



Universidad de Guayaquil

**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO CIVIL

ESTRUCTURAS

**CONTRASTACIÓN DE LA EFICIENCIA DE NUEVAS LEYES DE
ATENUACIÓN FRENTE A SISMOS REALES**

**AUTORES: ADRIANA LISSETTE RAMÓN CASQUETE
INGRID ANABEL ZAMORA MOROCHO**

TUTOR: ING. LENIN MARCELO MONCAYO THEURER, M.Sc.

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2023

Agradecimiento

Quiero empezar agradeciendo a Dios por darme sabiduría y fortaleza a lo largo de este proceso.

Un agradecimiento especial a mis padres John Ramón y María Casquete por confiar en mí, apoyarme económica y emocionalmente.

A nuestro tutor que con su vasta experiencia y conocimiento nos ha guiado pacientemente en el desarrollo de esta investigación.

A lo largo de este tiempo la universidad me ha permitido conocer a increíbles personas a las que ahora puedo llamar amigos, Dianne Cruzatty, Shirley Campos, Joshua Garaicoa, Gustavo Torres, siempre pude contar con ustedes en momentos difíciles de la carrera y por eso les agradezco.

Por el tiempo compartido tanto en las aulas como fuera de ellas, por las arduas noches estudiando conmigo, dándome ánimos y creyendo en mí incluso cuando yo deje de hacerlo no puedo dejar de agradecerle su apoyo y amistad incondicional a Dahiana Regalado.

No puedo olvidar agradecer al Ing. Marvin Coello que vio potencial en mí, me dio confianza, compartió sus conocimientos del mundo laboral conmigo y me ayudó a enamorarme de esta carrera.

Adriana Lissette Ramón Casquete

Agradecimiento

Agradezco a Dios por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad, a mi mamá y a mi hermana, por su apoyo incondicional brindado para poder cumplir con mis objetivos académicos y personales, ya que me han brindado el soporte material y económico, siendo ellas las que me han impulsado a perseguir mis metas y a no abandonarlas poniéndole frente a las adversidades. Y también le agradezco muy gratamente a nuestro tutor de tesis por su paciencia, y su guía para poder llegar a esta instancia tan anhelada para nosotras.

Ingrid Anabel Zamora Morocho

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mis padres María Casquete y John Ramón quienes inculcaron en mí la disciplina que me permitió llevar esta carrera al final, por su apoyo incondicional y por sus palabras de motivación constante para que esto pueda ser posible.

A mi joven hermano Justin Ramón, tengo plena confianza de que llegarás lejos y serás exitoso que esto sirva de motivación para que entiendas que todo es posible con dedicación y responsabilidad.

Adriana Lissette Ramón Casquete

Este presente trabajo de tesis está dedicada a mi familia, que son mi mamá y mi hermana por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria, ellas que siempre han estado allí en las buenas y en las malas, que con mucha paciencia e inmenso amor, han sido mi soporte y compañía durante todo este periodo de estudio, y a cada una de las personas que nos acompañaron, a mi compañera de tesis y a mí en el corrido laborioso de este trabajo, así como también a nuestro tutor, mil gracias.

Ingrid Anabel Zamora Morocho

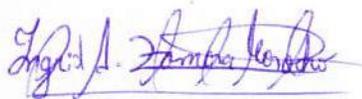
Declaración Expresa

Artículo XI.- del Reglamento Interno de Graduación de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.0

La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo de titulación corresponden exclusivamente al autor y al Patrimonio Intelectual de la Universidad de Guayaquil.



SRTA. ADRIANA LISSETTE RAMÓN CASQUETE
C.I.: 0955318746

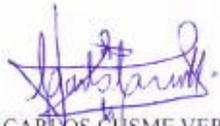


SRTA. INGRID ANABEL ZAMORA MOROCHO
C.I.: 0923169890

Tribunal de Graduación



ING. ALEXIS JAMA, MSC.
PRESIDENTE DE TRIBUNAL



ING. CARLOS CUSME VERA, MSC.
PRIMER VOCAL



ING. PABLO LINDAO TOMALA, MSC.
SEGUNDO VOCAL

ESTUDIANTES: ZAMORA MOROCHO INGRID ANABEL
RAMON CASQUETE ADRIANA LISSETTE



CERTIFICADO DEL DOCENTE – TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Guayaquil, 12 de agosto de 2023

