

Universidad Nacional De Ingeniería

Facultad De Ingeniería Mecánica



TESIS

**“PERIODO DE OLA Y PICO DEL ESPECTRO
ESTANDARIZADO DE MAR EN LA CUENCA
MARÍTIMA DEL PERU”**

Para Obtener El Título Profesional De Ingeniero Naval

Elaborado por

Yunior García Sánchez

▪ [0009-0005-1176-3147](tel:0009-0005-1176-3147)

Asesor

Ing. Dennys Dunker De La Torre Cortez

▪ [0000-0003-1418-1896](tel:0000-0003-1418-1896)

LIMA-PERÚ

2024

Dedicatoria

A mi madre, por su apoyo, paciencia, apoyo y amor en este proceso para lograr la Tesis Profesional.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, mi alma máter.

Agradecimientos

A mi madre, por su apoyo, paciencia, apoyo y amor en este proceso para lograr la Tesis Profesional.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, mi alma máter.

Resumen

El diseño y construcción de embarcaciones es una industria que genera muchas divisas a un país. La investigación en esta área está en continuo desarrollo a nivel mundial. Una de las áreas de investigación es la caracterización del estado de mar por el cual la embarcación navegará. En particular, el espectro de mar es un modelo matemático del mar que se utiliza para calcular las respuestas del buque, junto con el operador de amplitud de respuesta, *RAO*.

El espectro de mar es variable en el tiempo y en el espacio, pero mantiene una característica visible en un lapso de 20 minutos [21]. Obtener la curva real del espectro no es práctico ya que varía, entonces, el estado de mar se aproxima a uno parametrizado, con altura significativa y el periodo modal como parámetros principales. Estos parámetros son calculados de la data de elevación de ola obtenidos de las boyas oceánicas por medio de un análisis de Transformada de Fourier. Comúnmente, las boyas oceánicas proveen el periodo de cruce cero ascendente y no el modal, cayendo en el problema de aproximación por medio de coeficientes teóricos.

En este trabajo de investigación se formula el problema de realizar un análisis de regresión simple lineal para aproximar el pico del espectro de olas en la cuenca marítima del Perú, ya que se cuenta con data existente en la cuenca marítima del Perú. El regresor del modelo explicativo inicial es el Periodo de cruce cero positivo. El análisis de la data comprobó que las distribuciones de ambos periodos no son Gaussianos y que la media y la mediana son muy similares. Los resultados son ecuaciones de regresión para cada año de la data, estadísticas descriptivas e inferenciales y se concluye en una baja bondad de ajuste en los modelos de regresión; los coeficientes de la ecuación de regresión son significativos y que la relación entre ambos periodos es 1.15, en cambio para el espectro estándar de Bretschneider es 1.40.

Palabras clave: *seakeeping, dinámica del buque, periodo de olas, espectro de olas, espectro estándar mar peruano.*

Abstract

Ship design and construction is an industry that generates a lot of revenue for a country. Research in this area is under continuous development worldwide. One of the research areas is the characterization of the sea state by which the ship will navigate. In particular, the sea spectrum is a mathematical model of the sea that is used to calculate the ship's responses, together with the Response Amplitud Operator, RAO.

The wave spectrum is variable in time and space but maintains a visible characteristic in a period of 20 minutes [21]. Obtaining the real spectrum curve is not practical since it varies, therefore, the sea state approaches one parameterized, with significant height and the modal period as main parameters. These parameters are calculated from the wave elevation data obtained from the ocean buoys by means of a Fourier transform analysis. Commonly, ocean buoys provide the positive zero crossing period and not the modal, falling into the approximation problem by means of theoretical coefficients.

In this research, the problem of performing a simple linear regression analysis to approximate the peak of the wave spectrum in the Peruvian sea is formulated, since there is existing data in the Peruvian maritime basin. The regressor of the initial explanatory model is the upcrossing period. Data analysis found that the distributions of both periods are not Gaussian and that the mean and median are very similar. The results are regression equations for each year of the data, descriptive and inferential statistics and it is concluded in a low goodness of fit in the regression models, the coefficients of the regression equation are significant and the relationship between both periods is 1.15, however, for the standard Bretschneider spectrum it is 1.40.

Keywords: *seakeeping, ship dynamics, wave period, wave spectrum, standard sea spectrum, Peruvian sea.*

Tabla de Contenido

Resumen	iv
Abstract	vi
Lista De Tablas.....	x
Lista De Figuras.....	xiv
Prólogo	xvi
Capítulo I. Introducción	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Problemática	3
1.2.1 Descripción Del Problema	3
1.2.2 Formulación Del Problema.....	5
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivo.....	5
1.5 Hipótesis	6
1.6 Alcance	6
Capítulo II. Fundamento Teórico.....	8
2.1 Antecedentes	8
2.1.1 Estimación y Análisis Del Parámetro Del Espectro Jonswap Utilizando Datos Observados Alrededor De La Costa De Corea [3].....	8
2.1.2 Evaluación De La Energía Del Oleaje Basada En La Distribución Trivariada De Altura Significativa De Ola, Periodo Medio Y Dirección (2019) [4].....	8
2.1.3 Sistema de clasificación de recursos de energía de las olas para las aguas costeras de EE.UU. (2019) [5].....	9
2.1.4 Algunas Propiedades Probabilísticas De La Inclinación De Las Olas En Aguas Profundas (2018) [6].....	10
2.1.5 Efecto De Las Olas Del Mar De Alta Frecuencia En La Recuperación Del Período De Ola A Partir De Los Datos Del Altimetro De Radar Y De La Boya (2016) [7].....	11
2.1.6 Evaluación De Recursos De Energía De Las Olas En El Mar De China Oriental (2015) [8].....	11

2.1.7 Relaciones Del Período De Oleaje Y Cálculo De La Potencia De Las Olas (2014) [9].....	12
2.1.8 Caracterización De Los Recursos De Energía De Las Olas En Las Pruebas De Energía En La Marina Del Atlántico (2013) [10].	13
2.1.9 Caracterización del recurso de energía de las olas del pacífico norte de ee.uu. (2011) [11].....	14
2.1.10 Estimación De Estadísticas Del Período De Oleaje Utilizando El Modelo Numérico De Onda Costera (2009) [12].	15
2.2 Marco Teórico.	16
2.2.1 Representación Espectral De Las Olas Oceánicas [13].....	16
2.2.2 Familia De Espectros Idealizados [17].....	18
2.2.3 Características Principales Del Espectro Puntual [17].	22
2.3 Marco Conceptual	26
Capítulo III. Metodología.....	28
3.1 Tipo	28
3.2 Nivel O Alcance De La Investigación.....	28
3.3 Diseño De La Investigación.....	28
3.4 Población y Muestra.....	29
3.4.1 Población	29
3.4.2 Muestra.....	29
3.4.3 Unidad De Análisis	29
3.5 Instrumentos Y Técnicas De Recolección De Datos.....	29
3.5.1 Instrumentos De Recolección De Datos.....	29
3.5.2 Técnicas De Recolección De Datos.	30
3.6 Técnicas De Análisis E Interpretación De Datos.....	30
3.6.1 Técnicas De Análisis.....	30
3.6.2 Prueba De Hipótesis	30
3.6.3 Información Para La Investigación.....	33
Capítulo IV. Análisis De La Data.....	35

Capítulo V. Resultados Y Discusión.....	48
5.1 Resultados Para El Año 2007.....	48
5.2 Resultados Para El Año 2008.....	50
5.3 Resultados Para El Año 2009.....	52
5.4 Resultados Para El Año 2010.....	54
5.5 Resultados Para El Año 2011.....	56
5.6 Resultados Para El Año 2012.....	58
5.7 Resultados Para El Año 2013.....	60
5.8 Resultados Para El Año 2014.....	62
5.9 Resultados Para El Año 2015.....	64
5.10 Resultados Para El Año 2016.....	66
5.11 Resultados Para El Año 2017.....	68
5.12 Contraste De La Hipótesis.....	70
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Referencias Bibliográficas	74

Lista De Tablas

Tabla 1.	Matriz de consistencia. Diseño teórico.....	6
Tabla 2.	Matriz metodológica. Operacionalización de variables.....	7
Tabla 3.	Diseño metodológico.	32
Tabla 4.	Data meteorológica estándar. Boya 32012, NDBC.NOAA.GOB	34
Tabla 5.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2008.	36
Tabla 6.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2009.	37
Tabla 7.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2010.....	38
Tabla 8.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2011.....	39
Tabla 9.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2012.....	40
Tabla 10.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2013.....	41
Tabla 11.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2014.....	42
Tabla 12.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2015.....	43
Tabla 13.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2016.....	44
Tabla 14.	Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2017.....	45
Tabla 15.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2007.	48

Tabla 16.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2007.	48
Tabla 17.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2008.	49
Tabla 18.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2008.	50
Tabla 19.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2008.	50
Tabla 20.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2008.	51
Tabla 21.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2009.	52
Tabla 22.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2009.	52
Tabla 23.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2009.	53
Tabla 24.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2010.	54
Tabla 25.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2010.	54
Tabla 26.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2010.	55
Tabla 27.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2011.	56
Tabla 28.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2011.	56
Tabla 29.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2011.	57
Tabla 30.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2012.	58
Tabla 31.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2012.	58

Tabla 32.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2012.	59
Tabla 33.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2013.	60
Tabla 34.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2013.	60
Tabla 35.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2013.	61
Tabla 36.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2014.	62
Tabla 37.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2014.	62
Tabla 38.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2014.	63
Tabla 39.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2015.	64
Tabla 40.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2015.	64
Tabla 41.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2015.	65
Tabla 42.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2016.	66
Tabla 43.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2016.	66
Tabla 44.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2016.	67
Tabla 45.	Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2017.	68
Tabla 46.	Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2017.	68
Tabla 47.	Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2017.	69

Tabla 48. Estadísticas descriptivas de los coeficientes de la ecuación de regresión y de la bondad de ajuste.	70
--	----

Lista De Figuras

Figura 1.	Mar territorial del Perú.	1
Figura 2.	Placa tectónica de Nazca.	2
Figura 3.	Superposición de 13 ondas regulares y el espectro resultante.	16
Figura 4.	Ejemplo de espectro de un estado de mar bimodal.	18
Figura 5.	Registro de ola típico en un punto fijo, con las definiciones de los términos. Fuente SNAME.	25
Figura 6.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2007.	35
Figura 7.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2008.	36
Figura 8.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2009.	37
Figura 9.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2010.	38
Figura 10.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2011.	39
Figura 11.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2012.	40
Figura 12.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2013.	41
Figura 13.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2014.	42
Figura 14.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2015.	43
Figura 15.	Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2016.	44

Figura 16. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2017.....	45
Figura 17. Variación anual del Periodo modal, T_m	46
Figura 18. Variación anual del Periodo de cruce cero hacia arriba, T_z	46
Figura 19. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2007.	49
Figura 20. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2008.	51
Figura 21. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2009.	53
Figura 22. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2010.	55
Figura 23. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2011.	57
Figura 24. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2012.	59
Figura 25. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2013.	61
Figura 26. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2014.	63
Figura 27. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2015.	65
Figura 28. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2016.	67
Figura 29. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2017.	69

Prólogo

El presente trabajo de investigación está enmarcado en el sector del diseño y construcción de buques, específicamente en el estudio de la Dinámica del Buque. En este contexto, es necesario reducir el nivel de incertidumbre en lo que se refiere a caracterizar el estado de mar en la que operará el buque cumpliendo su misión asignada.

El mar peruano tiene una extensión de 200 millas y tiene una proyección muy amplia en el Océano Pacífico, sobre su extensión sopla vientos desde el sur. La corriente peruana que va de Sur a Norte agrega características al clima de olas. Entre estas características una de las más importantes para poder caracterizar el espectro de olas que interactuará con el buque en su navegación es el periodo modal o pico del espectro. En la actualidad, continúa investigándose a nivel mundial este periodo de olas, así como muchos otros más en otros sectores. Específicamente, en la parte Occidental del Pacífico Sur, en la cuenca marítima del Perú no existe investigación de este tipo significativamente.

Es importante la realización de estas investigaciones para poder desarrollar diseños de embarcaciones con la mayor precisión posible y así poder contribuir con la sociedad en un mejor nivel de vida y prosperidad. Este presente trabajo de investigación culmina con importantes conclusiones y recomendaciones para investigaciones futuras y también continuar con los esfuerzos de desarrollo de la industria nacional de la construcción de buques.

El autor ha desarrollado un excelente trabajo en la formulación del problema, el objetivo, hipótesis, análisis de la data, resultados y conclusiones, siguiendo el método científico de principio. El autor contribuye al estado del arte respondiendo a la pregunta de investigación en al campo de la dinámica del buque, especialidad de la carrera de ingeniería naval.

EL ASESOR

Capítulo I. Introducción

1.1 Generalidades.

El dominio territorial del mar del Perú está delimitado por las 200 millas marítimas en dirección perpendicular a la costa como se muestra en la Figura 1, [1].



Figura 1. Mar territorial del Perú.

El “Mar de Grau” es la denominación oficial del dominio marítimo del Perú en el océano Pacífico, es decir, de los espacios marítimos sobre los que ejerce soberanía y jurisdicción. Su extensión abarca desde el paralelo de Boca de Capones al norte, y por el sur en el punto en que el paralelo geográfico que pasa por el Hito N° 1 se interseca con la línea de baja marea, al sur de la ciudad de Tacna; formando una línea costera que se extiende 3079,50 km [22].



Figura 2. Placa tectónica de Nazca. [23]

Se denomina también cuenca marítima del Perú a la extensión de mar frente a la costa de Perú sobre la placa tectónica denominada Nazca, como se muestra en la Figura 2, [2]. En inglés la cuenca marítima del Perú se traduce en “Peru Basin”. Sobre la cuenca marítima del Perú, en particular, se han realizado muy pocas investigaciones, sobre todo, se han realizado estimaciones globales del clima del mar, a través de modelos de olas oceánicas de tercera generación como el SWAN y WAVE WATCH III. En la sección de antecedentes se resumirá los avances sobre investigaciones al respecto de análisis de frecuencias espectrales.

1.2 Problemática

1.2.1 Descripción Del Problema

En el sector del diseño y construcción de buques, en el área de la arquitectura naval, para la etapa de diseño en lo que se refiere al estudio del comportamiento del buque en la mar, se hace necesario contar con un modelo idealizado del espectro de mar para distintas situaciones, por ejemplo, para mar desarrollado, mar al inicio de la generación y para el mar en decaimiento. Sobre todo, para duraciones largas de soplido del viento y distancias de soplido del viento muy grandes ó "fetchs" considerables.

En ese sentido se hace indispensable utilizar un espectro idealizado de banda angosta como el espectro "Bretschneider" que incluye los tres tipos de mar tratados arriba.

Una buena práctica de Ingeniería Naval es utilizar este espectro para la evaluación del comportamiento marino en el diseño de embarcaciones del Perú. Para ello, la única data disponible son estadísticas bi-variadas (explique) de alcance mundial y no local, entre ellos una relación entre la altura significativa de ola $H_{1/3}$ y el periodo promedio T_1 ¹. De aquellas tablas, se aproximan los parámetros mencionados para utilizarlos en el cálculo del espectro parametrizado elegido, como el *Bretschneider*. Aquí se halla el problema, el cual se describe a continuación.

El espectro *Bretschneider* requiere de dos parámetros para poder ajustar el espectro medido a uno ideal que represente la familia de espectros. Estos dos parámetros son la altura significativa, $H_{1/3}$, y el periodo modal, T_m . Este periodo modal es el correspondiente a la frecuencia de la ola de mayor densidad de varianza del registro irregular después de haber realizado un análisis espectral, $\omega_m = 2\pi / T_m$.

¹ Tabla 3 del libro "Principles of Naval Architecture" del SNAME, que se titula: frecuencia de ocurrencia porcentaje observado de alturas de olas y periodos a nivel mundial (Hogben and Lumb data).

En el siglo pasado, dado que la data oceánica era muy complicada de obtener y por lo tanto muy escasa, así mismo, debido a que la tecnología estaba todavía en desarrollo, se aproximaba la altura significativa haciendo uso de la altura de ola visual, H_v ; y el periodo promedio de cruce por cero ascendente, T_z , con el periodo visual, T_v . Haciendo uso de una relación matemática derivada de la fórmula espectral de *Bretschneider* se relaciona el T_z con el T_m (Ver marco teórico).

La décimo quinta Conferencia Internacional de Tanques de Remolque (ITTC, 1978) recomendó el uso de una forma del espectro de *Bretschneider* (para condiciones promedio, no mares completamente desarrollados) para cuando no se conozcan formas espectrales apropiadas específicamente. Esta forma útil está basada en el uso de la altura significativa, $H_{1/3}$ y el periodo de energía promedio, T_1^2 ; par de parámetros hallados en las tablas *scatter* de clima de olas de uso mundial (como ya se ha explicado: obtenido de las estimaciones visuales).

Actualmente es posible obtener los parámetros directamente de los registros obtenidos por boyas oceánicas dedicadas para misiones como detectar el avance de tsunamis. Los parámetros que se pueden obtener: definitivamente la altura significativa H_{m0} , el periodo de cruce por cero ascendente, T_z , el periodo promedio, T_1 y la dirección predominante de onda, θ° ; como mínimo.

Se ha sustentado que el periodo *Bretschneider* requiere, así como de la altura significativa, $H_{1/3}$, el periodo modal, T_m , para su cálculo y así poder parametrizar la respuesta del buque al mar al cambio de uno de los parámetros del estado de mar. Los datos provistos por las boyas oceánicas comúnmente no incluyen el periodo modal, T_m .

No obstante, los datos provistos por la boya oceánica, 32012 (con coordenadas 19.425S 85.078W), ubicada al sur de la cuenca marítima del Perú, en aguas profundas, incluyen también al periodo modal, T_m , correspondiente a la

² Página 37 del libro "Principles of Naval Architecture" del SNAME, ecuación 37.

frecuencia del pico del espectro de olas. Siendo esta circunstancia ideal para poder aproximar la ubicación del pico del espectro, caracterizado por el periodo modal, T_m , a través del uso del periodo de cruce por cero ascendente, T_z .

Esta aproximación del pico del espectro a través de una relación con el periodo cruce por cero ascendente es posible realizarla a través de varios métodos existentes, entre los cuales, podemos obtener esta relación mediante el análisis de regresión simple lineal a través de la estadística inferencial. De esto último podemos formular la siguiente pregunta de investigación.

1.2.2 Formulación Del Problema.

Problema general.

¿Cómo se relaciona el periodo característico de ola con el pico del espectro estandarizado de mar en la cuenca marítima del Perú?

1.3 Justificación

La presente tesis para optar por el título de Ingeniero Naval se justifica por la conveniencia de utilizar mecanismos para la predicción del clima de olas que se impone en la cuenca marítima del Perú con la finalidad de parametrizar correctamente el estado de mar a través de un espectro de mar idealizado y con ello resolver la respuesta del buque en la mar en la etapa de diseño y aproximar su comportamiento al momento de realizar su misión asignada en la mar.

1.4 Objetivo

Objetivo General.

Determinar si existe relación significativa entre el periodo característico de ola y el pico del espectro estandarizado de mar en la cuenca marítima del Perú.

1.5 Hipótesis

Hipótesis General.

Si existe relación significativa entre el periodo característico de ola y el pico del espectro estandarizado de mar en la cuenca marítima del Perú.

1.6 Alcance

El alcance de esta tesis para optar por el título de Ingeniero Naval comprende en un análisis de regresión simple lineal, específicamente una asociación de regresión entre el periodo modal, T_m , y el periodo T_z . Este análisis de regresión simple lineal comprenderá un contraste de hipótesis sobre la variable dependiente T_m y la variable independiente T_z . La matriz metodológica se resume en ambas: Tabla 1 y la Tabla 2 .

Tabla 1. Matriz de consistencia. Diseño teórico.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables
¿Cómo se relaciona el periodo característico de ola con el pico del espectro estandarizado de mar en la cuenca marítima del Perú?	Determinar si existe relación significativa entre el periodo característico de ola y el pico del espectro estandarizado de mar en la cuenca marítima del Perú.	Si existe relación significativa entre el periodo característico de ola y el pico del espectro estandarizado de mar en la cuenca marítima del Perú.	Variable dependiente Frecuencia pico correspondiente a la ola de mayor varianza.
			Variable independiente Periodo promedio característico del espectro de olas.

Tabla 2. Matriz metodológica. Operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
<p>Variable dependiente</p> <p>Frecuencia pico correspondiente a la ola de mayor densidad de varianza de ola.</p>	<p>Esta frecuencia ubica el pico del espectro de varianza puntual, ω_m.</p>	<p>Operacionalmente se relaciona con su recíproco o Periodo modal.</p> $T_m = 2\pi / \omega_m$	<p>Periodos modales identificados para cada estado de mar medido en una hora.</p>
<p>Variable independiente</p> <p>Periodo promedio característico del espectro de olas.</p>	<p>Este periodo representa el promedio de los periodos característicos de las ondas sinusoidales, comúnmente obtenidos por las boyas.</p>	<p>El periodo característico que es ampliamente usado debido a su obtención de las boyas oceánicas es el periodo de cruce por cero ascendente ó T_z.</p>	<p>Periodos cruce por cero ascendente medido para cada estado de mar registrado por hora.</p>

Capítulo II. Fundamento Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Estimación y Análisis Del Parámetro Del Espectro Jonswap Utilizando Datos Observados Alrededor De La Costa De Corea [3].

