observation. The main chip adopts imported industrial grade single-chip microcomputer, digital temperature compensation and ultra-wide voltage input voltage regulator and other dozens of related ASICs to make the product performance more stable and reliable.

Product instruction



Product Features

- ★ With robust and stable sensor for harsh industrial applications
- ★ Strong anti-interference, setting upper and lower limit nodes and online output adjustment enabled
- ★ The built-in temperature sensor of the transducer realizes real-time automatic temperature compensation of measured values.
- ★ 4 ~ 20mA current output, optional fieldbus interface
- ★ Domestic first 0.06m small dead zone level gauge

Product Parameters

Measuring Range:	1m,2m (selected when ordering)
Dead Zone:	Less than 0.06-0.15m (different by range)
Minimum Display Resolution:	1mm
Maximum Error:	Less than $\pm 1\text{mm}$, less than $\pm 1.5\text{mm}$ (due to range)
Operating Frequency:	40KHz ~ 430.5KHz (depending on model specifications)
Temperature Compensation:	Automatic temperature compensation
Calibration:	Factory calibration, field calibration
Analog Output Signal:	0 ~ 20mA, 4 ~ 20mA/load > 300Ω, 0 ~ 5V, 1 ~ 5V, 0 ~ 10V, 1 ~ 10V
Digital Output:	RS485 (Modbus enabled)
Working Voltage:	DC12-24V
Protection Grade:	IP65 (higher degree of protection can be customized)
Explosion-proof Grade:	EXdII BT4Gb (selected when ordering)
Working Environment:	Normal temperature / normal pressure

Anexo 3: Hoja de características del HMI KTP400

SIEMENS

hoja de datos del producto

6AV2123-2DB03-0AX0



SIMATIC HMI, KTP400 BASIC, BASIC PANEL,
MANDO POR TECLAS/TACTIL,
PANTALLA TFT 4", 65536 COLORES,
INTERFAZ PROFINET,
CONFIGURABLE CON DESDE WINCC BASIC V13/ STEP7
BASIC V13,
CONTIENE SW OPEN SOURCE QUE SE CEDE
GRATUITAMENTE VER EN EL CD ADJUNTO

Display	
Tipo de display	Pantalla TFT panorámica, retroiluminación LED
Diagonal de pantalla	4,3 in
Achura del display	95 mm
Altura del display	53,9 mm
Nº de colores	65536
Resolución (píxeles)	
Resolución de imagen horizontal	480
Resolución de imagen vertical	272
Retroiluminación	
MTBF de la retroiluminación (con 25 °C)	20000 h
Retroiluminación variable	Si
Elementos de mando	
Teclado	
Nº de teclas de función	4
Teclas con LED	No
Teclas del sistema	No
Teclado numérico/alfanumérico	
Teclado numérico	Si ; Teclado en pantalla

Teclado alfanumérico	Si ; Teclado en pantalla
Manejo táctil	
Como pantalla táctil	Si
Diseño/montaje	
Montaje vertical (formato retrato) posible	Si
Montaje horizontal (formato apaisado) posible	Si
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de la alimentación	24 V DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	125 mA
Intensidad transitoria de cierre A²s	0,2 A ² s
Potencia	
Consumo, tip.	3 W
Procesador	
Tipo de procesador	
X86	No
ARM	Si
Memoria	
Flash	Si
RAM	Si
Memoria de usuario	10 Mbyte
Tipo de salida	
Acústica	
Zumbador	Si
Altavoz	No
Hora	
Reloj	
Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Si
Reloj por software	Si
Respaldado	Si
Sincronizable	Si
Interfaces	
Nº de interfaces RS 485	0
N.º de interfaces USB	1 ; hasta máx. 16 GB
Número de slot para tarjetas SD	0

Anexo 4: Plano de prototipo teórico de un sistema automatizado en el canal de pendiente variable