Ingeniero
Guillermo Pacheco Q., MSc.
DIRECTOR DE LA CARRERA CIVIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad.-

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación: "Contrastación De La Eficiencia De Nuevas Leyes De Atenuación Frente A Sismos Reales" de las estudiantes la Srta. Adriana Lissette Ramón Casquete Con C.C. 0955318746 y por la Srta. Ingrid Anabel Zamora Morocho Con C.C. 0923169890, indicando que han cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que los estudiantes están aptos para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

LENIN MARCELO
MONCAYO
THEURER

Firmado digitalmente por
 LENIN MARCELO
 MONCAYO THEURER
 Fecha: 2023.09.19
 14:02:24 -05'00'

Ing. Marcelo Moncayo Theurer, Msc
C.C.: 0912378239
FECHA: 12 agosto 2023



CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Habiendo sido nombrado Ing. Marcelo Moncayo Theurer, Msc., tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por las estudiantes la Srta. Adriana Lissette Ramón Casquete Con C.C. 0955318746 y por la Srta. Ingrid Anabel Zamora Morocho Con C.C. 0923169890, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de: INGENIERO CIVIL.

Se informa que el trabajo de titulación: Contrastación De La Eficiencia De Nuevas Leyes De Atenuación Frente A Sismos Reales, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio TURNITIN quedando el 2% de coincidencia.

TESIS- RAMON ZAMORA

INFORME DE ORIGINALIDAD

2 %	2 %	0 %	0 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

LENIN MARCELO MONCAYO THEURER
 Firmado digitalmente
 por LENIN MARCELO
 MONCAYO THEURER
 Fecha: 2023.09.19
 14:03:21 -05'00'

Ing. Marcelo Moncayo Theurer, Msc
C.C.: 0912378239
FECHA: 15 de agosto del 2023



INFORME DEL DOCENTE REVISOR

Guayaquil, 25 de agosto del 2023

Ingeniero

Guillermo Pacheco Quintana, MSc.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
FACULTAD CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del trabajo de Titulación **“Contrastación De La Eficiencia De Nuevas Leyes De Atenuación Frente A Sismos Reales”** de las **estudiantes la Srta. Adriana Lissette Ramón Casquete Con C.C. 0955318746 y por la Srta. Ingrid Anabel Zamora Morocho Con C.C. 0923169890**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 13 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad. La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.

El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que las estudiantes la Srta. **Adriana Lissette Ramón Casquete y la Srta. Ingrid Anabel Zamora Morocho** están aptas para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado digitalmente por
CARLOS ELVIS CUSME
VERA

Ing. Carlos Elvis Cusme Vera, Msc.
C.C. 1303455941
FECHA: 25/08/2023



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA
GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO
COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**

**FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y
FÍSICAS CARRERA: INGENIERIA CIVIL**

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA
CON FINES NO ACADÉMICOS.

Nosotros, **ADRIANA LISSETTE RAMÓN CASQUETE** con C.I. 0955318746, y **INGRID ANABEL ZAMORA MOROCHO** con C.I. 0923169890 certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **“CONTRASTACIÓN DE LA EFICIENCIA DE NUEVAS LEYES DE ATENUACIÓN FRENTE A SISMOS REALES”** son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizamos la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

SRTA. ADRIANA LISSETTE RAMÓN CASQUETE
C.I.: 0955318746

SRTA. INGRID ANABEL ZAMORA MOROCHO
C.I.: 0923169890

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1 Introducción.....	1
1.2 Situación Problemática.....	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Delimitación del Tema	4
1.5 Justificación.....	5

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases Teórico Científicas.....	8
2.2.1 Atenuación.....	8
2.2.2. Ley de Atenuación.	8
2.2.3 El Significado del Resultado de la Ley de Atenuación.	14
2.3. Definición de Términos Básicos	14
2.3.1. Sismología.....	14

2.3.2. Sismicidad del Ecuador.	15
2.3.3. Ondas Sísmicas.....	17
2.3.4. Energía Liberada.	18
2.3.5 Principal Causa del Sismo.	22
2.3.6. Hipocentro.....	22
2.3.7. Epicentro.....	22
2.3.8 Falla Geológica.....	23
2.3.9 Aceleraciones Máximas (PGA).	25
2.3.10 Estación Sísmica.	25
2.3.11 Acelerómetros.....	26
2.3.12 Sismómetros.	26
2.3.13 Distancia Epicentral.	27
2.3.14 Profundidad.....	27
2.3.15 Magnitud.	27
2.3.16 Sitios de Obtención de Datos.....	27
2.3.17 Matriz de decisión.	30