Este artículo científico estudió la relación entre la altura significativa de las olas y el período promedio y se obtuvo utilizando datos de olas de la península de Corea para facilitar los cálculos de los parámetros de las olas. Este estudio abarcó olas de todos los rangos de altura, y los resultados del análisis pueden usarse como datos importantes para explicar las características del área del mar. Las ondas se pueden expresar como un espectro, y la distribución de la densidad de energía de las ondas se puede determinar mediante análisis estadístico. Por lo tanto, un espectro de ondas oceánicas se usa mucho cuando se analizan ondas irregulares.

Estudios estadísticos de las características de los estados de mar como el de este *paper* se realizan continuamente a nivel mundial.

2.1.2 Evaluación De La Energía Del Oleaje Basada En La Distribución Trivariada De Altura Significativa De Ola, Período Medio Y Dirección (2019) [4].

Los investigadores han realizado muchos intentos en las décadas pasadas para construir un modelo estadístico que pueda ajustar las distribuciones no solamente para cada parámetro de estado de mar sino también para sus relaciones.

En los resultados de la aplicación de su modelo tri-variado para el cálculo del flujo de energía de ola plantearon la ecuación $P = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2$. Para calcular dicha ecuación se hace necesario contar con el período de energía, T_e , entonces aproximan el estado de mar a un espectro idealizado como JONSWAP.

Entonces los parámetros T_e y T_{01} pueden ser expresados como una función del período pico o modal, T_m , si el período pico es conocido.

$$T_e = \alpha_1 T_m; T_{01} = \alpha_2 T_m$$

Donde α_1 y α_2 dependen de los valores de los parámetros de forma de la función de densidad del espectro JONSWAP, $\chi_1 = 3.3$ y $\chi_2 = 0.08$ (los cuales son recomendados por los investigadores del “Joint North Sea Wave Project”). Entonces:

$$T_e = 0.9T_m \approx 1.154T_{01}$$

Esta relación entre T_e y T_{01} es ligeramente diferente a lo sustentado en el artículo de referencia titulado “OFFSHORE WAVE ENERGY RESOURCE ASSESSMENT IN THE EAST CHINA SEA (2015)” donde $T_e = 1.08T_{01}$.

En este artículo científico se establecen relaciones entre periodos característicos de ola, como por ejemplo el periodo modal y el periodo promedio.

2.1.3 Sistema de clasificación de recursos de energía de las olas para las aguas costeras de EE.UU. (2019) [5].

En este trabajo de investigación los autores desarrollan una clasificación del recurso de energía de olas. Describen esta clasificación como herramientas útiles que soportan el planeamiento energético y desarrollo de proyectos, es decir, estudios de ubicación y viabilidad. Los investigadores desarrollan sistemas de clasificación del recurso de energía de ola para los EE.UU. basado en la potencia de ola (J , kW/m) y su distribución con el periodo pico, para el caso del diseño de buques: T_m .

Se define el periodo de energía en términos de momentos espectrales que son derivados del espectro de olas en función de la frecuencia. Por lo tanto, reconstrucciones del espectro de ola de todas las particiones individuales son requeridos para calcular T_e directamente. Es este estudio, los autores reducen los cálculos extensos requeridos para esa reconstrucción y se utiliza un método alternativo de cálculo para el periodo de energía, relacionando el periodo pico con el periodo de energía, $T_e = CT_m$.

El factor de conversión, C , es analíticamente obtenido por la integración de un espectro de ola parametrizado, $S(f)$, el cual está en función de T_m . Se sustenta que el espectro de ola parametrizado depende del sistema de olas, el cual es convencionalmente clasificado en “wind-sea” o “swell”. Para ambos, se utiliza espectros parametrizados Pierson-Moskowitz y un espectro Gaussiano, respectivamente. Aunque un espectro JONSWAP es más ampliamente usado para parametrizar el “wind-sea”, se adoptó el espectro Pierson-Moskowitz en este estudio para minimizar una sobre estimación del T_e .

En este estudio, utilizaron $C = 0.858$ para el “wind-sea” y $C = 1.0$ para “swell” para estimar T_e . Los factores de conversión son obtenidos de calcular el periodo de energía el cual es definido en términos de momentos espectrales, m_{-1} y m_0 . Para el espectro Pierson-Moskowitz se halla un valor único como $C = 0.858$ en cambio para el espectro Gaussiano se halla un rango de valores para C , $1 \leq C \leq 1.083$.

Un coeficiente de calibración o factor de conversión entre el periodo modal y periodo de cruce por cero ascendente es buscado en esta tesis por el autor.

2.1.4 Algunas Propiedades Probabilísticas De La Inclinación De Las Olas En Aguas Profundas (2018) [6].

La inclinación de las olas para olas individuales, así como la inclinación espectral de las olas para un estado del mar, son parámetros que se utilizan con frecuencia para representar las características aleatorias de las olas en el mar, relevantes para el diseño de estructuras costa afuera y costeras. La inclinación de la ola para olas individuales se define en términos de la altura de la ola H y el periodo de la ola T , mientras que la inclinación espectral de la ola se define en términos de la altura significativa de la ola H_s y el periodo medio de la ola de cruce por cero ascendente T_z (o el pico espectral periodo T_p).

En este artículo científico afirma que se puede utilizar tanto el periodo T_z o el T_p (T_m en dinámica del buque), esto hace suponer que existe siempre una relación entre ambos periodos en todas las áreas marítimas del mundo. Relación que es motivo de esta investigación.

2.1.5 Efecto De Las Olas Del Mar De Alta Frecuencia En La Recuperación Del Período De Ola A Partir De Los Datos Del Altimetro De Radar Y De La Boya (2016) [7].

En este trabajo de investigación se estudia los periodos de olas estimados a partir de datos de altimetría satelital y se comparan con los calculados a partir de datos de boyas, especialmente en condiciones de poco viento.

Los altímetros de radar tienen la capacidad de estimar H_s y la velocidad del viento, además de la altura de la superficie del mar. Además, estudios posteriores también han indicado la posibilidad de recuperar T_z a partir de H_s , mediciones de altímetros y se han propuesto numerosos modelos empíricos en las últimas dos décadas. Sin embargo, estos modelos funcionan peor en condiciones de poco viento que en condiciones de mucho viento.

En este paper se reafirma la importancia y vigencia de desarrollar modelos empíricos para relacionar parámetros de olas.

2.1.6 Evaluación De Recursos De Energía De Las Olas En El Mar De China Oriental (2015) [8].

Los investigadores evalúan el recurso de energía de olas offshore del mar de China del Este usando data de boyas oceánicas que cubren el periodo desde 2011-2013

Para su estudio, las boyas registraron la elevación de la ola para una cierta dirección y realizaron cálculos consistentes en los parámetros de olas como la altura de ola (principalmente la altura significativa de ola, $H_{1/3}$), periodos de ola

(que incluyeron el periodo de olas promedio, T_{01}) y direcciones de ola. La data es principalmente proveída cada hora; se encuentra también, data registrada cada media hora.

De estas observaciones $H_{1/3}$ ha sido siempre adoptada y usada para calcular la potencia de ola P . La potencia de ola por metro frontal es un parámetro importante para caracterizar el clima de olas. La potencia de ola P requiere de dos parámetros de ola muy importantes que son: la altura significativa de ola, $H_{1/3}$, y el periodo de energía de ola, T_e .

Los investigadores sustentan que, el periodo de energía de ola T_e es raramente especificado en un estado de mar real; en su lugar es frecuentemente estimado de los periodos de ola observados cuando la densidad espectral es desconocida. En general, el periodo de olas medido en los estados de mar es especificado en términos de cualquiera de los siguientes periodos: el periodo medio T_{01} , o en términos del periodo dominante ó pico T_m . Los autores tomaron la aproximación de ajustar el estado de mar a una forma teórica como el JONSWAP, con un factor de realzamiento de pico $\gamma = 3.3$. En ese sentido, es posible establecer la siguiente relación: $T_e = 0.9T_p$.

Sin embargo, los registros de las boyas proveyeron T_{01} y no T_m y mucho menos T_e , entonces utilizaron la siguiente relación disponible siguiendo el espectro JONSWAP, como: $T_e = 1.08 T_{01}$. También proporcionan esta relación entre periodos: $T_m = 1.2 T_{01}$. (Para el sector del diseño de buques $T_m = T_p$ y $T_{01} = T_m$, se han realizado estos cambios en los antecedentes para que esté acorde al marco teórico.)

2.1.7 Relaciones Del Período De Oleaje Y Cálculo De La Potencia De Las Olas (2014) [9].

Los autores realzan que algunos estudios de los recursos de energía de las olas se basan en formulaciones espectrales teóricas para inferir información más

detallada a partir de las estadísticas resumidas disponibles cuando no hay datos medidos de elevación de superficie o espectrales. Se han derivado varias formas espectrales estándar para describir los estados del mar mediante la aplicación de técnicas de ajuste a los datos recopilados empíricamente.

Estos estudios normalmente se basan en coeficientes de calibración teóricos que si no están validados con data oceánica podría incurrir en errores significativos al calcular las variables de interés.

2.1.8 Caracterización De Los Recursos De Energía De Las Olas En Las Pruebas De Energía En La Marina Del Atlántico (2013) [10].

En este trabajo de investigación se caracteriza y evalúa el recurso de energía de ola de un área de ensayo de malla conectada en las costas de Irlanda, AMETS (Atlantic Marine Energy Test); para ello se cuenta con data provista por dos boyas, posicionadas en aguas profundas (100 m de profundidad) y otra fuera costa (50 m de profundidad). De forma consistente, en este artículo requieren de dos parámetros importantes: la altura significativa, H_{m0} , y el periodo de energía, T_e . T_e es definido como un equivalente al periodo de ola monocromático cuya altura de ola es igual a H_{m0} , el cual tiene la misma energía como el estado de mar irregular en cuestión.

Sin embargo, para esta investigación, la boya Wavescan provee con el periodo de ola T_{02} . Este periodo es equivalente al promedio de los periodos de cruce cero positivo y también es denotado por T_z .

Para la obtención del periodo de energía, T_e , teniendo como dato el periodo de cruce cero positivo, T_{02} , los investigadores aproximaron los estados de mar a un espectro idealizado llamado espectro Pierson-Moskowitz generalizado para estados de mar completamente desarrollado, también conocido como el espectro Bretschneider. Esta aproximación permite la relación entre el periodo de energía, T_e , y el periodo promedio de cruce por cero ascendente, T_{02} , y está dado por $T_e =$

αT_0^2 , donde α es una constante. Los autores realizan un desarrollo algebraico de los momentos espectrales en concordancia con el espectro Bretschneider para hallar que $\alpha = 1.206$. Así se aproxima: $T_e = 1.206 T_0^2$.

Los investigadores resaltan que habrá algo de divergencia en la forma espectral Bretschneider y esto se reflejará en el valor de α . Estudios adicionales de datos tomados han demostrado que una relación de periodo de olas de aproximadamente 1.35 es más apropiado para la ubicación de AMETS. Cabe resaltar que en este artículo, los investigadores en lugar de aproximar el estado de mar a JONSWAP aproximan a un Bretschneider, y luego resaltan que la relación de periodos obtenida no es contundente sino que debe ajustarse a una más apropiada según mayores estudios en la zona de interés.

2.1.9 Caracterización del recurso de energía de las olas del pacífico norte de ee.uu. (2011) [11].

Este artículo de investigación es dirigido a la caracterización y evaluación del recurso de energía de ola del mar del Norte Occidental del Pacífico de Estados Unidos. Este trabajo de investigación busca agregar a nuestro entendimiento del recurso de olas de la región norte del océano Pacífico de los EE.UU. El análisis está basado en data espectral archivada de boyas oceánicas de medición en diez ubicaciones de profundidad y distancia variable desde la costa. Los autores persiguen detallar las tendencias estacionales (así también la variabilidad en la escala de horas y días) de seis cantidades características que describen el flujo de energía de olas, incluyendo mediciones de potencia de ola total, alturas de olas, periodo característico, ancho espectral, dirección característica y uniformidad direccional.

Los investigadores sustentan que una aproximación para representar los estados de mar es ajustar cada espectro medido a una forma teórica, tal como los espectros estándares de "Pierson-Moskowitz" ó "JONSWAP". El presente estudio

utiliza la aproximación de representar los estados de mar midiendo el espectro discreto de cada estado de mar.

En lo que respecta a las características de frecuencia, los autores desarrollan cuatro representaciones de espectros discretos, entre ellos: densidad de varianza versus frecuencia, densidad de varianza versus periodo, densidad de potencia de ola versus frecuencia y densidad de potencia de ola versus periodo. De estas cuatro representaciones espectrales se hallan promedios ponderados y sus anchos estándares y resulta que para la primera representación la media del periodo es aquel definido como Periodo promedio, T_{01} , y que para la segunda y tercera representación el promedio es aquel definido como Periodo de Energía, T_e . Siendo los resultados $T_e > T_{01}$. El periodo de energía representa mejor la media del periodo en un sistema de olas mixto que el periodo pico o el periodo promedio u otro periodo. Para el sector del diseño de buques, el periodo modal o pico es el más importante.

2.1.10 Estimación De Estadísticas Del Período De Oleaje Utilizando El Modelo Numérico De Onda Costera (2009) [12].

Los autores usan datos de olas de campo y de modelo para investigar que el periodo de cruce por cero y la distribución del periodo de onda promedio siguen la distribución Gamma. Dado que Gamma CDF es una serie de potencias infinitas, es difícil un tratamiento matemático adicional. Por lo tanto, su parámetro de forma se aproxima al entero más cercano para llegar a la distribución de Erlang. Los autores derivan una expresión de la distribución de Erlang para estimar varios periodos medios de olas y periodos significativos de olas y se valida mediante criterios de error cuadrático medio relativo (RRMS). Ellos demuestran por lógica matemática que la distribución del periodo de oleaje significativo sigue la distribución de Erlang (o Gamma) y se valida.

En este artículo científico también se realizan estudios de distribución para el periodo de cruce por cero ascendente.

2.2 Marco Teórico.

2.2.1 Representación Espectral De Las Olas Oceánicas [13].

La representación del océano usando un espectro de olas asume que es posible representar la superficie del mar como la suma de ondas sinusoidales [13] con un rango de frecuencias, amplitudes y direcciones. La variación de la energía de ola con la frecuencia (y dirección) es llamada el espectro de olas.

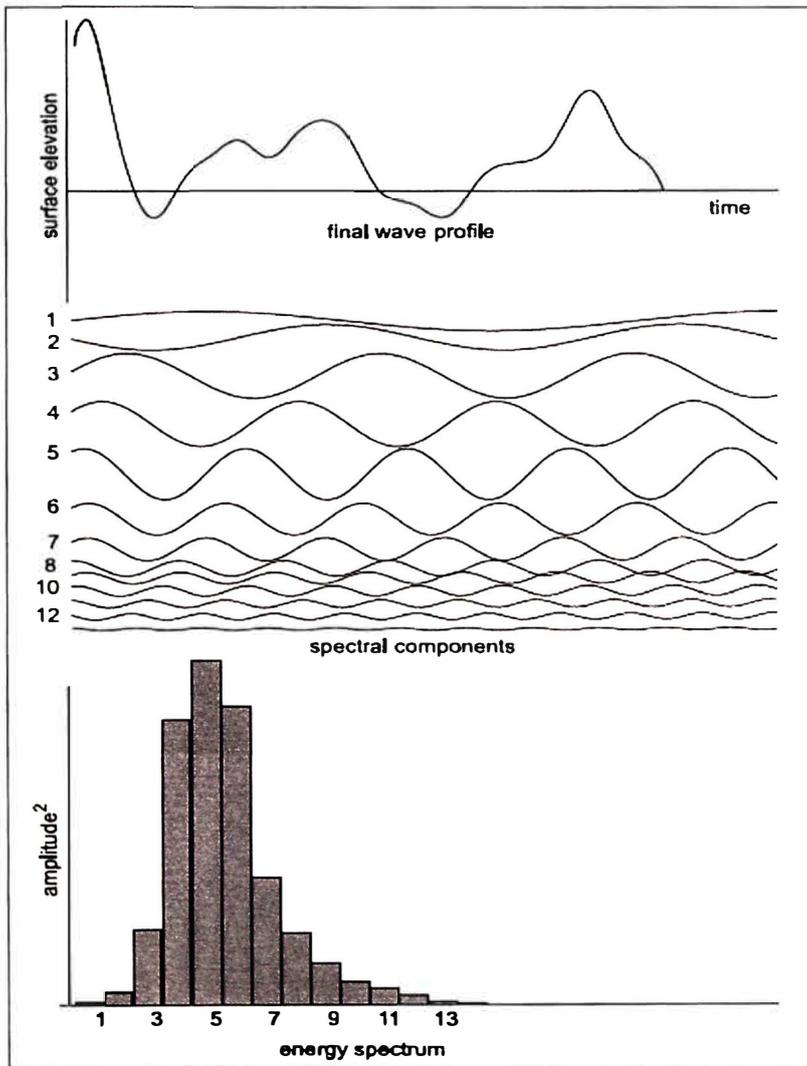


Figura 3. Superposición de 13 ondas regulares y el espectro resultante.

La Figura 3 [14] muestra una ilustración de esta superposición de olas, junto con un ejemplo de un espectro de ola típico. Una variedad de espectros idealizados se ha sugerido para representar un estado de mar completamente desarrollado. Posiblemente el espectro más comúnmente usado fue desarrollado por Pierson y Moskowitz en 1964 y es llamado el espectro Pierson-Moskowitz [15]. Este espectro asume que el viento ha estado soplando en un área suficientemente grande de agua por suficiente tiempo en el que las olas están en equilibrio con el viento, es decir, el estado de mar está completamente desarrollado de modo que el espectro es dependiente solamente de la velocidad del viento.

Investigaciones posteriores, uno de ellos completado por Hasselman y colaboradores en el Proyecto "Joint North Sea Wave Observation Project" (*JONSWAP*) identificó un refinamiento a este espectro de ola para cuando el mar no esté completamente desarrollado y está basado en la velocidad del viento y la longitud del "fetch". Este espectro es llamado el espectro *JONSWAP* y es comúnmente usado para representar el estado de mar no desarrollado [16].

Las comparaciones entre las formas espectrales de *JONSWAP* y Pierson-Moskowitz son idénticos cuando el factor de realzamiento del espectro de *JONSWAP* es igual a 1. Así, se puede inferir que el ancho de banda del espectro es dependiente del estado de desarrollo, con mares nuevos y en desarrollo teniendo un ancho de banda más angosto, de modo que las ondas componentes están todas, a frecuencias similares y en mares completamente desarrollados que tengan un ancho de banda más ancho, con la energía de onda distribuida sobre un rango más grande de frecuencias.

Para facilitar el entendimiento, lo explicado arriba solo considera los estados de mar que han sido generados por una única fuente de viento. Sin embargo, en la práctica, los estados de mar en un punto de observación poseen olas generadas de un número diferente de fuentes de vientos desde direcciones diferentes con velocidades diferentes y longitudes

fetch diferentes. Donde existan dos fuentes distintas de olas entonces el estado de mar es llamado bimodal y tiene dos direcciones pico y dos frecuencias pico. La Figura 4 [13] muestra un ejemplo de un estado de mar bimodal. Casos donde existan más de dos fuentes de viento resultan en los llamados estados de mar multi-modales. Aunque habrá alguna interacción entre las olas de las diferentes fuentes, típicamente esta interacción es pequeña y el espectro puede ser linealmente superpuesto sin mucha pérdida de precisión (al menos cuando las olas no están cerca del rompimiento).

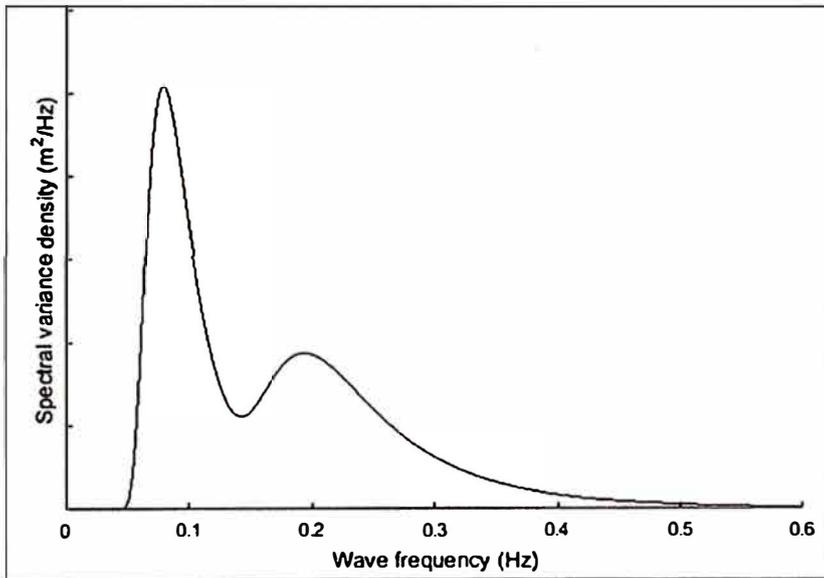


Figura 4. Ejemplo de espectro de un estado de mar bimodal.

2.2.2 Familia De Espectros Idealizados [17].

La variación de forma de los espectros puntuales y direccionales es enorme, incluso para espectros con alturas de olas significativas idénticas. Diseñar buques para esta multiplicidad de condiciones medioambientales involucra algunos problemas difíciles. Mientras estos problemas sean tratados, se provee una alternativa útil llamada familias de espectros idealizadas que han sido desarrollados para propósitos especiales. El espectro en estas familias es idénticas dado un cierto número de parámetros, permitiendo el análisis de la variación de alguna cualidad operacional del buque con respecto a la variación de un parámetro de mar particular.

a) **El espectro Pierson-Moskowitz** [15]. Esta forma espectral, el cual depende de un único parámetro, fue desarrollada principalmente para uso oceanográfico y de hecho es un elemento básico en el pronóstico de tormentas marinas. Está dirigido a representar el espectro puntual de un mar completamente desarrollado, que involucra un “*fetch*” y duraciones muy grandes y no hay contaminación por parte de olas “*swell*” provenientes de otras áreas de generación. Para su preparación, el buque que realizaba las mediciones de olas por medio de un registrador de olas tipo “*Tucker*” tenía que tener una velocidad menor a 2 nudos. Los espectros que contenían olas “*swell*” fueron eliminados por inspección.

Estos espectros selectos fueron agrupados en familias de cinco velocidades de vientos: 20, 25, 30, 35 y 40. Usando esta familia espectral, Pierson y Moskowitz [15] llegaron a la siguiente formulación analítica para un espectro de mar ideal representando a un mar completamente desarrollado,

$$S(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp \left[-\beta \left(\frac{g}{V_w} \right)^4 \right] \quad (1)$$

Donde:

$S(\omega)$ = ordenada espectral en $cm^2 - s$

ω = frecuencia en rad/s

$\alpha = 8.10 \times 10^{-3}$

$\beta = 0.74$

g = aceleración de la gravedad en cm/s^2

V_w = velocidad del viento en cm/s (19.5 m sobre la superficie)

Aquí el único parámetro es la velocidad del viento. Esta familia espectral es inapropiada para uso de diseño general. Mientras su importancia meteorológica es grande, debe reconocerse como una forma asintótica, alcanzado después de un periodo extendido de viento permanente, sin contaminación de una ola *swell*.

b) **El espectro Bretschneider** [18]. Este espectro es una familia de dos parámetros que permite asignar el periodo y altura de ola separadamente. Este espectro tiene la forma:

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp \left[-\frac{B}{\omega^4} \right] \quad (2)$$

Donde los dos parámetros A y B dependen de la frecuencia modal, ω_m , y la varianza, E . La frecuencia modal es:

$$\omega_m = \left[\frac{4}{5} B \right]^{1/4} \quad (3)$$

y

$$E = A/(4B) \quad (4)$$

Esta familia fue diseñada para representar estados de mar en generación y decaimiento, así como también mares completamente desarrollados. Así como se considera aproximado, en lo mejor de los casos, ha probado ser de gran valía para propósitos de ingeniería.

Los parámetros ω_m y $H_{1/3}$ pueden estar directamente relacionados a la data extensa disponible sobre periodos y alturas de ola observadas, como se muestra más adelante. Los momentos de la familia *Bretschneider* son:

$$m_{-1} = 0.8572 E/\omega_m \quad (5)$$

$$m_1 = 1.294 E \omega_m \quad (6)$$

$$m_2 = 1.982 E \omega_m^2 \quad (7)$$

De aquellos momentos, se puede calcular varios periodos:

$$T_{-1} = 0.857 T_m = 5.385/\omega_m \quad (8)$$

$$T_1 = 0.773 T_m \quad (9)$$

$$T_2 = 0.710 T_m \quad (10)$$

La forma espectral *Bretschneider* no posee una medida de probabilidad asociada que asignaría una probabilidad (frecuencia de ocurrencia) para el espectro definido por el par ω_m (ó T_1) y $H_{1/3}$. Es de práctica común estimar tales probabilidades de tablas de alturas y periodos visualmente observados. Para obtener el espectro podemos utilizar las siguientes relaciones:

$$H_{1/3} = 1.68H_V^{0.75} \quad (11)$$

$$\omega_m = \frac{2\pi}{T_m} = \frac{2\pi}{T_z/0.71} = \frac{5.44}{T_V^{0.96}} \quad (12)$$

La suposición básica es que cualquier estado de mar puede ser adecuadamente representado por una forma espectral de *Bretschneider*, o al menos, los errores de forma no introducen distorsiones en las mediciones correspondientes del rendimiento del buque cuando se usa espectros de *Bretschneider*. Espectros puntuales obtenidos de los registros de ola muestran que los espectros multimodales son comunes y que ninguna forma *Bretschneider* puede emparejar muy bien la forma de tal espectro.

c) **El espectro JONSWAP** [16]. Las formas espectrales ideales descritas en las subsecciones precedentes pretenden representar condiciones de mar abierto. Sin embargo, existen muchas regiones de importancia ingenieril donde hay bordes geográficos que limitan el *fetch* en el área de generación. El mar del Norte es tal región. Mediciones oceanográficas extensas han sido hechos allí bajo el Proyecto "*Joint North Sea Wave Project*" (JONSWAP). Mediciones de olas fueron hechas en una serie de posiciones a varias distancias desde la isla de Sylt en la Bahía Alemana cuando el viento era cerca a costa. Las distancias de las posiciones de observación desde la costa alcanzaban hasta 160 km.

El espectro calculado de estos registros tenía picos mucho más angostos que la familia de espectros *Pierson-Moskowitz*. Después de un análisis exhaustivo se encontró que el espectro podría ser aproximado por la forma:

$$S(\omega) = \alpha g \omega^{-5} \exp\left[-5/4 \frac{\omega}{\omega_m}\right]^{-4} \gamma \exp\left[-(\omega - \omega_m)^2 / 2\sigma^2 \omega_m^2\right] \quad (13)$$

Donde:

γ es 3.3

σ es 0.07 para $\omega < \omega_m$

σ es 0.09 para $\omega > \omega_m$

α es $0.076 X^{0.22}$

ω_m es $2\pi f_m g / V_{w10}$ (frecuencia modal)

X es $g x / V_{w10}^2$

f_m es $3.5 X^{-0.33}$

x es el fetch

V_{w10} es la velocidad del viento a 10m sobre el nivel del mar

Notar que el espectro JONSWAP es simplemente una forma del espectro *Bretschneider*, multiplicado por un factor dependiente de la frecuencia;

$$\gamma \exp\left[-(\omega - \omega_m)^2 / 2\sigma^2 \omega_m^2\right] \quad (14)$$

Investigaciones recientes han demostrado que este parámetro, γ , es afectado por la variabilidad de muestreo y que valores reducidos podrían ser más apropiados [19].

2.2.3 Características Principales Del Espectro Puntual [17].

Los espectros puntuales se elevan a uno ó más picos o modos y luego desaparecen a frecuencias muy altas. La frecuencia modal correspondiente al pico más alto es

designada como ω_m , y el periodo correspondiente, $2\pi/\omega_m$ es designado T_m . La frecuencia de la densidad de varianza más alta es ω_m , y es frecuentemente usado como un parámetro identificador, junto con E , en el análisis usando sets de espectros. E es igual a la varianza del proceso ó el área bajo la curva del espectro puntual. El periodo T_m es algunas veces llamado el periodo más probable, pero este es un concepto erróneo, ya que el espectro puntual no es en ningún sentido una función de densidad de probabilidad. Mientras este parámetro posee un significado intuitivo, debería ser usado con precaución en el estudio de espectros derivados de los registros de olas. Este periodo ha mostrado que puede poseer características pobres de muestreo, dado que su valor depende solamente de la variación de $S(\omega)$ en la vecindad inmediata de ω_m , y los pequeños errores que es inherente en el cálculo en un registro de ola específica puede resultar en grandes desfases en la posición del pico.

Parámetros de frecuencia más significativos pueden obtenerse de un juego de momentos, los cuales dependen de la forma espectral:

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S(\omega) d\omega \quad (15)$$

Donde n es un entero. En particular, el área, m_0 , es la varianza ó E . Estos momentos tienen características de muestreo estadístico mejor comportado que T_m , puesto que dependen de todos los valores de $S(\omega)$. Hay un gran número de parámetros descriptivos que pueden ser calculados de los momentos espectrales, los cuales son valiosos para caracterizar la apariencia visual del registro de ola. Incluyen el periodo de cruce-cero positivo (intervalo de tiempo promedio entre cruces en el cero hacia arriba), periodo pico-pico promedio, promedio de pendiente, longitud de onda promedio y altura de ola promedio (distancia vertical, valle a cresta).

El periodo promedio de las olas componentes,

$$T_{-1} = \int_0^{\infty} T S(\omega) d\omega / \int_0^{\infty} S(\omega) d(\omega) \quad (16)$$

$$= 2\pi m_{-1}/m_0 \quad (17)$$

El periodo correspondiente a la frecuencia promedio de las olas componentes

$$T_1 = 2\pi \left(\int_0^{\infty} \omega S(\omega) d\omega / m_0 \right)^{-1} \quad (18)$$

$$= 2\pi m_0/m_1 \quad (19)$$

Periodo promedio entre cruces-cero hacia arriba,

$$T_z = 2\pi \sqrt{m_0/m_2} \quad (20)$$

Periodo promedio entre picos (máximos) o valles (mínimos),

$$T_c = 2\pi \sqrt{m_2/m_4} \quad (21)$$

Una medida estadística de la pendiente de la superficie de la ola ζ' es su varianza,

$$\langle (\zeta')^2 \rangle = m_4/g^2 \quad (22)$$

Donde

$$(\zeta')^2 = \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)^2 \quad (23)$$

El parámetro de ancho de banda espectral ϵ , es

$$\epsilon = \sqrt{1 - \frac{T_c^2}{T_z^2}} \quad (24)$$

El estimado de altura de ola significativa hallado mediante data espectral es [20]:

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0} \quad (25)$$

Cuando no existe múltiples máximos en cualquier excursión del proceso arriba o debajo del cero, $T_c = T_z$, $\epsilon = 0$, y el espectro es de banda angosta. De forma inversa, cuando existe un gran número de máximos dentro de cada incursión del proceso arriba o debajo del cero, $T_c \ll T_z$ y $\epsilon \rightarrow 1$; el espectro es considerado de banda ancha.

Para propósitos prácticos, se considera de banda angosta para $\epsilon < 0.6$. Ver Figura 5 [17] para mejor comprensión de los términos.

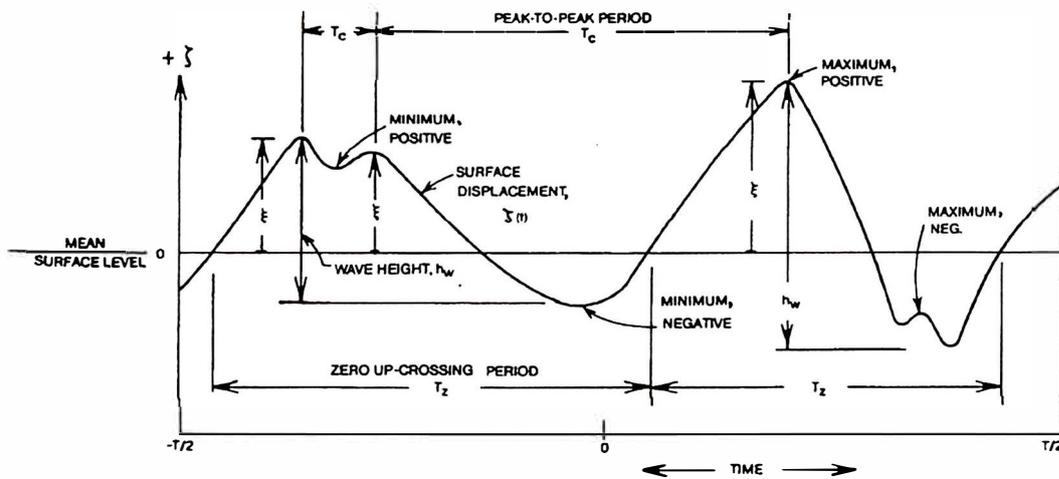
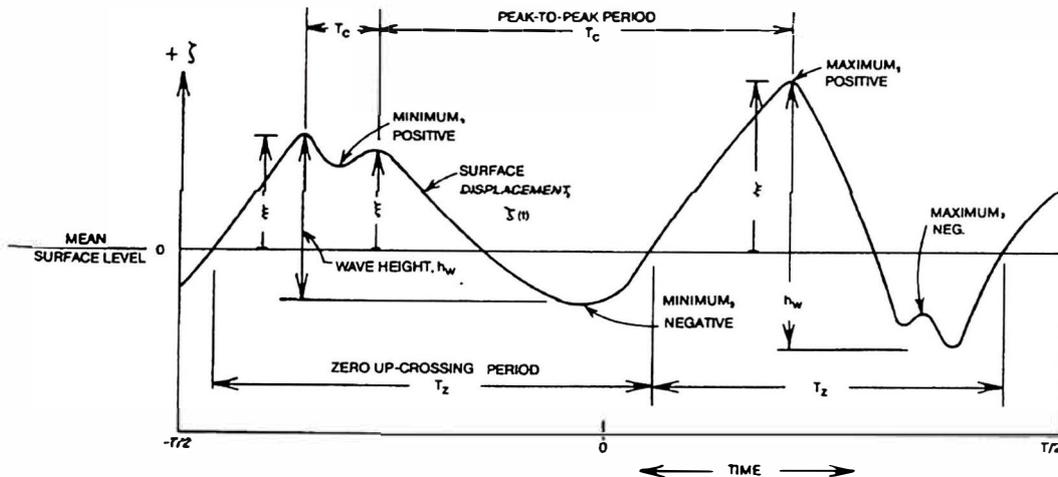


Figura 5. Registro de ola típico en un punto fijo, con las definiciones de los términos. Fuente SNAME [20].

2.3 Marco Conceptual



- a) **Periodo pico, T_m .**- Periodo pico o dominante correspondiente a la frecuencia de ola con mayor densidad de energía.
- b) **Periodo de cruce cero hacia arriba, T_{02} .** Periodo promedio de cruce cero hacia arriba como resultado del cálculo de momentos espectrales.
- c) **Frecuencia modal, ω_m .**- Frecuencia de la ola regular del espectro con mayor varianza.
- d) **Response Amplitud Operator, RAO.**- Función de transferencia usada para determinar el comportamiento probable de un buque cuando opera en el mar.
- e) **Espectro de ola.**- ordenamiento de la varianza según la frecuencia de las ondas componentes regulares del registro irregular de la ola oceánica.
- f) **Varianza de ola.**- sinónimo de densidad de energía o severidad del mar. Energía por unidad de área de una onda de gravedad.
- g) **Periodo de energía, T_e .**- definido como un equivalente al periodo de ola monocromático cuya altura de ola es igual a H_{m0} , el cual tiene la misma energía como el estado de mar irregular en cuestión.
- h) **Altura significativa de ola, H_s .**- el valor promedio de la tercera parte de olas oceánicas más altas en un registro.
- i) **Frecuencia circular.**- frecuencia en el movimiento circular.

- j) **Dinámica del buque.** - Estudio y Analisis del comportamiento del buque en la mar.
- k) **Banda angosta.** - registro irregular cuya descomposición de varianza está concentrada en una pequeña franja de frecuencias.
- l) **Fetch.**- longitud de la zona de generación de olas oceánicas.
- m) **Espectro parametrizado.** - espectro estandarizado.
- n) **SWAN (Simulating WAVes Nearshore):** es un modelo de propagación de oleaje espectral que simula la energía contenida en las ondas en su propagación desde superficies oceánicas hasta zonas costeras. De forma predeterminada, solo se solicitan 7 días de datos para cada marcador.
- o) **EL WAVEWATCH III:** es un modelo de tercera generación desarrollado por el OMB (Ocean Modeling Branch) perteneciente al NCEP (National Centers for Enviromental Prediction). Este modelo se basa en anteriores versiones (WaveWatch I y II) desarrolladas por la Delft University of Technology

Capítulo III. Metodología

3.1 Tipo

El presente trabajo de investigación reúne las condiciones para ser considerada del tipo *cuantitativo*, debido a que las variables utilizadas se miden, tabulan y calculan directamente y la data garantiza los resultados de la investigación.

El tipo de investigación según su corte en el tiempo es **transversal** y a su vez **no experimental** puesto que no se variará intencionalmente las variables independientes y en su lugar se observará el fenómeno tal y como se manifiesta en el contexto natural en el año 2012, donde la dirección de onda concentre más de 30 datos para realizar un análisis de regresión simple lineal.

3.2 Nivel O Alcance De La Investigación.

El nivel de investigación es **explicativa inicial** o **correlativa**, pues tiene como propósito medir el grado de influencia que tiene el periodo de cruce por cero ascendente en el periodo correspondiente a la frecuencia del pico del espectro. Data obtenida para una serie de años desde el 2007 hasta el 2018.

El método para la investigación será el **hipotético-deductivo**, dado a que se planteará una hipótesis de trabajo a partir de los efectos conocidos para posteriormente validar o refutar la hipótesis.

3.3 Diseño De La Investigación.

El tipo de investigación según su corte en el tiempo es **transversal** y a su vez **no experimental** pues no se variará intencionalmente la variable independiente y lo que se realizará es observar el fenómeno como tal y como se manifiesta en su contexto natural desde el 2007 hasta el 2018 para después analizarlos.

Se realizará una investigación **documental** sobre registros de elevación de olas por medio una boya oceánica perteneciente y administrada por "*Woods Hole Oceanographic*

Institution" boya de 2.4 m de diámetro 19.425 S 85.078 W (19°25'29" S 85°4'39" W). Data obtenida para una serie de años desde el 2007 hasta el 2018. De esos años se tomará como muestra el 2012 por contar con una mayor cantidad de datos.

La data es publicada y administrada por la "*National Oceanic and Atmospheric Administration*" de los Estados Unidos y publicadas en su página web (<https://www.ndbc.noaa.gov/>). Posteriormente se analiza una correlación entre uno de los periodos resultantes del análisis de frecuencias espectrales como el periodo de cruce por cero ascendente y el periodo resultante de la frecuencia modal del espectro. Finalmente se analiza la bondad de ajuste de la relación y se infiere si los coeficientes de la fórmula de regresión son significativos.

3.4 Población y Muestra.

3.4.1 Población

La población está constituida por los estados de mar registrada en distintas posiciones en una red de boyas a nivel nacional; datos de elevación de olas registradas en la última década.

3.4.2 Muestra

La muestra está constituida por los estados de mar registrados cada hora del periodo total entre 2007 y 2017. Data registrada y proveída por la boya oceánica 32012.

3.4.3 Unidad De Análisis

La unidad de análisis es cada estado de mar que cuente con la data de periodo de cruce cero positivo y el periodo dominante del espectro.

3.5 Instrumentos Y Técnicas De Recolección De Datos.

3.5.1 Instrumentos De Recolección De Datos.

Para desarrollar la tesis se utilizarán fuentes secundarias, es decir, fuentes de primera mano recolectadas por entidades o instituciones oficiales del extranjero, esta data

comprende: periodos de cruce cero positivo, periodos dominantes del espectro, direcciones medias de ola, hora, día y mes. Estos datos son publicados públicamente en la página web de la “*National Data Buoy Center*” (NDBC – <https://www.ndbc.noaa.gov/>).

3.5.2 Técnicas De Recolección De Datos.

Dada la naturaleza de la investigación, no se efectuarán entrevistas ni encuestas debido a que la información relativa a las diferentes variables de investigación se encuentra en las fuentes secundarias antes mencionadas. Cabe resaltar que la información utilizada en una investigación debe ser confiable y por ello se recurre a la fuente más seria y adecuada como la información pública de la NDBC.

3.6 Técnicas De Análisis E Interpretación De Datos.

3.6.1 Técnicas De Análisis.

Los procedimientos de cálculo a los que serán sometidos los datos que se obtengan abarcarán la clasificación, tabulación, codificación y diagramación. Se utilizarán técnicas de estadística descriptiva e inferencial para la exploración de la data obtenida. Seguidamente, se procede con un análisis cuantitativo de la causalidad de la variable independiente y de la dependiente haciendo uso de la estadística inferencial. Así, se presenta la data procesada en gráficas de dispersión con línea de tendencia. Se hace uso de las técnicas de estadística y la computación (se ha seleccionado el E-Views por su presentación de resultados y el EXCEL para los cálculos). Finalmente, el diseño metodológico se resume en la Tabla 3.