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

3.1. Tipo de Estudio.....	31
3.2. Población, muestra y muestreo	31

3.3. Métodos Técnicas e Instrumentos.....	32
3.3.1. Métodos.....	32
3.3.2. Técnicas.....	32
3.3.3. Instrumentos.....	33
3.4. Plan de Procesamiento y Análisis	34
3.5 Recolección de Data Sísmica.....	35
3.6 Llenado de Datos	37
3.7 Matriz en Tercera Dimensión.....	40
3.8 Parámetros de la comparativa.....	42
3.8.1. Forma de la Curva.....	43
3.8.2. Acercamiento de la Curva.....	44
3.8.3. Cobertura de los Valores Máximos.....	44
3.8.4. Porcentaje de Error.....	46

CAPÍTULO IV

Desarrollo del Tema

4.1. Selección de Sismos de Control.....	50
4.2. Recolección y Delimitación de Datos Sísmicos.....	52
4.3 Contrastación de Leyes de atenuación frente a CMAR y Datos Reales.....	53
4.3.1 Sismo de California, Estados Unidos M.4,7 del 18/05/2009.....	54
4.3.2 Sismo de Turquía M.5,8 del 19/05/2011.....	55

4.3.3 Sismo de Alaska, Estados Unidos M.6,1 del 31/05/2021.....	57
4.3.4 Sismo de Ecuador M. 7,8 del 16/04/2016.	59
4.3.5 Sismo de Chile M.8,8 del 27/02/2010.	60
4.4 Porcentajes de Cobertura de Valores Máximos	62
4.4.1 Sismo de California, Estados Unidos M.4,7 del 18/05/2009.	62
4.4.2 Sismo de Turquía M.5,8 del 19/05/2011.	64
4.4.3 Sismo de Alaska, Estados Unidos M.6,1 del 31/05/2021.....	66
4.4.4 Sismo de Ecuador M. 7,8 del 16/04/2016.	67
4.4.5 Sismo de Chile M.8,8 del 27/02/2010.	68
4.5 Porcentaje de Error Comparativo de Las Leyes de Atenuación	70
4.5.1 Sismo de California, Estados Unidos M.4,7 del 18/05/2009.	70
4.5.2 Sismo de Turquía M.5,8 del 19/05/2011.	72
4.5.3 Sismo de Alaska, Estados Unidos M.6,1 del 31/05/2021.....	73
4.5.4 Sismo de Ecuador M. 7,8 del 16/04/2016.	74
4.5.5 Sismo de Chile M.8,8 del 27/02/2010.	75
4.5.6 Resultados del cálculo de porcentaje de error.	77
4.6 Matriz de Decisión	81
4.6.1 Sismo de California, Estados Unidos M.4,7 del 18/05/2009.	82
4.6.2 Sismo de Turquía M.5,8 del 19/05/2011.	83

4.6.3 Sismo de Alaska, Estados Unidos M.6,1 del 31/05/2021.....	84
4.6.4 Sismo de Ecuador M. 7,8 del 16/04/2016.	85
4.6.5 Sismo de Chile M.8,8 del 27/02/2010.	86
4.6.6 Resultado de las matrices de Decisión.	87

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.....	89
5.2 Recomendaciones.....	90

Bibliografía

Anexos

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Tipos de ondas Sísmicas.....	18
Ilustración 2: Fuente puntual emitiendo frentes de ondas circulares	20
Ilustración 3: Ubicación del epicentro.....	21
Ilustración 4: Falla geológica, hipocentro y epicentro.....	23
Ilustración 5: Resumen de los registros en las estaciones según CESMD	29
Ilustración 6: Ubicación de sismos significativos en el mundo	35
Ilustración 7: Información de PGA y distancias epicentrales.....	36
Ilustración 8: Mapa de contornos PGA del sismo de California M.4.9	38
Ilustración 9: Gráfica depurada de PGA vs Distancia epicentral.....	38
Ilustración 10: Gráfica CMAR sismo de California M.4.9	39
Ilustración 11: Matriz en Tercera Dimensión.....	40
Ilustración 12: Curva de PGA VS Distancia	43
Ilustración 13: Formato de presentación de datos sísmicos	52
Ilustración 14: Formato de presentación de datos sísmicos	52

Ilustración 15: Grafica de PGA Vs Distancia – California M4,7.....	54
Ilustración 16: Grafica de PGA Vs Distancia - Turquía M 5,8	56
Ilustración 17: Grafica de PGA Vs Distancia - Alaska M6,1	58
Ilustración 18: Grafica de PGA Vs Distancia - Ecuador M7,8	59
Ilustración 19: Grafica de PGA Vs Distancia - Chile M8,8.....	61

Índice de Tablas

Tabla 1: Presentación de las 13 leyes de atenuación	11
Tabla 2: Formato para datos de aceleraciones por sismo.....	37
Tabla 3: Tabla para creación de curva CMAR sismo de California M.4.9 (2020)	39
Tabla 4: Formato de la matriz de decisión por sismo	41
Tabla 5: Formato de tabla resultado de matrices por sismo.....	42
Tabla 6: Formato de tabla resultado de matrices por magnitud	42
Tabla 7: Formato para cálculo de cobertura de valores máximos	45
Tabla 8: Formato de conversión a valores para usar en la matriz.....	46
Tabla 9: Formato calculo % error promedio por sismo según CMAR.....	47
Tabla 10: Formato cálculo de % de error promedio según CMAR	47
Tabla 11: Formato cálculo de % de error con respecto a el PGA.....	48
Tabla 12: Formato cálculo de % de error según magnitudes	49
Tabla 13: Sismos de control clasificados por magnitud.....	50
Tabla 14: Cobertura de valores máximos – California M.4,7.....	63

Tabla 15: Calificación de Cobertura de Valores máximos - California M.4,7	64
Tabla 16: Cobertura de valores máximos - Turquía M.5,8	65
Tabla 17: Calificación de Cobertura de Valores máximos - Turquía M.5,8.....	65
Tabla 18: Cobertura de valores máximos - Alaska M.6,1	66
Tabla 19: Calificación de Cobertura de Valores máximos - Alaska M.6,1	67
Tabla 20: Cobertura de valores máximos - Ecuador M.7,8	68
Tabla 21: Calificación de Cobertura de Valores máximos - Ecuador M.7,8.....	68
Tabla 22: Cobertura de valores máximos - Chile M.8,8.....	69
Tabla 23: Calificación de Cobertura de Valores máximos - Chile M.8,8.....	69
Tabla 24: Calificación de error promedio según CMAR -Estados Unidos M.4,7	71
Tabla 25: Porcentaje de error según PGA -Estados Unidos M.4,7	71
Tabla 26: Porcentaje de error promedio según CMAR -Turquía M5,8	72
Tabla 27: Porcentaje de error según PGA- Turquía M5,8.	73
Tabla 28: Porcentaje de error promedio según CMAR- Estados Unidos M.6,1.....	73
Tabla 29: Porcentaje de error según PGA- Estados Unidos M.6,1	74
Tabla 30: Porcentaje de error promedio según CMAR -Ecuador M.7,8	74

Tabla 31: Porcentaje de error según PGA- Ecuador	75
Tabla 32: Porcentaje de error promedio según CMAR- Chile M.8,8	76
Tabla 33: Porcentaje de error según PGA -Chile M.8,8	77
Tabla 34: Porcentaje de error obtenido según CMAR	78
Tabla 35: Porcentaje de error según CMAR clasificado por magnitudes.	79
Tabla 36: Porcentaje de error según el PGA registrado en cada sismo	80
Tabla 37: Porcentaje de Error de PGA máximo clasificado por magnitud	81
Tabla 38: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar- CA, USA M.4,7	82
Tabla 39: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar-Turquía M.5,8	83
Tabla 40: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar- Alaska, USA M.6,1	84
Tabla 41: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar- Ecuador M.7,8	85
Tabla 42: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar- Chile M.8,8	86
Tabla 43: Resultado de matrices de decisión de los sismos de control	87
Tabla 44: Resultado de matrices de decisión clasificados por magnitud.....	88



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Título del Trabajo de Titulación: **CONTRASTACIÓN DE LA EFICIENCIA
DE NUEVAS LEYES DE ATENUACIÓN
FRENTE A SISMOS REALES**

Autores: Adriana Lissette Ramón Casquete
Ingrid Anabel Zamora Morocho

Tutor: Ing. Lenin Marcelo Moncayo Theurer, M.Sc.