3.6.2 Prueba De Hipótesis

La prueba o constatación de las hipótesis se hará utilizando las técnicas estadísticas.

A. Estimando el “Índice de correlación” entre la variable independiente y la variable dependiente.

- B. Calculando la ecuación de regresión que expresa la relación matemática entre la variable dependiente y la variable independiente.
- C. Para la prueba de Hipótesis, se usará el valor de probabilidad de rechazo de la Hipótesis nula (P-Value), para un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 3. Diseño metodológico.

Método de la investigación	Diseño de la investigación	Población y muestra	Instrumentos y fuentes de la información
<p>El tipo de investigación es cuantitativa, transversal y no experimental.</p> <p>El nivel es correlacional y explicativo inicial</p>	<p>Se investigará usando fuentes de información secundaria.</p> <p>La temporalidad de esta investigación será: retrospectiva y transversal, pues la información obtenida será la de un evento pasado en un <i>periodo total de 11 años.</i></p>	<p>Población</p> <p>La población está constituida por los estados de mar registrada en distintas posiciones en una red de boyas a nivel nacional;</p> <p>Muestra:</p> <p>La muestra está constituida por los estados de mar registrados cada hora del periodo total entre 2007 y 2017. Data registrada y proveída por la boya oceánica 32012.</p>	<p>No se realizarán entrevistas ni encuestas porque se usarán fuentes secundarias confiables.</p>

3.6.3 Información Para La Investigación.

La data publicada se halla en la boya oceánica 32012 con coordenadas 19.425 S 85.078 W, está separada por años, desde el 2007 hasta el 2018. La data por año está tabulada comprendiendo varios campos, entre ellos el periodo modal, el periodo de cruce cero, la dirección media de propagación. Así también, la hora, el día, y el mes de registro. En la siguiente Tabla se ordena toda la data año por año.

Tabla 4. Data meteorológica estándar. Boya 32012, NDBC.NOAA.GOB

ID	AÑO	URL
1	2007	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2007.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
2	2008	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2008.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
3	2009	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2009.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
4	2010	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2010.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
5	2011	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2011.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
6	2012	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2012.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
7	2013	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2013.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
8	2014	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2014.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
9	2015	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2015.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
10	2016	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2016.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
11	2017	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2017.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/
12	2018	https://www.ndbc.noaa.gov/download_data.php?filename=32012h2018.txt.gz&dir=data/historical/stdmet/

Capítulo IV. Análisis De La Data

En este capítulo se procede a realizar un análisis de la distribución y las características estadísticas de ambas variables, el periodo modal, T_m , y el periodo de cruce por cero ascendente, T_z . De la data obtenida en la Tabla 4 se procede a calcular lo anterior mediante el software EViews para cada año. Este análisis anual se realiza con el fin de tener en cuenta la variabilidad anual ya que múltiples fenómenos meteorológicos suceden año tras año.

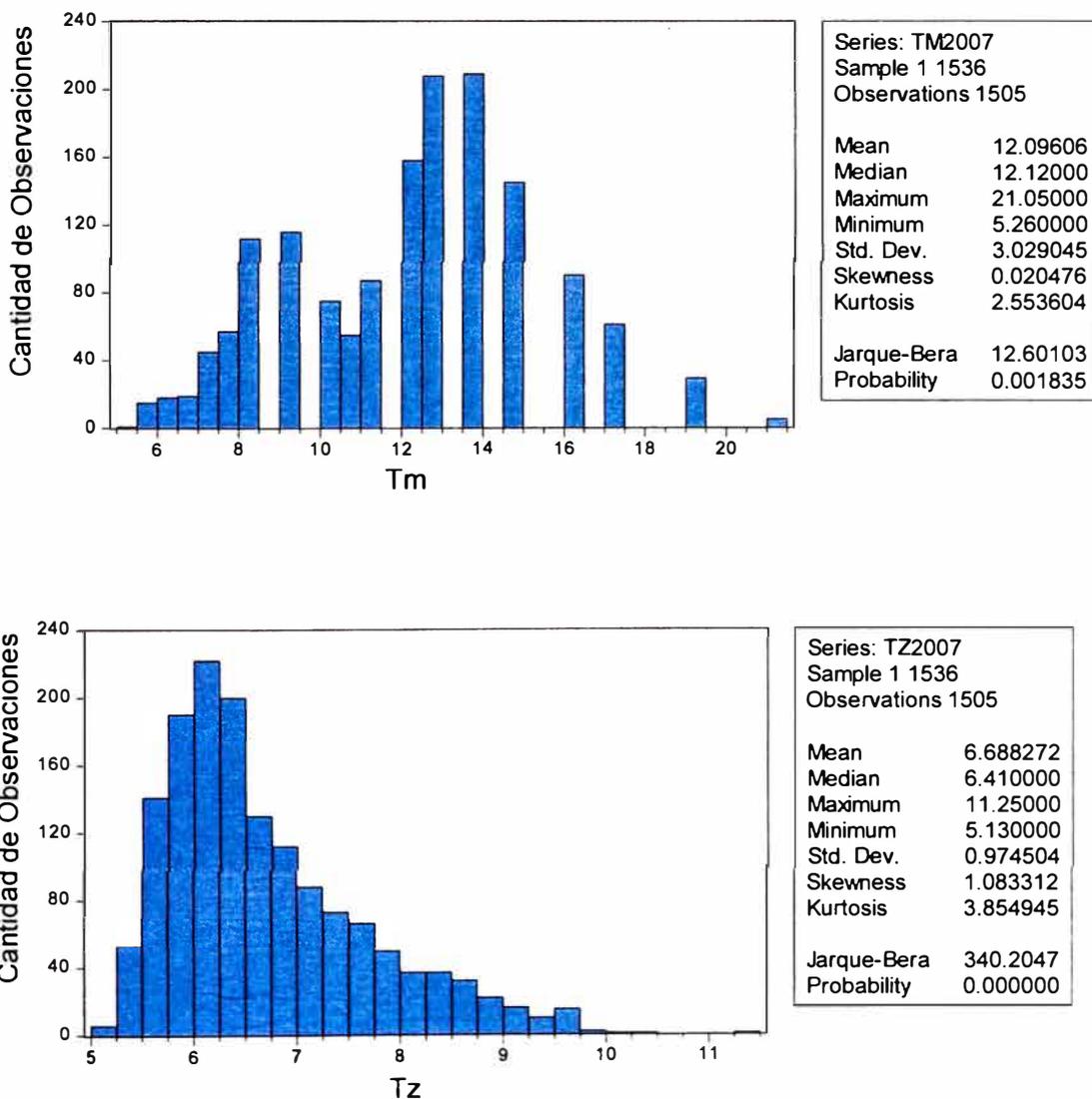


Figura 6. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2007.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2008.

	T_z2008	T_m2008
Mean	7.369082	12.87252
Median	7.120000	12.90000
Maximum	13.42000	23.53000
Minimum	4.810000	4.350000
Std. Dev.	1.194542	2.553960
Skewness	0.988469	-0.446885
Kurtosis	4.178416	3.279017
Jarque-Bera	1915.730	317.0636
Probability	0.000000	0.000000
Observations	8680	8680

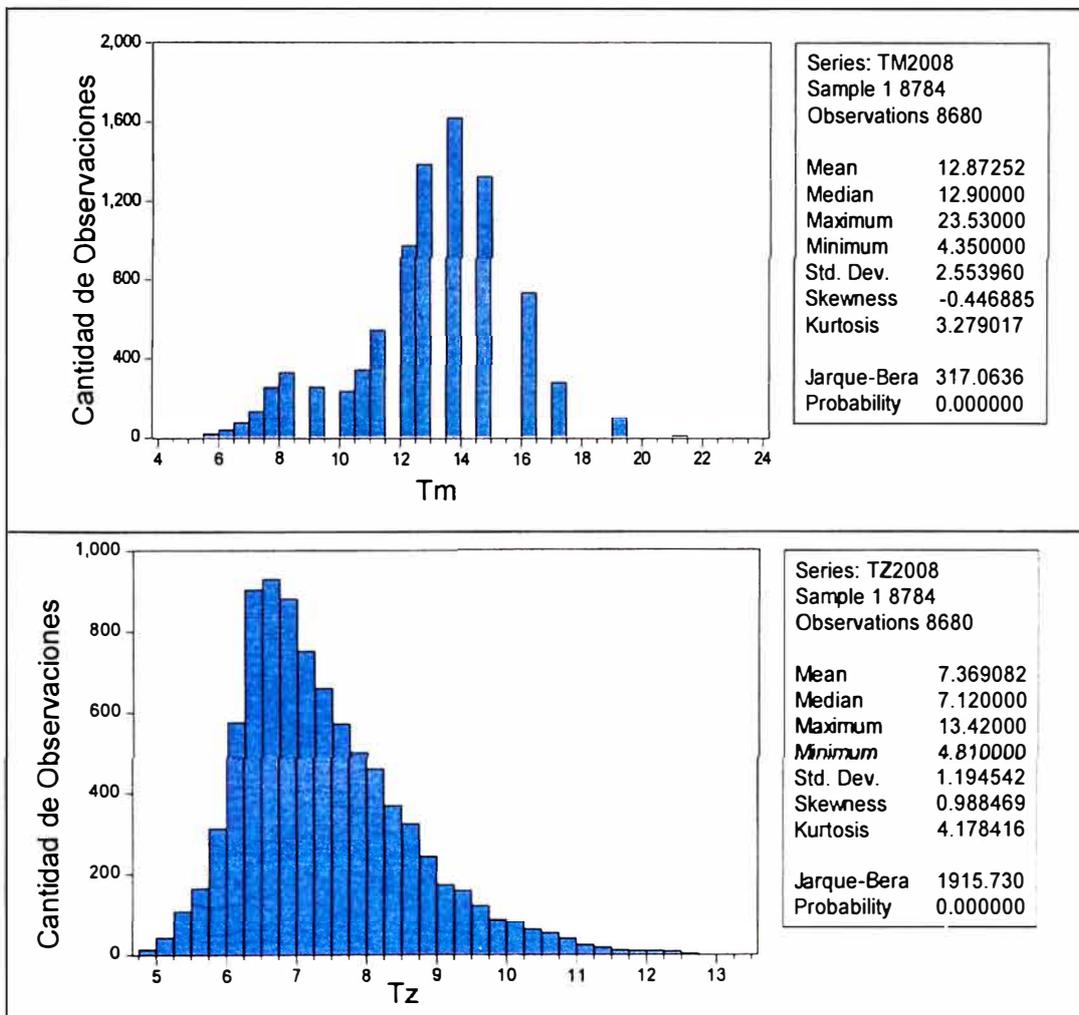


Figura 7. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2008.

Tabla 6. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2009.

	T_z2009	T_m2009
Mean	7.084287	12.49813
Median	6.840000	12.90000
Maximum	13.72000	23.53000
Minimum	4.830000	4.760000
Std. Dev.	1.101965	2.915426
Skewness	1.199724	-0.260692
Kurtosis	5.018888	2.798732
Jarque-Bera	3561.689	113.1357
Probability	0.000000	0.000000
Observations	8693	8693

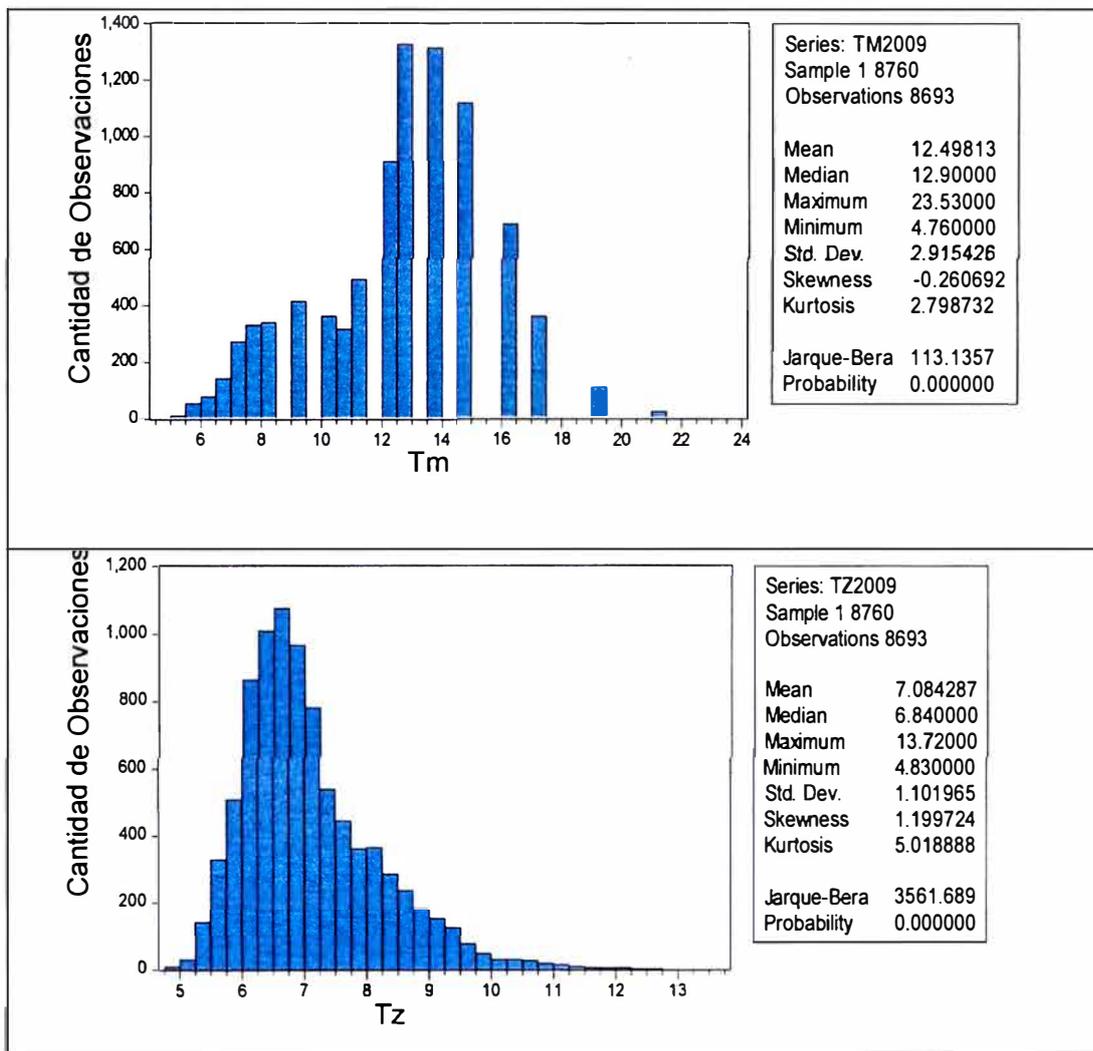


Figura 8. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables T_m y T_z en el año 2009.

Tabla 7. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2010.

	Tm2010	Tz2010
Mean	12.94151	7.461715
Median	13.79000	7.130000
Maximum	21.05000	12.20000
Minimum	5.000000	4.160000
Std. Dev.	2.961060	1.318073
Skewness	-0.460025	1.247205
Kurtosis	2.656437	4.218122
Jarque-Bera	190.9768	1525.769
Probability	0.000000	0.000000
Observations	4752	4752

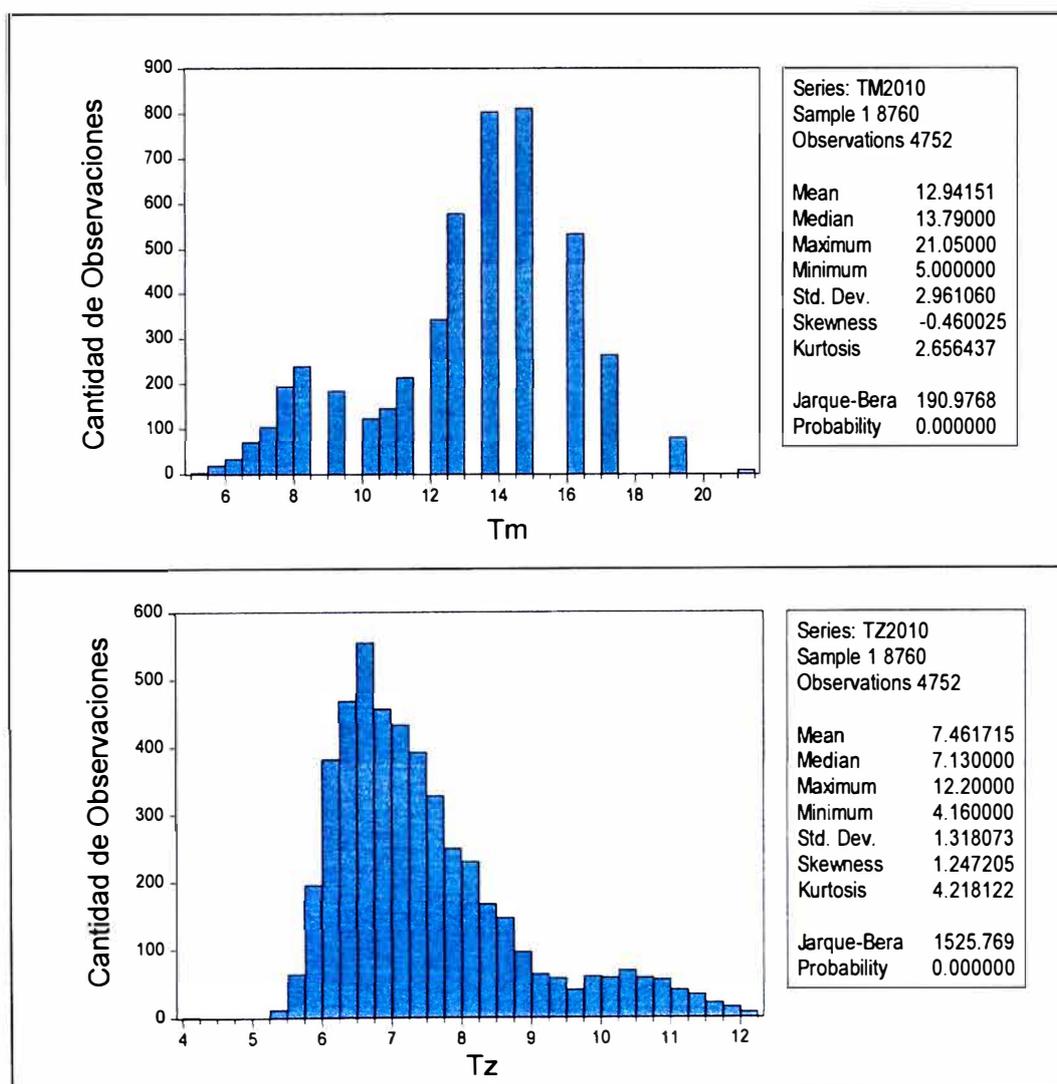


Figura 9. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2010.

Tabla 8. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2011.