RESUMEN

En este trabajo de investigación, se enfocó en la precisión matemática de las aceleraciones, contrastando nuevas leyes de atenuación con valores de PGA. Por lo que se tuvieron que tabular datos de cincuenta sismos de control, graficar curvas de aceleraciones máximas, utilizar métodos matemáticos exactos como el porcentaje del error relativo y la cobertura de valores máximos. Finalmente, se empleó una matriz de decisión para evaluar y seleccionar la mejor opción entre las alternativas, usando parámetros de criterios en el proceso de toma de decisiones. La propuesta de las cinco nuevas leyes de atenuación se las presenta como alternativa en ese camino de diseño, necesarias para efectuar estudios de riesgo sísmico, y que se ajustan a los registros actuales de algunos de los terremotos más severos registrados en el mundo.

PALABRAS CLAVES: SISMOS – ATENUACIÓN – NUEVAS - LEYES -

CONTRASTACION



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Title Of Degree Work Carried Out: CONTRAST OF THE EFFICIENCY OF NEW LAWS OF ATTENUATION AGAINST REAL EARTHQUAKES.

Authors: Adriana Lissette Ramón Casquete

Ingrid Anabel Zamora Morocho

Advisor: Ing. Lenin Marcelo Moncayo Theurer, M.Sc.

ABSTRACT

The focus was on the mathematical accuracy of accelerations, contrasting new attenuation laws with PGA values. Therefore, data from fifty control earthquakes had to be tabulated, maximum acceleration curves graphed, and precise mathematical methods such as the percentage of relative error and coverage of maximum values were utilized. Finally, a decision matrix was employed to evaluate and select the best option among alternatives, using criteria parameters in the decision-making process. The proposal of the five new attenuation laws is presented as an alternative in this design pathway, necessary for conducting seismic risk studies, and they align with current records of some of the most severe earthquakes recorded in the world.

KEY WORDS: EARTHQUAKES – ATTENUATION - NEW LAWS -
CONTRAST

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1 Introducción

Las leyes de atenuación son fundamentales en la ingeniería sísmica para diseñar estructuras resistentes a terremotos y para analizar el riesgo sísmico en diferentes regiones del mundo. Estas leyes se utilizan para estimar las aceleraciones probables que pueden ocurrir en una región durante un terremoto y para calcular la respuesta sísmica esperada de las estructuras, lo que permite diseñar edificios, puentes, represas y otras estructuras resistentes a terremotos.

Las leyes de atenuación se derivan de la observación y análisis de datos de terremotos pasados, y su aplicación se ha extendido en todo el mundo. Las leyes más utilizadas son las que relacionan la amplitud de las ondas sísmicas con la distancia al epicentro, con la magnitud del sismo y con las características geológicas de la región.

Estas leyes son la base para la estimación de las aceleraciones máximas que pueden ocurrir durante un terremoto y son utilizadas para calcular los espectros de respuesta de la estructura que se va a diseñar. Además, también se utilizan en el análisis de riesgo sísmico para determinar la probabilidad de que ocurra un terremoto de cierta intensidad y la cantidad de daño que se puede esperar en una determinada área.

En resumen, las leyes de atenuación sísmica son esenciales para la ingeniería sísmica en todo el mundo. Permiten estimar y predecir las aceleraciones probables de un terremoto y diseñar estructuras resistentes a terremotos para minimizar el daño en caso de un evento sísmico.

Estas leyes son utilizadas por geólogos, sismólogos e ingenieros para modelar el comportamiento de las ondas sísmicas en función de diversos factores, y para predecir cómo se propagarán las ondas sísmicas y cómo afectarán a las infraestructuras y poblaciones cercanas al epicentro.

Es por esto por lo que en este documento está la propuesta sobre las cinco nuevas leyes de atenuación, cuya técnica fue desarrollada por el Ing. Marcelo Moncayo Theurer, M.Sc. de las cuales se las presenta como alternativa en ese camino de diseño y además estas nuevas leyes se ajustan a los registros actuales de algunos de los terremotos más severos registrados en el mundo.

1.2 Situación Problemática

Partiendo del concepto que hay fuertes indicios que la sismicidad ha ido cambiando con el tiempo, las leyes de atenuación desarrolladas antes de los años 2000 deben ser actualizadas.

El problema es que en los últimos años la sismicidad parece haberse incrementado a nivel mundial, y eso afecta a las leyes obtenidas previas a esta época.

Por otro lado, al mantener el concepto de escoger los registros por ubicación condenamos a zonas que no poseen gran cantidad de datos sísmicos a no poder tener ley de atenuación. Pero para estas zonas, sabemos que el comportamiento dinámico de un suelo con características parecidas no va a cambiar según su ubicación.

Es por esto por lo que el criterio de no regionalización en el escogimiento de los registros es una propuesta innovadora y se basa en el concepto de que el comportamiento de los materiales que constituyen la corteza terrestre, como las rocas y el suelo, no va a variar según la ubicación y aunque pudiera haber diferencias geomorfológicas, en este trabajo se privilegia la precisión matemática de las aceleraciones.

Por lo tanto, la utilización de expresiones de atenuación es necesarias para efectuar estudios de riesgo sísmico, orientados a satisfacer las necesidades del ingeniero, para esto se trabajará con nuevas leyes de atenuación, con registros de datos de estación, distancia y PGA con datos de diferentes países, y que estos nos permitan contrastar si esta información con las leyes mencionadas anteriormente esté funcionando adecuadamente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Obtener la eficiencia de las nuevas leyes de atenuación que presenta la aceleración sísmica de sismos actuales.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Obtener datos sísmicos de aceleraciones máximas a lo largo de la distancia para diferentes sismos del mundo de diferentes países de diferentes magnitudes.

Estudiar las nuevas leyes de atenuación y algunas internacionales que van a servir de base para la contrastación.

Preparar la información en herramienta digital para el cálculo y su contrastación.

Identificar la coincidencia y diferencia entre los datos sísmicos reales y los datos de las nuevas leyes de atenuación.

Identificar las mejores alternativas para el uso de ingeniería.

1.4 Delimitación del Tema

Con la aplicación de las leyes de atenuación este trabajo se enfoca en la contrastación de la eficiencia de las nuevas leyes de atenuación frente a sismos reales, estas nuevas leyes son complementarias a las ya existentes, esto es porque se han obtenido bajo el contexto de valor extremo es decir los máximos y mínimos de una función conocidos colectivamente como extremos de una función. Para ello se obtendrán datos sísmicos

de aceleraciones máximas a lo largo de la distancia para diferentes sismos del mundo de diferentes países de diferentes magnitudes, así como también poder encontrar las similitudes y las diferencias entre los datos sísmicos y los datos obtenidos de las nuevas leyes de atenuación, que nos permita llegar a tener mejores opciones para su uso en la ingeniería.

1.5 Justificación

Si se escoge el camino de la definición de la amenaza sísmica como base del diseño, las leyes de atenuación serán un elemento importante. La reflexión sobre la propuesta de nuevas leyes de atenuación, que se las presenta como alternativa en ese camino de diseño y que además estas nuevas leyes se ajusten a los registros actuales de algunos de los terremotos más severos registrados en el mundo.

Por lo que, si el comportamiento matemático de la atenuación se ajusta a sismos lejanos, también lo hará para sismos cercanos, uno de los más importantes aportes de las nuevas leyes de atenuación propuestas en este trabajo es poder predecir las aceleraciones cercanas al epicentro para facilitar la realización de diseños o análisis de riesgo de estructuras en zonas sismogénicas o zonas que se conoce estarían muy cercanas al epicentro.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes

La ley de atenuación es aquella que se constituye por lo general como un componente esencial que nos ayuda a evaluar el peligro sísmico, ya que es fundamental para la concepción que impliquen diseños arquitectónicos resistentes a terremoto. Es por esto por lo que es de vital importancia evaluar su eficacia, ya que describe como la intensidad sísmica decrece conforme este se aleja del epicentro. Para esto los registros sísmicos, proporcionan datos que son esenciales que nos ayude a trazar una curva predictiva de las aceleraciones, y que esta también es conocida como ley de atenuación. (Moncayo Theurer, 2016).