	Tz2011	Tm2011
Mean	7.631560	12.78708
Median	7.270000	12.90000
Maximum	14.04000	23.53000
Minimum	5.260000	4.760000
Std. Dev.	1.409660	2.901226
Skewness	1.412150	-0.323556
Kurtosis	5.267158	2.941133
Jarque-Bera	3411.976	109.8296
Probability	0.000000	0.000000
Observations	6243	6243

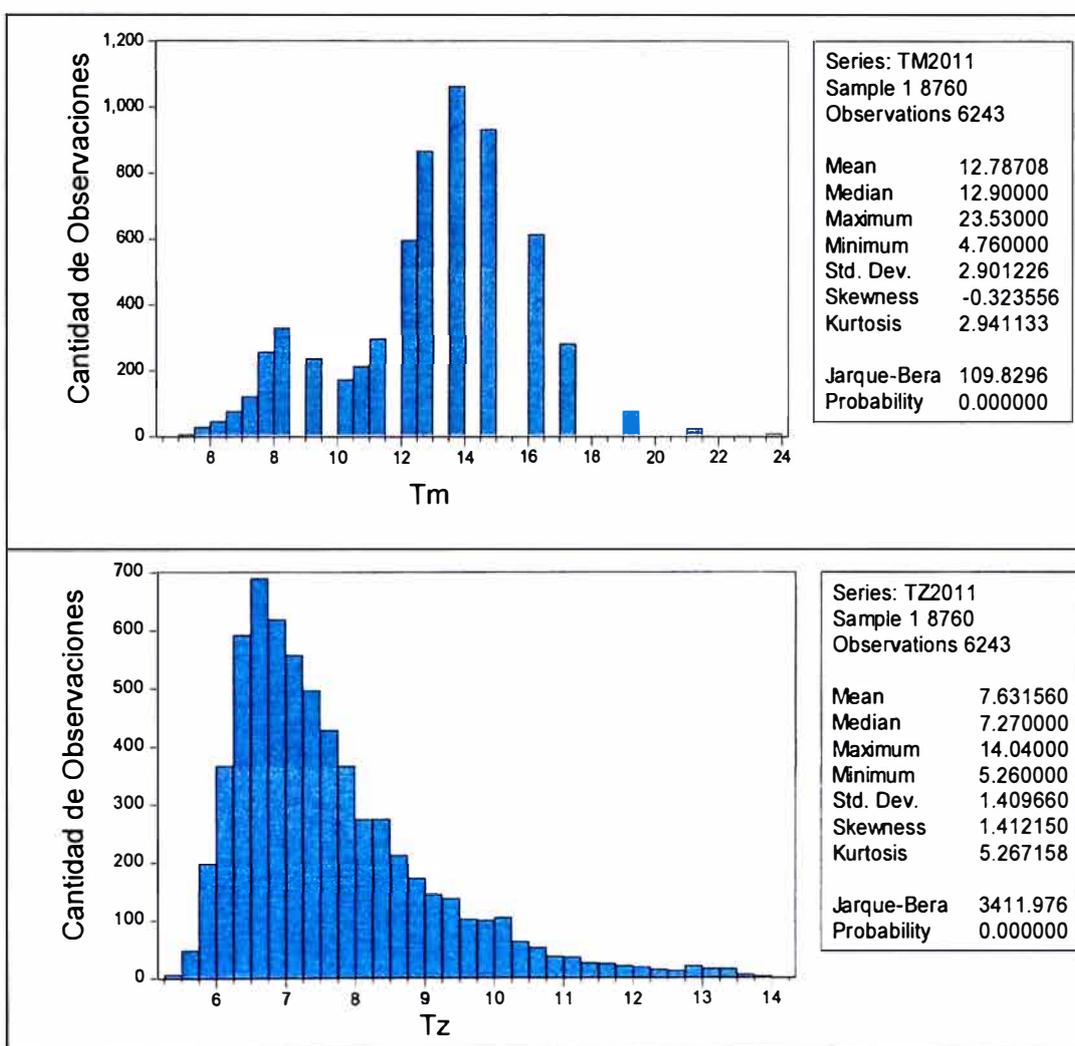


Figura 10. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2011.

Tabla 9. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2012.

	Tz2012	Tm2012
Mean	7.425261	12.57101
Median	7.090000	12.90000
Maximum	14.33000	21.05000
Minimum	4.860000	4.760000
Std. Dev.	1.359564	2.823935
Skewness	1.010634	-0.393780
Kurtosis	3.663870	2.743150
Jarque-Bera	1652.271	250.4996
Probability	0.000000	0.000000
Observations	8761	8761

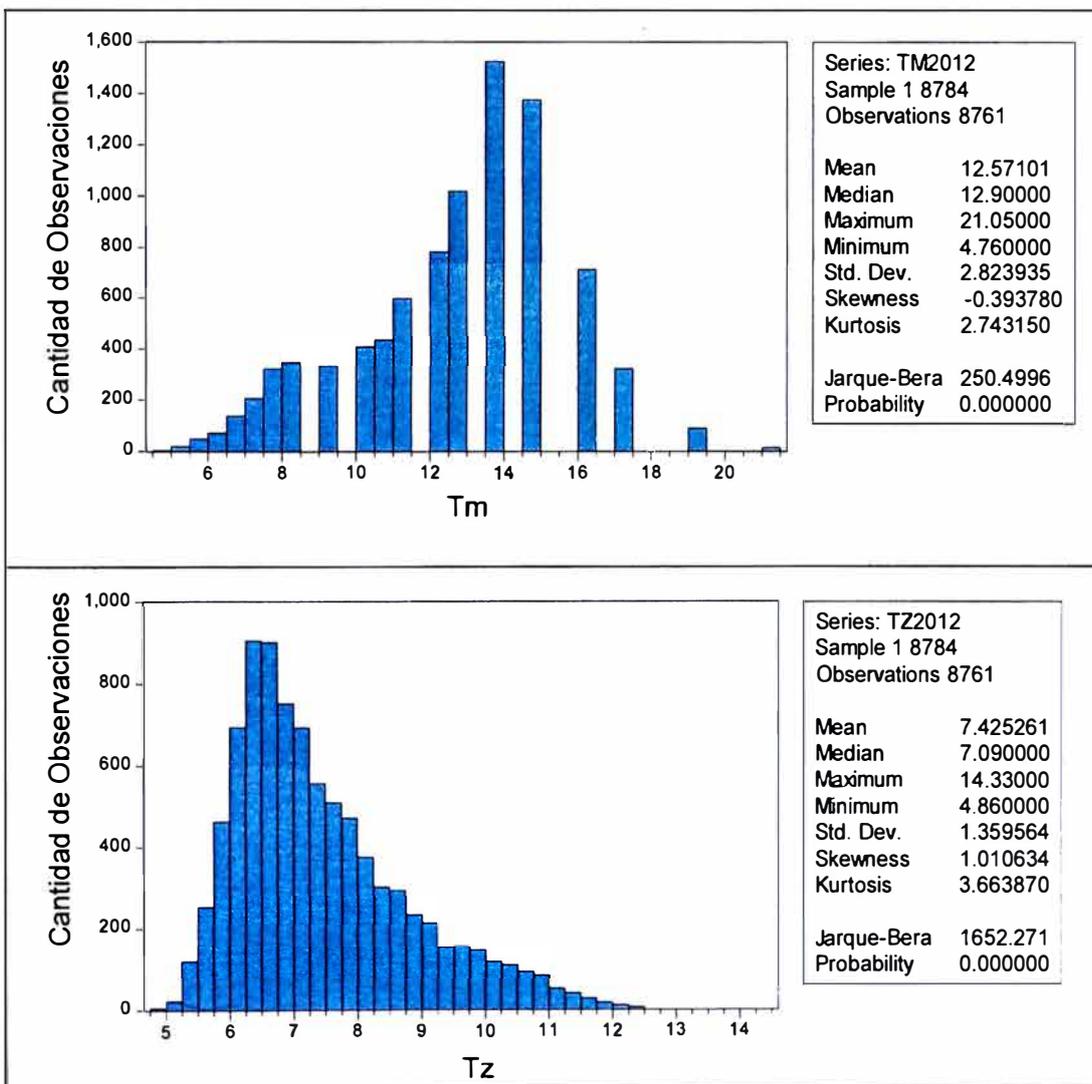


Figura 11. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2012.

Tabla 10. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2013.

	Tz2013	Tm2013
Mean	7.296332	12.67112
Median	6.960000	12.90000
Maximum	14.47000	23.53000
Minimum	4.850000	5.260000
Std. Dev.	1.285566	2.937618
Skewness	1.773965	-0.167299
Kurtosis	7.169181	2.727008
Jarque-Bera	10920.27	67.94893
Probability	0.000000	0.000000
Observations	8745	8745

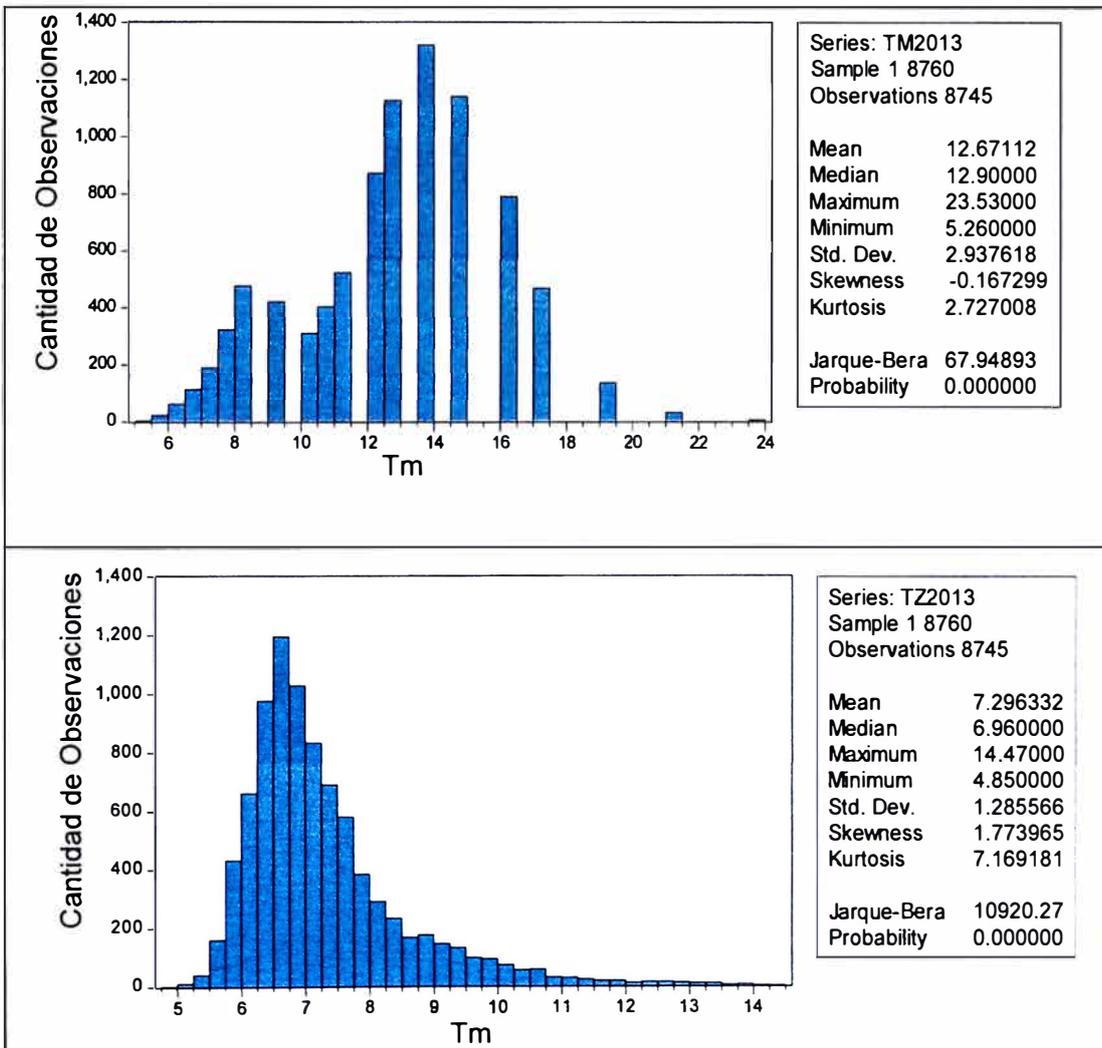


Figura 12. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2013.

Tabla 11. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2014.

	Tz2014	Tm2014
Mean	7.046922	11.79623
Median	6.820000	12.12000
Maximum	13.45000	21.05000
Minimum	4.190000	4.170000
Std. Dev.	1.322401	3.116481
Skewness	1.200178	-0.091669
Kurtosis	4.950757	2.273089
Jarque-Bera	3431.025	201.5521
Probability	0.000000	0.000000
Observations	8607	8607

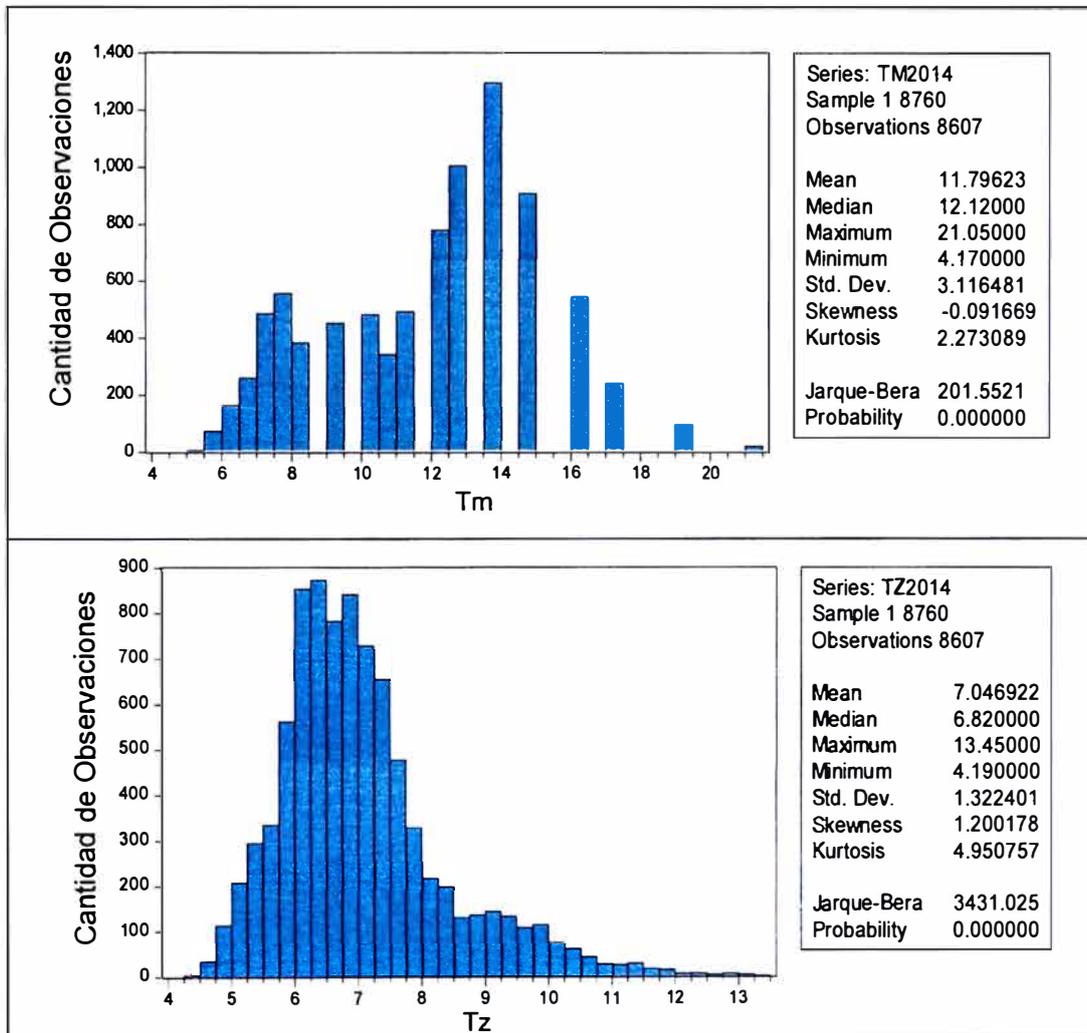


Figura 13. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2014.

Tabla 12. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2015.

	Tz2015	Tm2015
Mean	7.152840	13.00273
Median	6.810000	13.79000
Maximum	13.52000	23.53000
Minimum	4.980000	5.000000
Std. Dev.	1.262923	2.802685
Skewness	1.304186	-0.517372
Kurtosis	4.672992	3.249167
Jarque-Bera	3492.512	412.0013
Probability	0.000000	0.000000
Observations	8729	8729

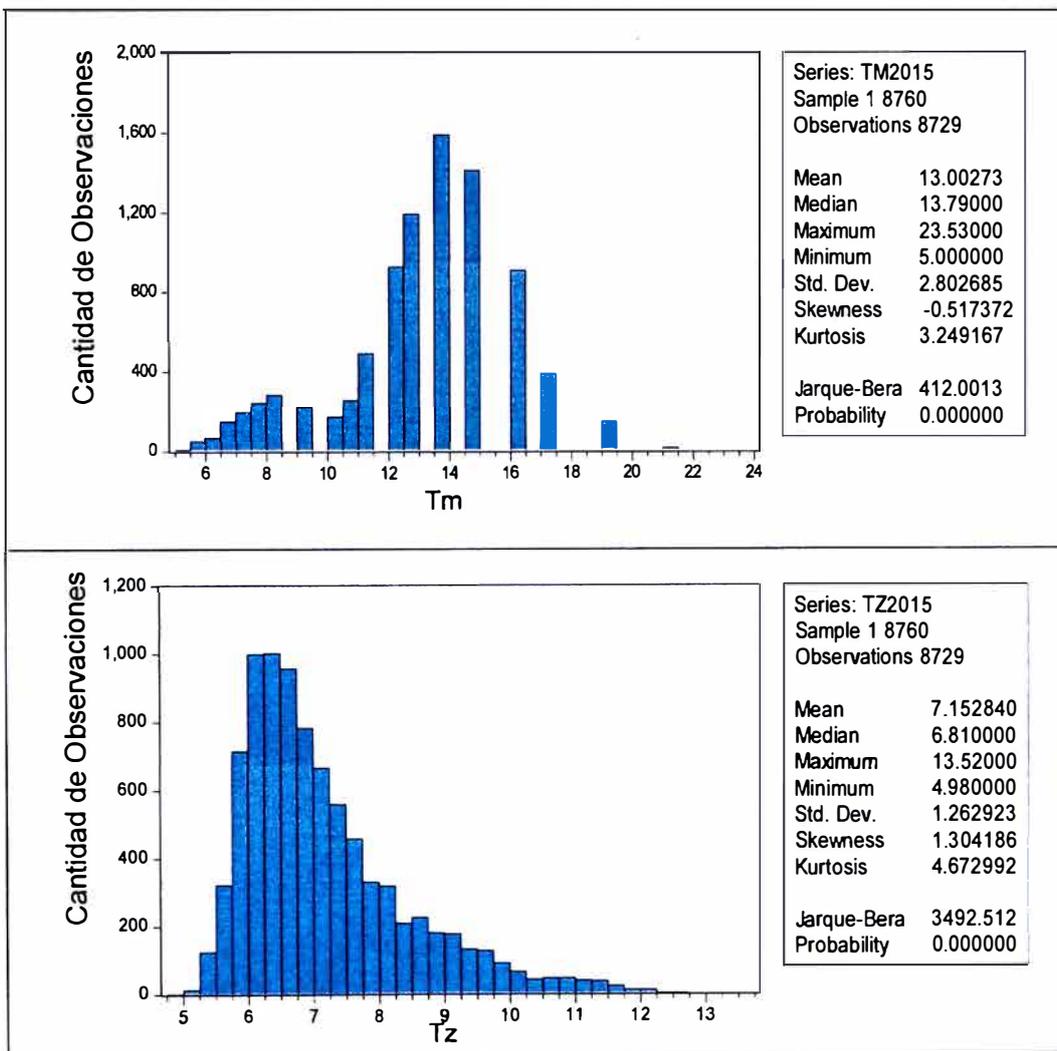


Figura 14. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2015.

Tabla 13. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2016.

	Tz2016	Tm2016
Mean	7.418226	13.03004
Median	7.160000	13.79000
Maximum	12.76000	21.05000
Minimum	4.780000	4.170000
Std. Dev.	1.266558	2.957097
Skewness	0.817297	-0.361664
Kurtosis	3.325482	2.903669
Jarque-Bera	1012.521	194.0899
Probability	0.000000	0.000000
Observations	8748	8748

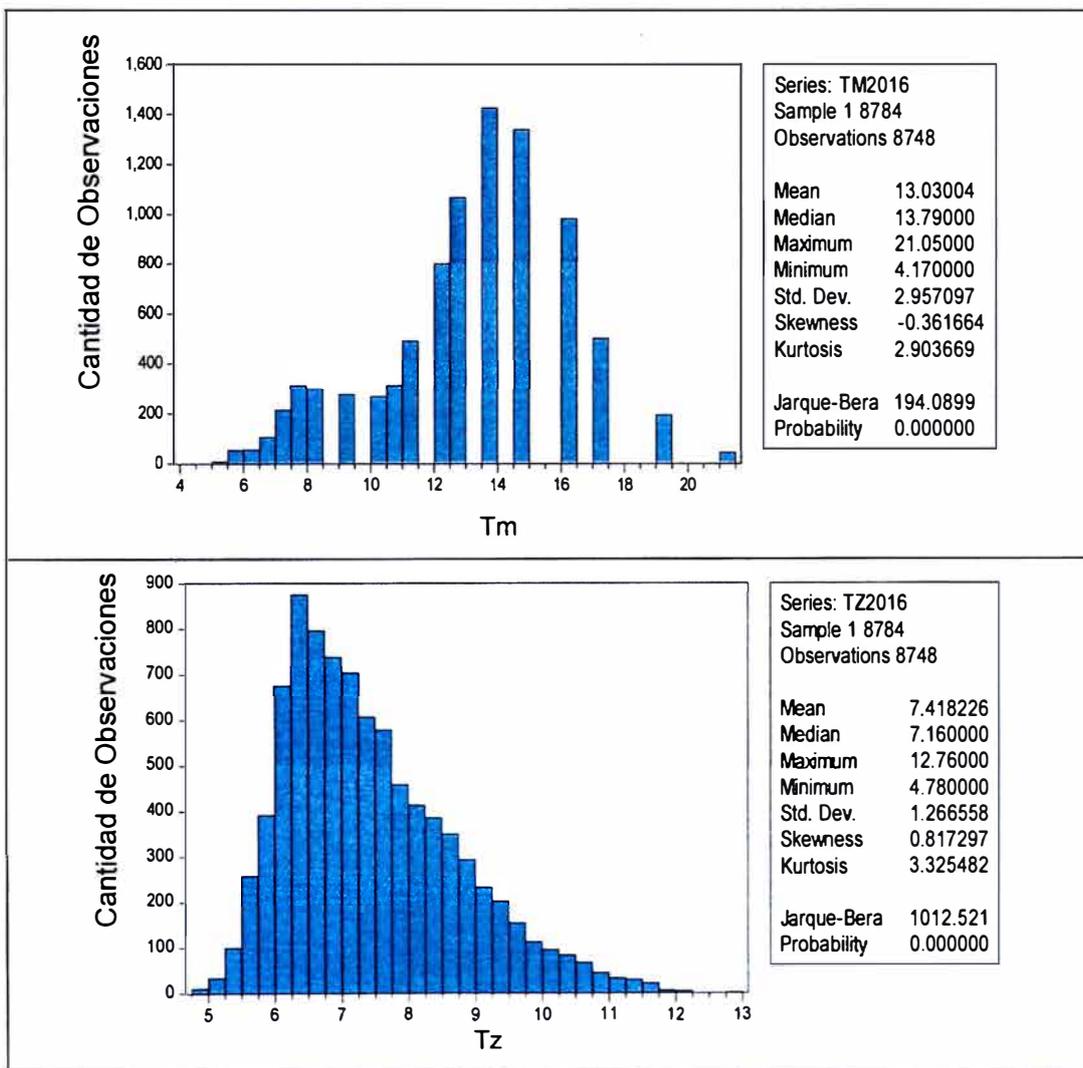


Figura 15. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2016.

Tabla 14. Estadísticas descriptivas de la data utilizada en la prueba de hipótesis para el año 2017.

	Tz2017	Tm2017
Mean	7.166217	12.48273
Median	6.940000	12.90000
Maximum	12.37000	23.53000
Minimum	4.810000	4.170000
Std. Dev.	1.147123	3.078357
Skewness	0.952290	-0.224575
Kurtosis	3.824975	2.572186
Jarque-Bera	1556.987	139.0589
Probability	0.000000	0.000000
Observations	8674	8674

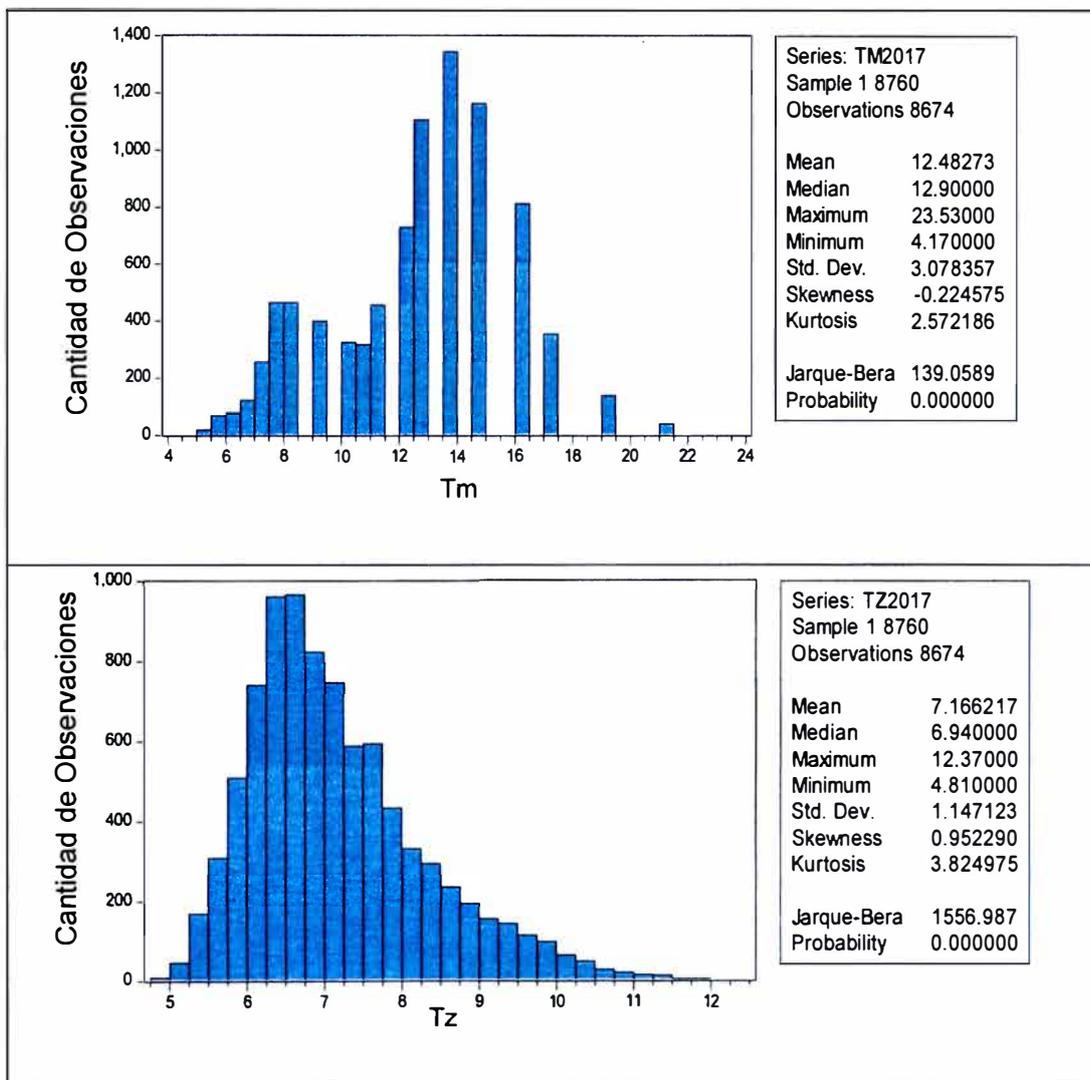


Figura 16. Distribuciones y estadísticas descriptivas de las variables Tm y Tz en el año 2017.

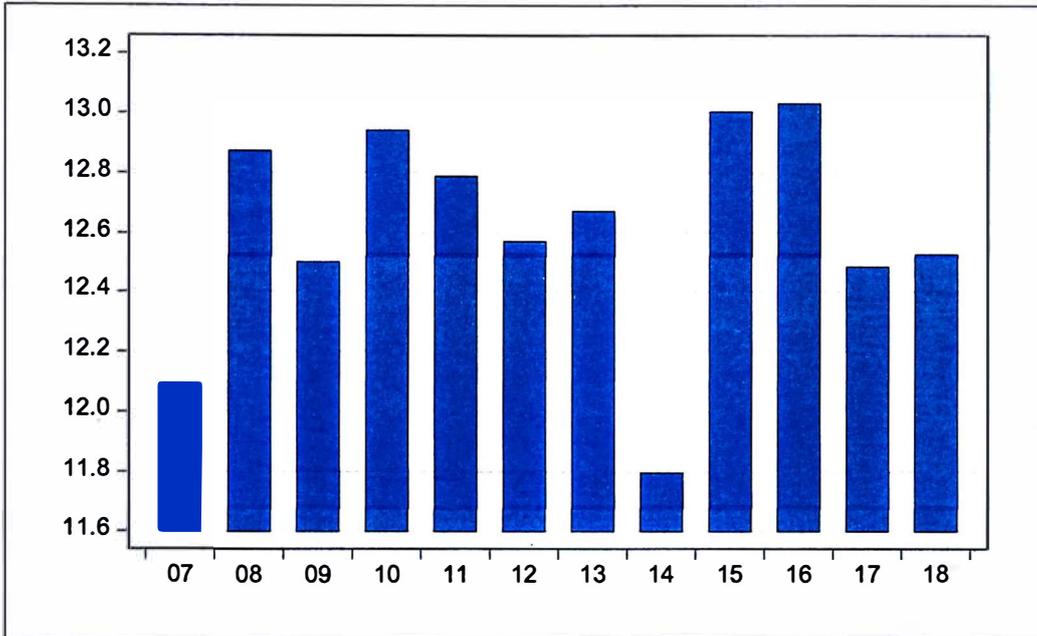


Figura 17. Variación anual del Periodo modal, T_m

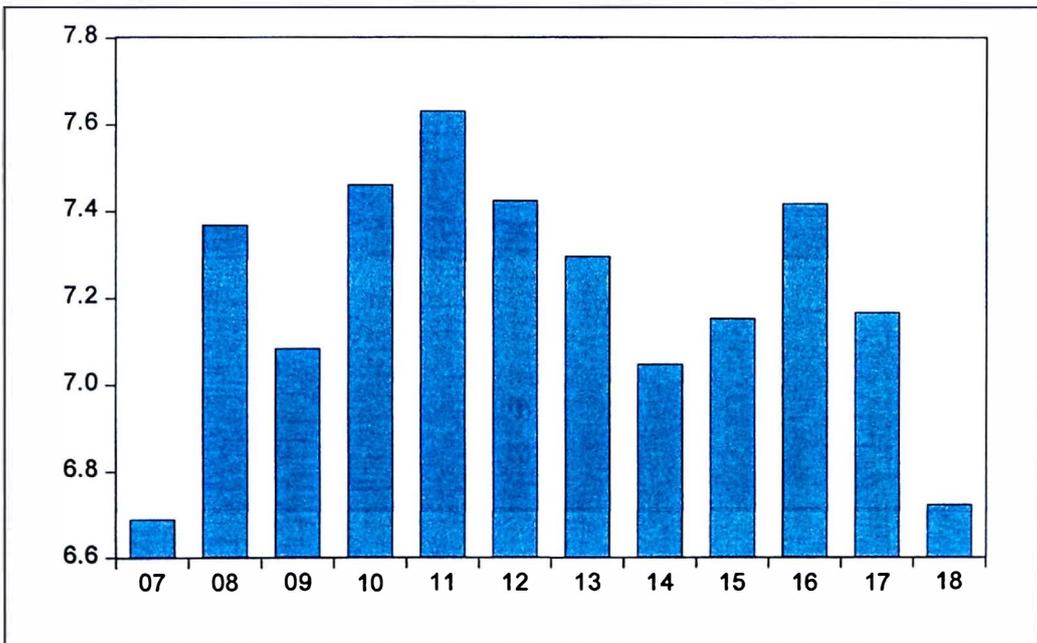


Figura 18. Variación anual del Periodo de cruce cero hacia arriba, T_z

De las gráficas anteriores, para cada año, se resalta que las distribuciones de los periodos en estudio no siguen una distribución normal. También, los promedios como las medianas de ambos periodos en cada año no difieren en más de una unidad. Por lo tanto, como valores promedio se tomarán las medianas.

El rango de distribución del Periodo modal está comprendido entre 5s hasta 24 segundos, mientras que el rango del Periodo de cruce cero está comprendido entre 4s y 14 segundos.

La variación anual promedio del Periodo modal está comprendido entre 11.8s hasta 14 s, mientras que la variación del Periodo de cruce cero está comprendido entre 6.7s hasta 7.6 segundos.

Capítulo V. Resultados Y Discusión

5.1 Resultados Para El Año 2007.

Modelo funcional para el año 2007:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 15. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2007.

<pre> Estimation Command: ===== LS TM2007=C(1)+C(2)*TZ2007 Estimation Equation: ===== TM2007=C(1)+C(2)*TZ2007 Substituted Coefficients: ===== TM2007=0.604092462732+1.71822656245*TZ2007 </pre>

Tabla 16. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2007.

Dependent Variable: TM2007 Method: Least Squares Date: 05/12/20 Time: 18:21 Sample (adjusted): 18 1536 Included observations: 1505 after adjustments TM2007=C(1)+C(2)*TZ2007				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	0.604092	0.451573	1.337751	0.1812
C(2)	1.718227	0.066812	25.71727	0.0000
R-squared	0.305574	Mean dependent var	12.09606	
Adjusted R-squared	0.305112	S.D. dependent var	3.029045	
S.E. of regression	2.525010	Akaike info criterion	4.691695	
Sum squared resid	9582.637	Schwarz criterion	4.698760	
Log likelihood	-3528.500	Hannan-Quinn criter.	4.694326	
F-statistic	661.3781	Durbin-Watson stat	0.674913	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 17. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2008.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	0.604092	-0.281688	1.489873	-0.560562	1.768747
C(2)	1.718227	1.587172	1.849282	1.545911	1.890542

El coeficiente del intercepto no es significativo ya que puede cambiar de signo pasando por tener valor cero.

El coeficiente de la variable independiente es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

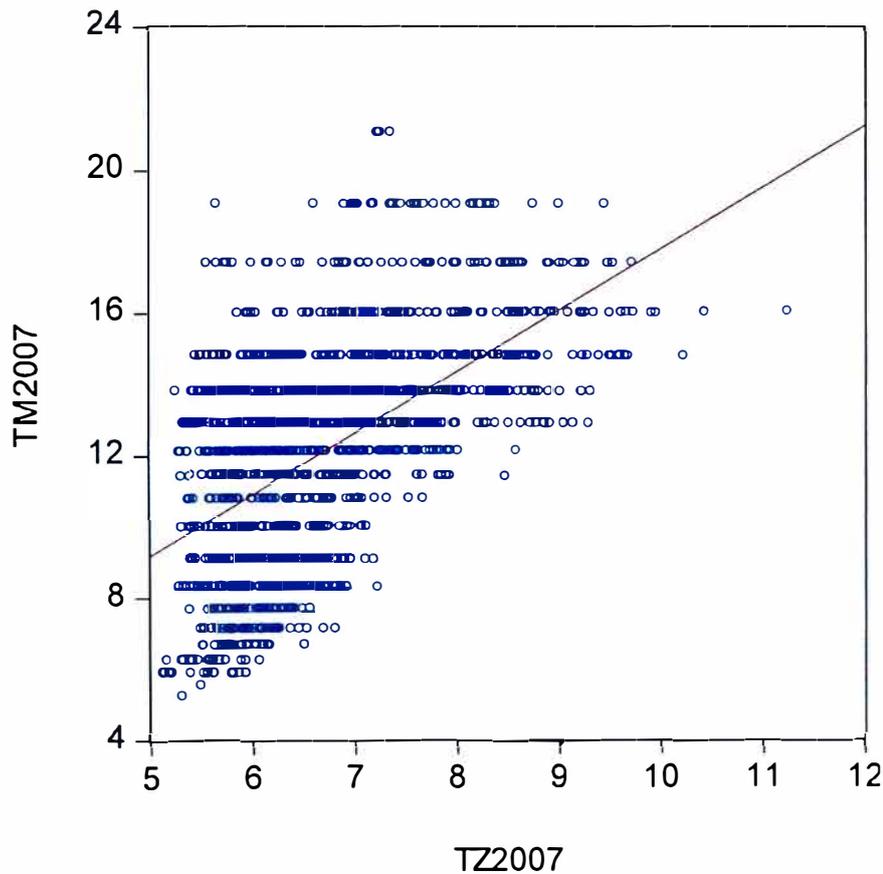


Figura 19. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2007.

5.2 Resultados Para El Año 2008.

Modelo funcional para el año 2008:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 18. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2008.

<p>Estimation Command: =====</p> <p>LS TM2008 = C(1)+C(2)*TZ2008</p> <p>Estimation Equation: =====</p> <p>TM2008 = C(1)+C(2)*TZ2008</p> <p>Substituted Coefficients: =====</p> <p>TM2008 = 6.51060369533+0.863325766917*TZ2008</p>

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 19. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2008.

<p>Dependent Variable: TM2008 Method: Least Squares Date: 05/15/20 Time: 12:19 Sample (adjusted): 1 8783 Included observations: 8680 after adjustments TM2008 = C(1)+C(2)*TZ2008</p>				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	6.510604	0.156746	41.53592	0.0000
C(2)	0.863326	0.020997	41.11709	0.0000
R-squared	0.163051	Mean dependent var	12.87252	
Adjusted R-squared	0.162955	S.D. dependent var	2.553960	
S.E. of regression	2.336622	Akaike info criterion	4.535520	
Sum squared resid	47380.18	Schwarz criterion	4.537149	
Log likelihood	-19682.16	Hannan-Quinn criter.	4.536076	
F-statistic	1690.615	Durbin-Watson stat	0.712080	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 20. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2008.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	6.510604	6.203344	6.817864	6.106763	6.914444
C(2)	0.863326	0.822167	0.904484	0.809230	0.917422

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%. (mismo texto que la parte de arriba)

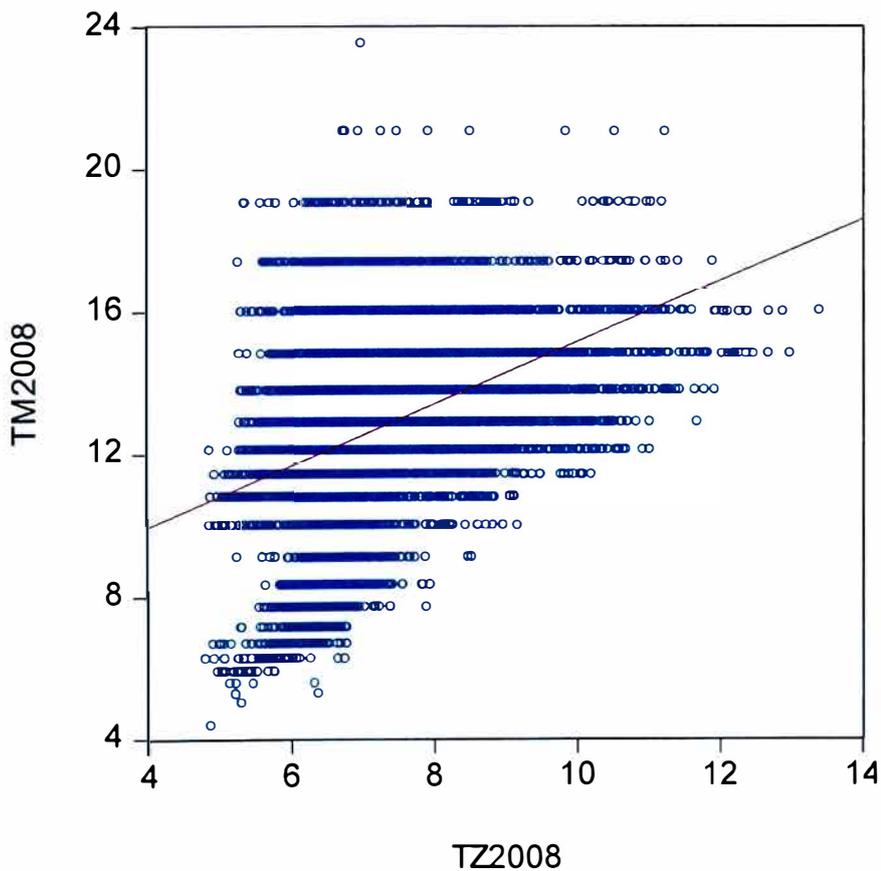


Figura 20. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2008.

5.3 Resultados Para El Año 2009.

Modelo funcional para el año 2009:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 21. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2009.

<p>Estimation Command: =====</p> <p>LS TM2009=C(1)+C(2)*TZ2009</p> <p>Estimation Equation: =====</p> <p>TM2009=C(1)+C(2)*TZ2009</p> <p>Substituted Coefficients: =====</p> <p>TM2009=3.24222987706+1.30653975993*TZ2009</p>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 22. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2009.

Dependent Variable: TM2009				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/20 Time: 12:39				
Sample: 1 8760				
Included observations: 8693				
TM2009=C(1)+C(2)*TZ2009				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	3.242230	0.176922	18.32575	0.0000
C(2)	1.306540	0.024677	52.94535	0.0000
R-squared	0.243880	Mean dependent var	12.49813	
Adjusted R-squared	0.243793	S.D. dependent var	2.915426	
S.E. of regression	2.535259	Akaike info criterion	4.698699	
Sum squared resid	55861.74	Schwarz criterion	4.700325	
Log likelihood	-20420.89	Hannan-Quinn criter.	4.699253	
F-statistic	2803.210	Durbin-Watson stat	0.727444	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 23. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2009.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	3.242230	2.895421	3.589039	2.786409	3.698051
C(2)	1.306540	1.258167	1.354913	1.242962	1.370118

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

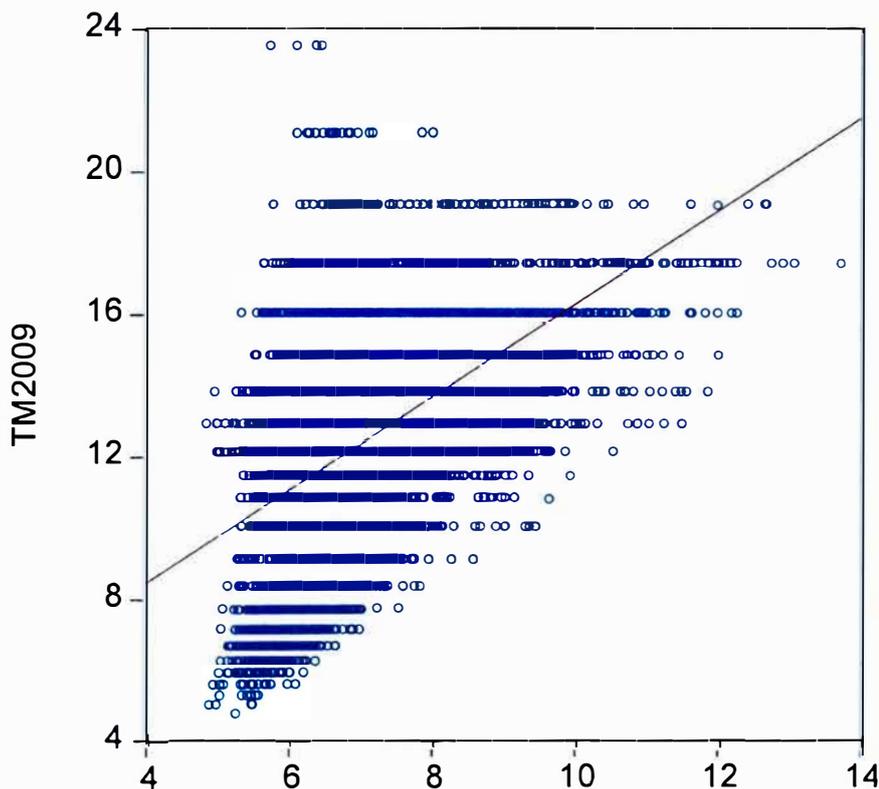


Figura 21. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2009.