A lo largo del tiempo, fueron diversos los autores que han propuesto distintas formulaciones de leyes de atenuación. En este contexto, es que se han analizado trece leyes que en si engloban varias perspectivas, y estas incluyen las fórmulas de Donovan 1-2-3 (D1, D2, D3) , (Aguiar, (2000)), Gómez Ordaz Tena (Gómez, (2012)), Grases (Chavez, I. A., (2010)), Aguiar y Sarangoni (Chavez, I. A., (2010)).

Para el análisis comparativo que se realizó, se seleccionó el terremoto del 7 de abril del año 2011, ubicado en las costas de Miyagi, Japón, con una Mw de 7,1 en la escala de Richter. En este análisis se evaluaron los resultados de estas leyes y para diversas condiciones, y que estas incluyen el cálculo de McGuiarre (MC) con el uso de datos sísmicos del Oeste de Estados Unidos en el año 1974, las leyes de Gómez- Ordaz-Tena

(GOT1 y GOT2) creadas en México, la ley de Ordaz junto a Jara y Singh (OJS) en el año 1989, las dos leyes de Grases (G1 Y G2), así como las leyes de Aguiar (A1 Y A2) y la ley de Sarangoni basada en datos de sismos de Chile.

Este análisis comparativo confronta las trece leyes de atenuación, con el terremoto registrado en Japón de Mw 7,1. La discrepancia entre las curvas de atenuación y la curva de aceleraciones máximas registradas (CMAR), son las que se determinan. La CMAR se obtiene mediante regresión matemática, que describe de manera adecuada los datos en este análisis mediante una curva exponencial. Dicha curva de regresión se conoce como CMAR.

Se pudo observar que la mayoría de las leyes de atenuación pueden presentar un error relativo superior al 80% para distancias entre 80km y 350km. La curva que mejor se ajusta a la CMAR, que representa la circundante de las aceleraciones del sismo estudiado, que resulta ser la de Gomez-Ordaz-Tena2 (GOT2). Esta mantiene un error relativo del 50% al 60% entre los 50km y 350km, y disminuyendo hasta un 25%, demostrándose, así como es la curva, más efectiva para poder predecir las aceleraciones máximas del terremoto analizado. También cabe destacar que esta ley fue desarrollada utilizando los datos de sismos locales de Estados Unidos y de México, abarcando los periodos de 2000 a 2017.

Adicionalmente, se proponen cinco nuevas leyes de atenuación de las aceleraciones máximas de suelo, con el propósito de contrastar las leyes anteriormente mencionadas y su potencial uso en estudios de peligrosidad sísmica en Ecuador.

2.2 Bases Teórico Científicas

2.2.1 Atenuación.

La atenuación hace referencia a la disminución de energía sísmica a medida que las ondas sísmicas se propagan a través del subsuelo.

Las ondas sísmicas generadas por un terremoto o una fuente sísmica, que se propagan por diferentes direcciones desde su fuente, ya que a medida que se alejan de la fuente, su amplitud disminuye debido a la atenuación. La atenuación del sismo está influenciada por diversas propiedades del subsuelo, como la densidad, la rigidez, la porosidad y la geometría de las capas geológicas. Estos factores derivan de la forma en que las ondas sísmicas se transmiten y dispersan en una medida que se propagan a través de la tierra. (Taibe, L., & Ruiz, M., 2013)

2.2.2. Ley de Atenuación.

La ley de atenuación es un modelo parcialmente empírico, que establece una conexión entre la magnitud, la distancia y la intensidad de un terremoto que ha sido registrado, describiendo como este disipa la energía liberada en el epicentro. Una de las funciones principales de una curva de atenuación es poder prever las aceleraciones que surgirán debido a un terremoto de una magnitud y a una distancia específica.

La construcción para una curva de atenuación o predicción de aceleraciones se fundamenta en los registros sísmicos, que actúan como información esencial. Diversos autores han presentado distintas leyes de atenuación, que se ajusten a las bases sísmicas de sus respectivas naciones. Estas bases sísmicas se sujetan a características

de los suelos en el área de origen de los registros. (Moncayo Theurer, 2016)

En este punto, el análisis de como la onda sísmica decrece con la distancia y que conduce a la formulación de una expresión matemática que describe este comportamiento, que se conoce como ley de atenuación. Así, es como la ley de atenuación es una expresión matemáticamente hablando que generalmente incluye variables como lo es la magnitud, distancia al epicentro del terremoto y que resulta en una medida de la destrucción causada por el sismo, expresada por unidad de aceleración, energía, velocidad o desplazamiento.