5.4 Resultados Para El Año 2010.

Modelo funcional para el año 2010:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 24. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2010.

<pre> Estimation Command: ===== LS TM2010=C(1)+C(2)*TZ2010 Estimation Equation: ===== TM2010=C(1)+C(2)*TZ2010 Substituted Coefficients: ===== TM2010=5.18076358762+1.04007497959*TZ2010 </pre>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 25. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2010.

Dependent Variable: TM2010				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/20 Time: 12:51				
Sample (adjusted): 1 4846				
Included observations: 4752 after adjustments				
TM2010=C(1)+C(2)*TZ2010				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	5.180764	0.218920	23.66506	0.0000
C(2)	1.040075	0.028892	35.99879	0.0000
R-squared	0.214345	Mean dependent var	12.94151	
Adjusted R-squared	0.214180	S.D. dependent var	2.961060	
S.E. of regression	2.624876	Akaike info criterion	4.768365	
Sum squared resid	32727.37	Schwarz criterion	4.771086	
Log likelihood	-11327.64	Hannan-Quinn criter.	4.769321	
F-statistic	1295.913	Durbin-Watson stat	0.812182	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 26. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2010.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	5.180764	4.751578	5.609949	4.616635	5.744892
C(2)	1.040075	0.983433	1.096717	0.965624	1.114526

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%. Todos los análisis son lo mismo

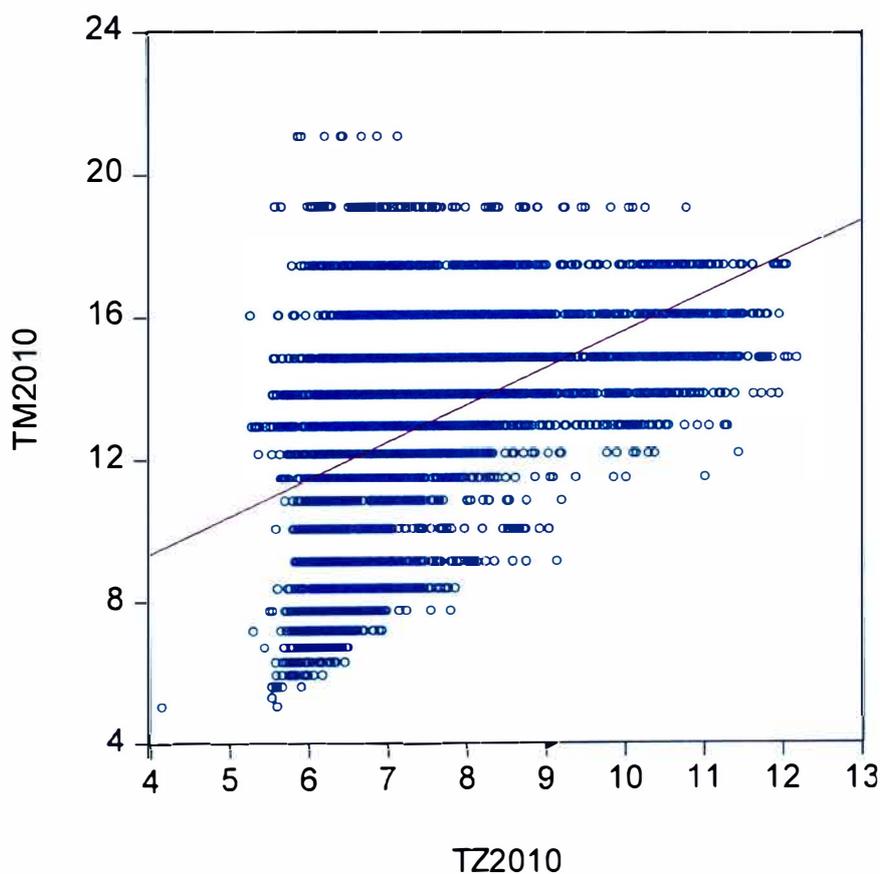


Figura 22. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2010.

5.5 Resultados Para El Año 2011.

Modelo funcional para el año 2011:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 27. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2011.

<p>Estimation Command: =====</p> <p>LS TM2011=C(1)+C(2)*TZ2011</p> <p>Estimation Equation: =====</p> <p>TM2011=C(1)+C(2)*TZ2011</p> <p>Substituted Coefficients: =====</p> <p>TM2011=3.99980224174+1.15143880341*TZ2011</p>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 28. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2011.

Dependent Variable: TM2011				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/20 Time: 13:05				
Sample (adjusted): 2469 8760				
Included observations: 6243 after adjustments				
TM2011=C(1)+C(2)*TZ2011				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	3.999802	0.167577	23.86839	0.0000
C(2)	1.151439	0.021593	53.32404	0.0000
R-squared	0.313002	Mean dependent var	12.78708	
Adjusted R-squared	0.312892	S.D. dependent var	2.901226	
S.E. of regression	2.404884	Akaike info criterion	4.593201	
Sum squared resid	36094.61	Schwarz criterion	4.595360	
Log likelihood	-14335.68	Hannan-Quinn criter.	4.593949	
F-statistic	2843.453	Durbin-Watson stat	0.774987	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 29. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2011.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	3.999802	3.671293	4.328312	3.568019	4.431585
C(2)	1.151439	1.109109	1.193769	1.095801	1.207076

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

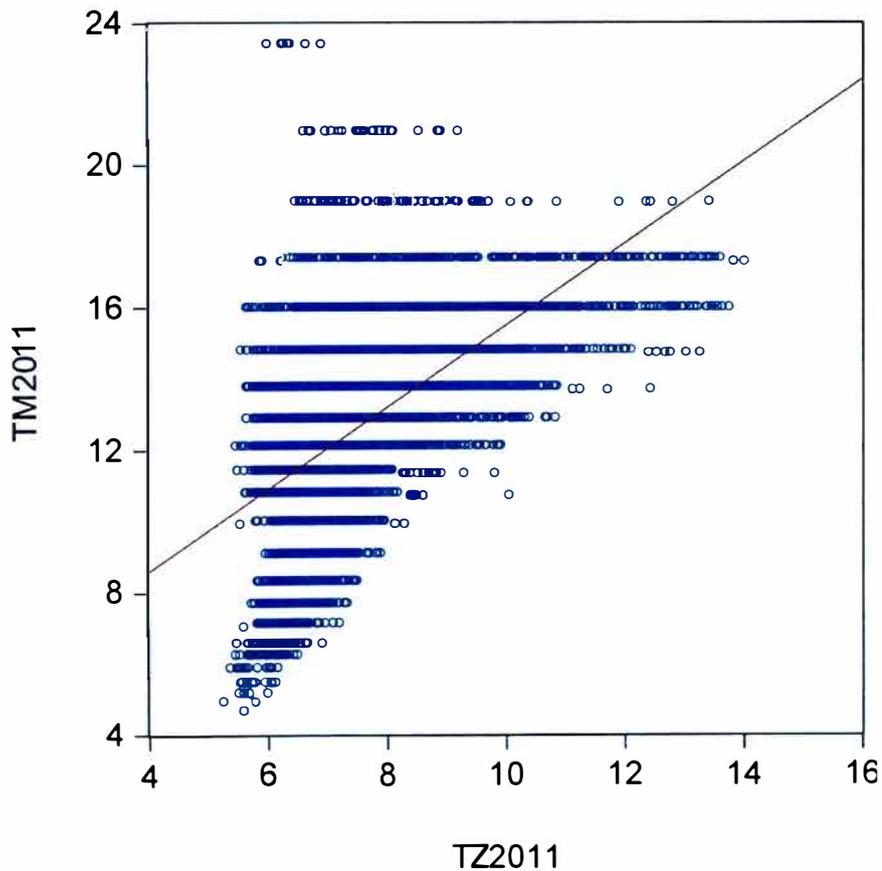


Figura 23. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2011.

5.6 Resultados Para El Año 2012.

Modelo funcional para el año 2012:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 30. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2012.

<pre> Estimation Command: ===== LS TM2012=C(1)+C(2)*TZ2012 Estimation Equation: ===== TM2012=C(1)+C(2)*TZ2012 Substituted Coefficients: ===== TM2012=5.10384266957+1.00564364454*TZ2012 </pre>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 31. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2012.

Dependent Variable: TM2012 Method: Least Squares Date: 05/15/20 Time: 13:17 Sample: 1 8784 Included observations: 8761 TM2012=C(1)+C(2)*TZ2012				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	5.103843	0.146587	34.81772	0.0000
C(2)	1.005644	0.019419	51.78676	0.0000
R-squared	0.234411	Mean dependent var	12.57101	
Adjusted R-squared	0.234324	S.D. dependent var	2.823935	
S.E. of regression	2.471025	Akaike info criterion	4.647372	
Sum squared resid	53482.16	Schwarz criterion	4.648988	
Log likelihood	-20355.81	Hannan-Quinn criter.	4.647922	
F-statistic	2681.868	Durbin-Watson stat	0.789711	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 32. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2012.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	5.103843	4.816497	5.391189	4.726176	5.481509
C(2)	1.005644	0.967578	1.043709	0.955613	1.055674

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

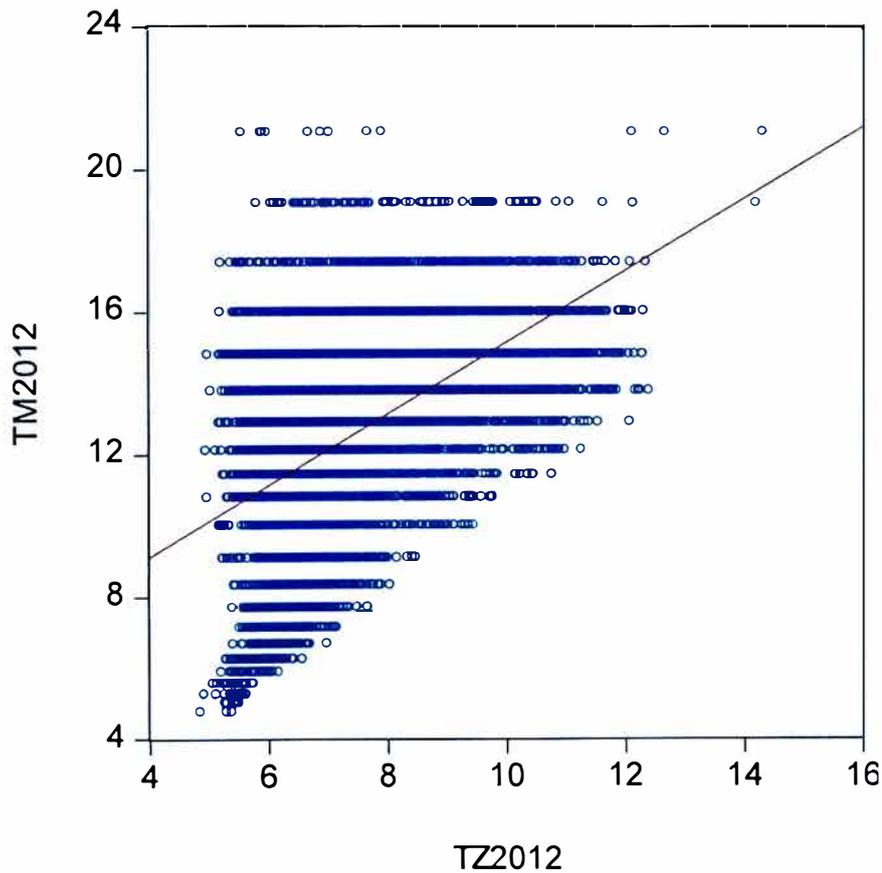


Figura 24. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2012.

5.7 Resultados Para El Año 2013.

Modelo funcional para el año 2013:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 33. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2013.

<p>Estimation Command: =====</p> <p>LS TM2013=C(1)+C(2)*TZ2013</p> <p>Estimation Equation: =====</p> <p>TM2013=C(1)+C(2)*TZ2013</p> <p>Substituted Coefficients: =====</p> <p>TM2013=5.20632692456+1.02308891558*TZ2013</p>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 34. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2013.

Dependent Variable: TM2013				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/20 Time: 13:37				
Sample: 1 8760				
Included observations: 8745				
TM2013=C(1)+C(2)*TZ2013				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	5.206327	0.161895	32.15864	0.0000
C(2)	1.023089	0.021852	46.81900	0.0000
R-squared	0.200459	Mean dependent var	12.67112	
Adjusted R-squared	0.200367	S.D. dependent var	2.937618	
S.E. of regression	2.626883	Akaike info criterion	4.769701	
Sum squared resid	60331.18	Schwarz criterion	4.771320	
Log likelihood	-20853.52	Hannan-Quinn criter.	4.770253	
F-statistic	2192.018	Durbin-Watson stat	0.706538	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 35. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2013.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	5.206327	4.888974	5.523679	4.789222	5.623432
C(2)	1.023089	0.980254	1.065924	0.966790	1.079388

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

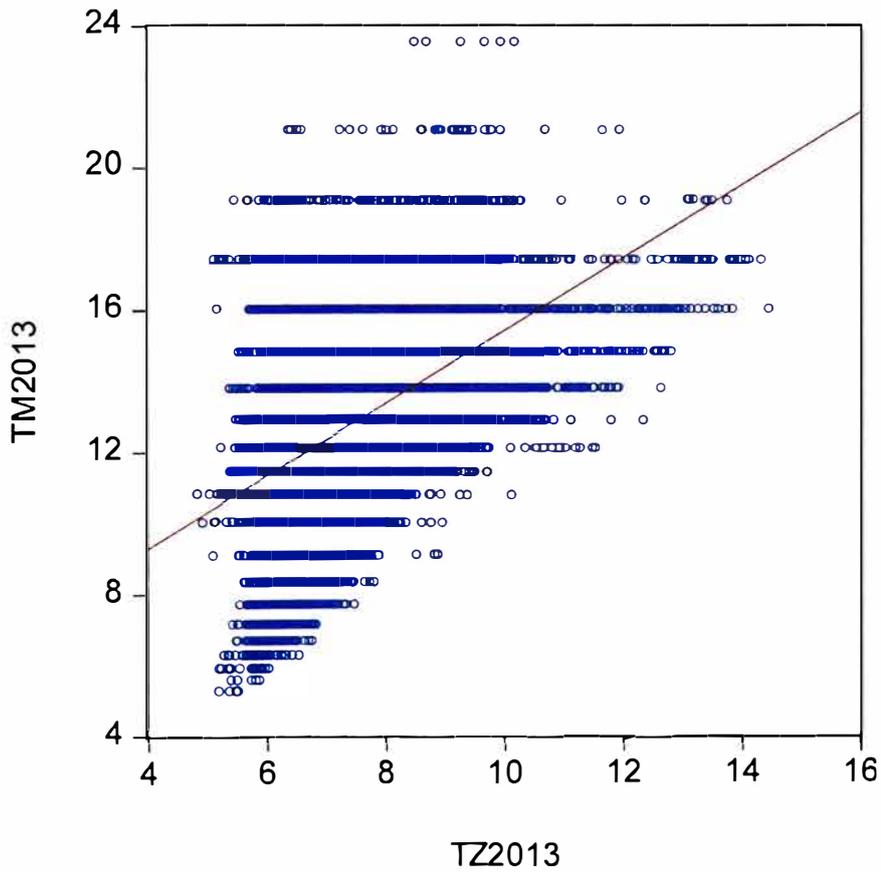


Figura 25. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2013.

5.8 Resultados Para El Año 2014

Modelo funcional para el año 2014:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 36. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2014.

<p>Estimation Command: =====</p> <p>LS TM2014=C(1)+C(2)*TZ2014</p> <p>Estimation Equation: =====</p> <p>TM2014=C(1)+C(2)*TZ2014</p> <p>Substituted Coefficients: =====</p> <p>TM2014=3.03393724581+1.24342103778*TZ2014</p>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 37. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2014.

Dependent Variable: TM2014				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/20 Time: 13:47				
Sample: 1 8760				
Included observations: 8607				
TM2014=C(1)+C(2)*TZ2014				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	3.033937	0.154737	19.60702	0.0000
C(2)	1.243421	0.021581	57.61519	0.0000
R-squared	0.278377	Mean dependent var	11.79623	
Adjusted R-squared	0.278293	S.D. dependent var	3.116481	
S.E. of regression	2.647555	Akaike info criterion	4.785382	
Sum squared resid	60317.14	Schwarz criterion	4.787023	
Log likelihood	-20591.89	Hannan-Quinn criter.	4.785942	
F-statistic	3319.510	Durbin-Watson stat	0.808587	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 38. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2014.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	3.033937	2.730615	3.337260	2.635272	3.432603
C(2)	1.243421	1.201116	1.285726	1.187818	1.299024

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

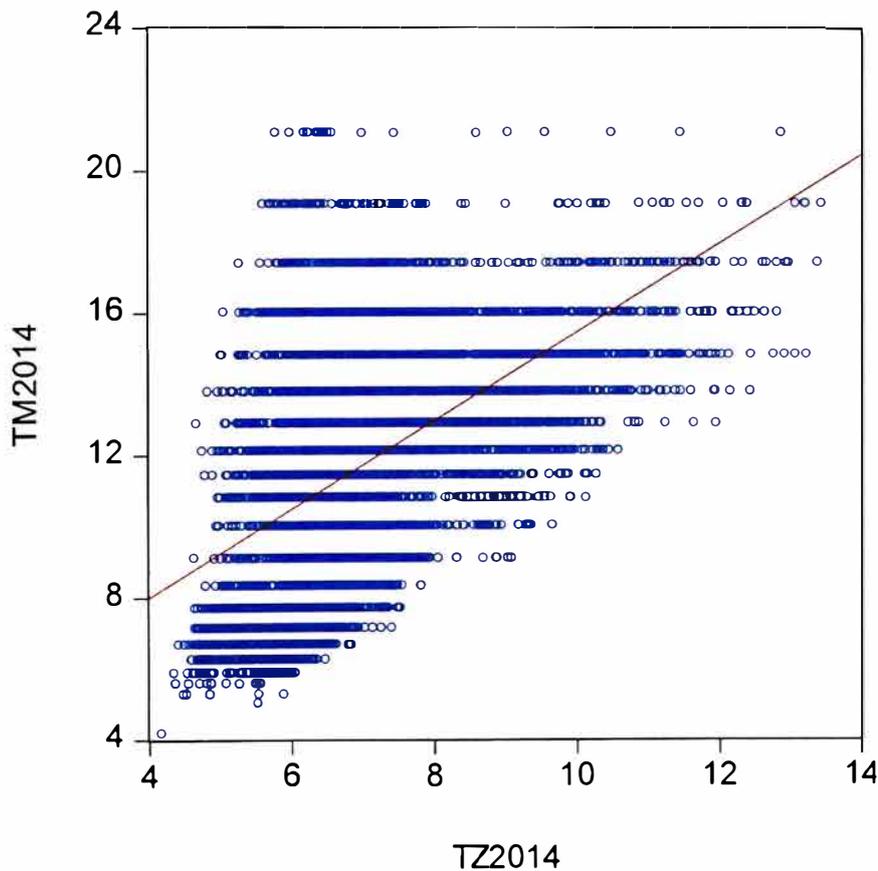


Figura 26. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2014.

5.9 Resultados Para El Año 2015.

Modelo funcional para el año 2015:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 39. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2015.

<p>Estimation Command: =====</p> <p>LS TM2015=C(1)+C(2)*TZ2015</p> <p>Estimation Equation: =====</p> <p>TM2015=C(1)+C(2)*TZ2015</p> <p>Substituted Coefficients: =====</p> <p>TM2015=6.0701820631+0.969201676617*TZ2015</p>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 40. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2015.

Dependent Variable: TM2015				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/20 Time: 13:55				
Sample: 1 8760				
Included observations: 8729				
TM2015=C(1)+C(2)*TZ2015				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	6.070182	0.155222	39.10640	0.0000
C(2)	0.969202	0.021370	45.35280	0.0000
R-squared	0.190736	Mean dependent var	13.00273	
Adjusted R-squared	0.190644	S.D. dependent var	2.802685	
S.E. of regression	2.521414	Akaike info criterion	4.687746	
Sum squared resid	55482.16	Schwarz criterion	4.689367	
Log likelihood	-20457.67	Hannan-Quinn criter.	4.688298	
F-statistic	2056.876	Durbin-Watson stat	0.839993	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 41. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2015.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	6.070182	5.765910	6.374454	5.670269	6.470095
C(2)	0.969202	0.927311	1.011092	0.914143	1.024260

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

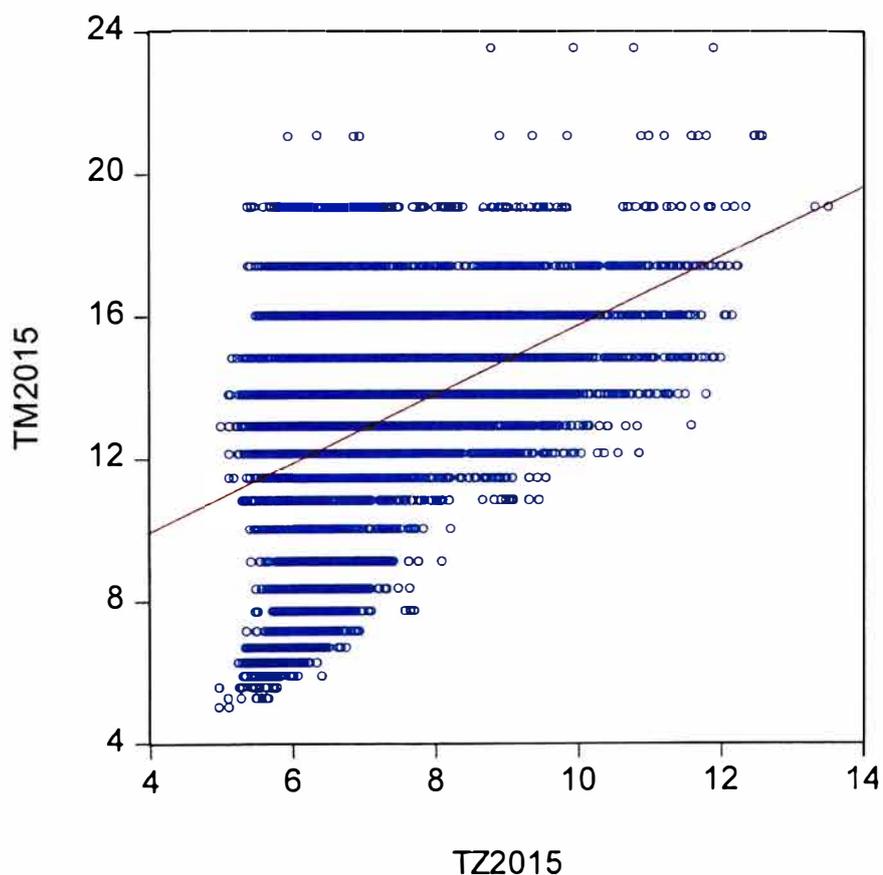


Figura 27. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2015.

5.10 Resultados Para El Año 2016.

Modelo funcional para el año 2016:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 42. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2016.

<p>Estimation Command: =====</p> <p>LS TM2016=C(1)+C(2)*TZ2016</p> <p>Estimation Equation: =====</p> <p>TM2016=C(1)+C(2)*TZ2016</p> <p>Substituted Coefficients: =====</p> <p>TM2016=5.04025998164+1.07704697461*TZ2016</p>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 43. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2016.

Dependent Variable: TM2016				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/20 Time: 14:07				
Sample: 1 8784				
Included observations: 8748				
TM2016=C(1)+C(2)*TZ2016				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	5.040260	0.166692	30.23696	0.0000
C(2)	1.077047	0.022150	48.62489	0.0000
R-squared	0.212808	Mean dependent var	13.03004	
Adjusted R-squared	0.212718	S.D. dependent var	2.957097	
S.E. of regression	2.623800	Akaike info criterion	4.767353	
Sum squared resid	60210.31	Schwarz criterion	4.768971	
Log likelihood	-20850.40	Hannan-Quinn criter.	4.767904	
F-statistic	2364.380	Durbin-Watson stat	0.696963	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 44. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2016.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	5.040260	4.713504	5.367016	4.610796	5.469724
C(2)	1.077047	1.033628	1.120466	1.019980	1.134114

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%. Copiaste el mismo análisis para todos los años, y eso, no puedo ser.

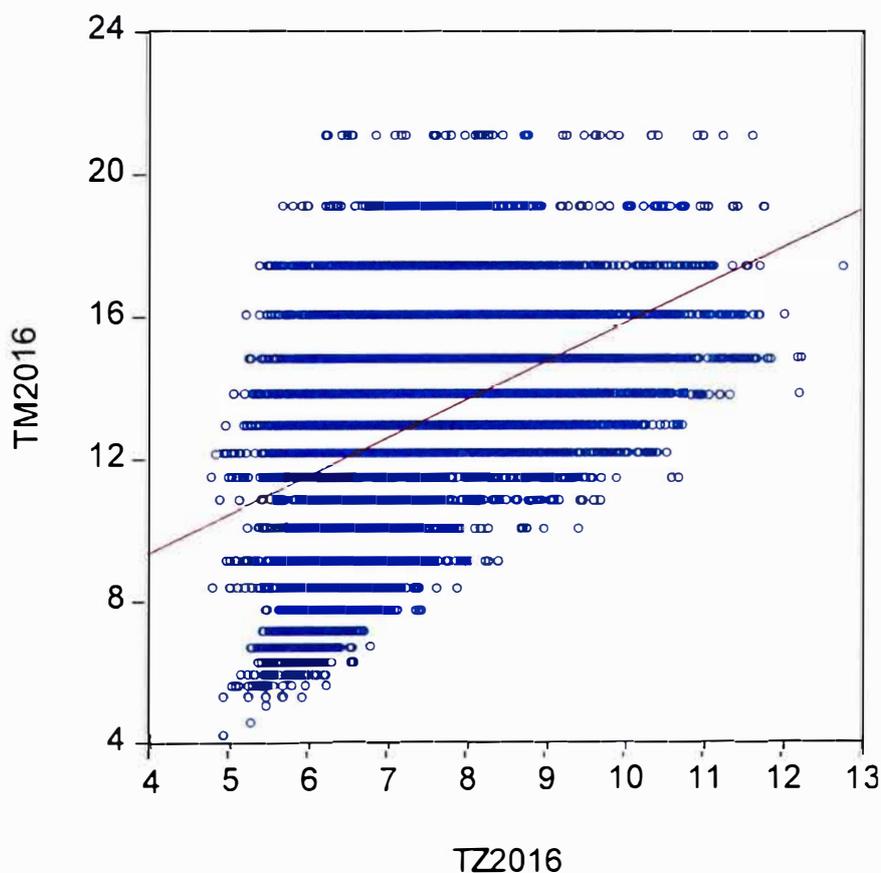


Figura 28. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2016.

5.11 Resultados Para El Año 2017.

Modelo funcional para el año 2017:

$$Tm = f\{Tz\}$$

Tabla 45. Ecuación de regresión para el modelo funcional del 2017.

<p>Estimation Command: =====</p> <p>LS TM2017=C(1)+C(2)*TZ2017</p> <p>Estimation Equation: =====</p> <p>TM2017=C(1)+C(2)*TZ2017</p> <p>Substituted Coefficients: =====</p> <p>TM2017=3.37084611561+1.27150552187*TZ2017</p>
--

A continuación, se muestra las estadísticas de la regresión entre las variables.

Tabla 46. Datos de estadística inferencial para la Hipótesis General para el año 2017.

Dependent Variable: TM2017 Method: Least Squares Date: 05/15/20 Time: 14:24 Sample: 1 8760 Included observations: 8674 TM2017=C(1)+C(2)*TZ2017				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	3.370846	0.184172	18.30272	0.0000
C(2)	1.271506	0.025377	50.10467	0.0000
R-squared	0.224501	Mean dependent var	12.48273	
Adjusted R-squared	0.224412	S.D. dependent var	3.078357	
S.E. of regression	2.711032	Akaike info criterion	4.832766	
Sum squared resid	63736.55	Schwarz criterion	4.834396	
Log likelihood	-20957.71	Hannan-Quinn criter.	4.833322	
F-statistic	2510.478	Durbin-Watson stat	0.675483	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 47. Intervalos de confianza de la variable independiente Periodo de cruce cero, año 2017.

Variable	Coefficient	95% CI		99% CI	
		Low	High	Low	High
C(1)	3.370846	3.009825	3.731867	2.896346	3.845346
C(2)	1.271506	1.221761	1.321250	1.206124	1.336887

El coeficiente del intercepto es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

El coeficiente de la variable independiente también es significativo ya que siempre es positivo para el intervalo de confianza de 95%, incluso para el intervalo de confianza del 99%.

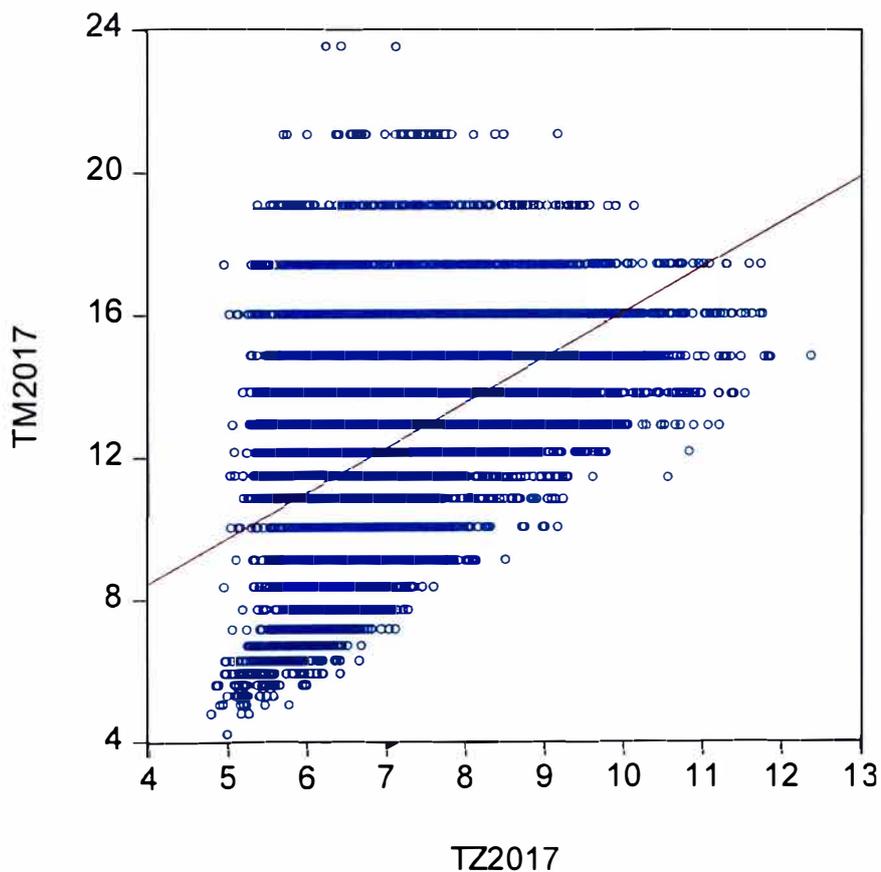


Figura 29. Gráfico de regresión de la Hipótesis General para el año 2017.

5.12 Contraste De La Hipótesis

Hipótesis General

Si se realiza un análisis de regresión simple lineal entonces se aproximará la ubicación del pico del espectro del registro de olas oceánicas en la cuenca marítima del Perú.

Ecuación de regresión

$$T_m = C(1) + C(2) \times T_z$$

Evidencia empírica

Tabla 48. Estadísticas descriptivas de los coeficientes de la ecuación de regresión y de la bondad de ajuste.

	R ²	C(1)	C(2)
Mean	0.233909	4.305182	1.151455
Median	0.224000	5.040000	1.077000
Maximum	0.313000	6.510000	1.718000
Minimum	0.160000	0.604000	0.863000
Std. Dev.	0.047803	1.677645	0.232366

Este modelo presenta una mala bondad de ajuste en promedio, $R^2 = 0.23$, que nos indica que la variable independiente, el periodo de cruce por cero ascendente, solo explica el 23% del cambio de la variable dependiente, el periodo modal. Esta bondad de ajuste podría mejorar si la data espectral discreta fuese provista con un delta de frecuencia mucho más corto.

En cuanto a los coeficientes de la ecuación de regresión, el valor del P-value para el coeficiente del intercepto salvo para el año 2007 es 0. Esto señala que no existe riesgo al rechazar la hipótesis nula, es decir, el coeficiente de referencia es significativo. En cuanto al coeficiente de la variable independiente, éste posee un P-value igual a cero para todos los años, esto nos indica que este coeficiente es significativo debido a que no existe riesgo de rechazar la hipótesis nula que establece que el coeficiente cambia de signo.

CONCLUSIÓN: se puede afirmar que la Hipótesis General NO ES VERDADERA dado que la bondad de ajuste es bastante baja.

Comúnmente se cuenta con el periodo de cruce por cero acendente, este dato obtenido de la boya, este periodo promedio T_z es utilizado para aproximar el periodo en lo cual espectro alcanza su pico. Esto era así ya que se contaba con una relación teórica entre ambos periodos, del periodo promedio T_z y el periodo pico T_m . La Hipótesis general se rechaza ya que la ecuación de regresión entre T_m y T_z no es significativa hasta el 90% de confianza. Por lo tanto, para poder utilizar un espectro estándar cuyos parámetros son la altura significativa de ola y el periodo pico (T_m), no se deberá utilizar el periodo promedio T_z para aproximar T_m . Por consiguiente, se deberá contar con el dato del T_m para utilizar uno de los espectros parametrizados.

Conclusiones

- i. Comúnmente se cuenta con el periodo de cruce por cero ascendente, este dato obtenido de la boya, este periodo promedio T_z es utilizado para aproximar el periodo en lo cual espectro alcanza su pico. Esto era así ya que se contaba con una relación teórica entre ambos periodos, del periodo promedio T_z y el periodo pico T_m . La Hipótesis general se rechaza ya que la ecuación de regresión entre T_m y T_z no es significativa hasta el 90% de confianza. Por lo tanto, para poder utilizar un espectro estándar cuyos parámetros son la altura significativa de ola y el periodo pico (T_m), no se deberá utilizar el periodo promedio T_z para aproximar T_m . Por consiguiente, se deberá contar con el dato del T_m para utilizar uno de los espectros parametrizados.

- ii. Se ha probado que la Hipótesis General no es Verdadera, debido al bajo índice de correlación entre el Periodo modal y el Periodo de cruce cero positivo, periodo 2007 – 2017. La respuesta a la pregunta de investigación es: **no existe relación entre el periodo característico de ola con el pico del espectro estandarizado de mar en la cuenca marítima del Perú.**

- iii. Los coeficientes de la ecuación de regresión son significativos. El promedio del coeficiente promedio de la variable independiente es 1.15, en cambio para el espectro estándar de Bretschneider es 1.40. Este valor de 1.15 correspondería al factor de conversión entre el periodo modal y el periodo de cruce por cero ascendente.

Recomendaciones

- i. Para una futura investigación se recomienda utilizar un análisis de regresión múltiple considerando las variables independientes adicionales: mes del año, dirección de la ola y hora del día.
- ii. Así mismo, el estudio anterior recomendado puede complementarse con un análisis de correlación entre sus variables.
- iii. Realizar los procedimientos con data de otra boya a nivel mundial.

Referencias Bibliográficas

- [1] Wikipedia, "Dominio_Marítimo_del_Perú," 2014.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2e/Dominio_Marítimo_del_Perú.svg/834px-Dominio_Marítimo_del_Perú.svg.png (accessed Apr. 20, 2020).
- [2] Noticia y opinion del Perú, "Placas sudamericanas," 2018.
<https://actualidaddelperu.blogspot.com/2018/06/que-es-la-placa-de-nazca.html>
(accessed Apr. 20, 2020).
- [3] U. J. Lee, W. M. Jeong, and H. Y. Cho, "Estimation and Analysis of JONSWAP Spectrum Parameter Using Observed Data around Korean Coast," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, no. 5, 2022, doi: 10.3390/jmse10050578.
- [4] Y. Lin and S. Dong, "Wave energy assessment based on trivariate distribution of significant wave height, mean period and direction," *Applied Ocean Research*, vol. 87, no. March, pp. 47–63, 2019, doi: 10.1016/j.apor.2019.03.017.
- [5] S. Ahn, K. A. Haas, and V. S. Neary, "Wave energy resource classification system for US coastal waters," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 104, no. January 2018, pp. 54–68, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.01.017.
- [6] D. Myrhaug, "Some probabilistic properties of deep water wave steepness," *Oceanologia*, vol. 60, no. 2, pp. 187–192, 2018, doi: 10.1016/j.oceano.2017.10.003.
- [7] X. Wang and K. Ichikawa, "Effect of high-frequency sea waves on wave period retrieval from radar altimeter and buoy data," *Remote Sensing*, vol. 8, no. 9, 2016, doi: 10.3390/rs8090764.
- [8] S. Wu, C. Liu, and X. Chen, "Offshore wave energy resource assessment in the East China Sea," *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 628–636, 2015, doi: 10.1016/j.renene.2014.11.054.

- [9] B. Cahill and A. W. Lewis, "Wave period ratios and the calculation of wave power," *The 2nd Marine Energy Technology Symposium*, pp. 1–10, 2014.
- [10] B. G. Cahill and T. Lewis, "Wave energy resource characterisation of the Atlantic Marine Energy Test Site," *International Journal of Marine Energy*, vol. 1, pp. 3–15, 2013, doi: 10.1016/j.ijome.2013.05.001.
- [11] P. Lenee-Bluhm, R. Paasch, and H. T. Özkan-Haller, "Characterizing the wave energy resource of the US Pacific Northwest," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 2106–2119, 2011, doi: 10.1016/j.renene.2011.01.016.
- [12] G. Muraleedharan, M. Sinha, A. D. Rao, N. U. Nair, and P. G. Kurup, "Estimation of wave period statistics using numerical coastal wave model," *Natural Hazards*, vol. 49, no. 2, pp. 165–186, 2009, doi: 10.1007/s11069-008-9311-x.
- [13] A. Pecher and J. Kofoed, *Handbook of Ocean Wave Energy*. Switzerland: Springer Open, 2017.
- [14] A. Okayasu, Y. Watanabe, S. Sigurdarson, and M. A. Stiassnie, *Stanisław Ryszard Massel - Ocean Surface Waves_ Their Physics and Prediction (2017, World Scientific)*, vol. 45. 2018.
- [15] W. J. Pierson and L. Moskowitz, "A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii," *Journal of Geophysical Research*, vol. 69, no. 24, pp. 5181–5190, 1964, doi: 10.1029/jz069i024p05181.
- [16] K. Hasselmann *et al.*, "Measurements of wind-wave growth and swell decay during the joint North Sea wave project (JONSWAP).," *Deutsches Hydrographisches Institut*, no. January, 1973.
- [17] The Society of Naval Architects and Marine Engineers, *Principles Of Naval Architecture Vol. III*. New Jersey: SNAME, 1989.

- [18] C. Bretschneider, "The generation and decay of wind waves in deep water," *Transactions, American Geophysical Union*, vol. 33, no. 3, pp. 381–389, 1952, doi: <https://doi.org/10.1029/TR033i003p00381>.
- [19] M. Donelan and W. J. Pierson, "The sampling variability of estimates of spectra of wind-generated gravity waves," *Journal of Geophysical Research*, vol. 88, pp. 4381–4392, 1983, doi: [doi:10.1029/JC088iC07p04381](https://doi.org/10.1029/JC088iC07p04381).
- [20] B. . Korvin-Kroukovsky, *Theory of seakeeping*. New Jersey: SNAME, 1961.
- [21] Del Carmen Palomino Monzon & Jose Luis Almazan Garate, "*Descripcion Medida y Analisis del Oleaje*"; Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politecnica de Madrid.
- [22] "*El Perú en los tiempos antiguos*", Júlio R. Villanueva Sotomayor, Empresa Periodística Nacional SAC, Lima, y Quebecor World Perú S.A. 2001
- https://es.wikipedia.org/wiki/Mar_de_Grau#:~:text=Mar%20de%20Grau%20es%20la,que%20muestra%20el%20mar%20peruano.
- [23] <https://educacion.sanjuan.edu.ar/mesj/LinkClick.aspx?fileticket=P-vQwKIC2O4%3D&tabid=677&mid=1740>