Las leyes de atenuación se basan en los PGA (Aceleración Máxima del Suelo), de numerosos registros reales, lo que las convierte en herramientas más realistas y también específicas, contribuyendo así a un diseño más apropiado.

Al calcular estas leyes de atenuación, muchos se apoyan en el principio de ubicación, que requiere que los registros provengan de una misma región geográfica. Sin embargo, también es válido buscar generalizar y poder elegir registros de confianza, es decir, de centros experimentados y capturados por múltiples instrumentos, lo que permite una aproximación más realista a las fuerzas generadas por los terremotos. Bajo este enfoque, la noción de regionalidad no resulta crucial. Puesto que la determinación de las características similares dinámicas del suelo involucra muchas variables, y el comportamiento de un suelo o roca con características similares, no cambia según el país o la región.

La compilación de leyes de atenuación se basa en datos obtenidos de registros sísmicos capturados en canales cuyas componentes es horizontal NS, EO, colocados en

diferentes puntos a lo largo de un territorio, en suelos duros o blandos. El parámetro usado para el cálculo de estas leyes es el PGA del registro, es decir, la máxima aceleración registrada.

Por esta razón, se llevó a cabo un análisis de trece leyes de atenuación de varios autores, que se presentan en la tabla1. En esta tabla, se encuentran fórmulas de Donovan, Gómez-Ordaz-Tena, Grases, Aguiar y también fórmulas de Sarangoni. Este estudio presenta nuevas leyes de atenuación diseñadas para representar terremotos severos. Se seleccionaron terremotos como base, siguiendo criterios de confiabilidad y con un número adecuado de registros.

En este análisis, no se excluyeron registros basados en el tipo de suelo o la profundidad del hipocentro, que es el punto de origen de la energía sísmica en la tierra.

En la tabla1, también es evidente que muchas de estas leyes de atenuación proponen formulas exponenciales y también formulas logarítmicas, ya que son las que mejor describen la atenuación que tiene el suelo. Algunas de estas leyes pueden mostrar incongruencias matemáticas y se da cuando la distancia al epicentro es muy corta. Por lo tanto, la mayoría de las leyes presentes en la tabla 1 solo son válidas para distancias mayores a 20 o 50km.

Tabla 1: Presentación de las 13 leyes de atenuación

LEY DE ATENUACION	ECUACION
DONOVAN1(D1)	$a_h = 1320 e^{0.580M} (R + 25)^{-1.520}$
DONOVAN2(D2)	$a_h = 1080 e^{0.500M} (R + 25)^{-1.320}$
DONOVAN3(D3)	$\ln(a_h) = 6.98 + 0.50M - 1.25 \ln(R + 25)$
Mc Guire (MG)	$(a_h) = 472.3 e^{0.64M} (R + 25)^{-1.301}$
Gómez-Ordaz-Tena (G.O.T.1)	$\ln(a_h) = 2.308 + 0.780M - 0.844 \ln(R) - 0.004(R)$
Gómez-Ordaz-Tena (G.O.T.2)	$\ln(a_h) = 1.237 + 1.519M - 0.0313M^2 - 0.844 \ln(R) - 0.004(R)$
Ordaz-Jara y Singh (O.J.S)	$\log_{10}(a_h) = 1.760 + 0.30M - \log_{10}(R) - 0.00310(R)$
Singh (Si)	$\log_{10}(a_h) = -0.148 + 0.623M - \log_{10}(R) - 0.00320(R)$
Grases1(G1)	$\ln(a_h) = 3.75 + 0.470M - 0.570 (\ln(R + 10) - 0.670)$
Grases2(G2)	$\ln(a_h) = 3.75 + 0.470M - 0.570 (\ln(R + 10) + 0.670)$
Aguiar1(A.G.1)	$\ln(a_h) = 6.35 + 0.99M - 1.76 * \ln(R + 40) - 0.6$
Aguiar2(A.G.2)	$\ln(a_h) = 6.35 + 0.99M - 1.76 * \ln(R + 40) + 0.6$
Sarangoni (SA)	$\ln(a_h) = 8.54 + 0.570M - 1.73 \ln(R + 60)$

Fuente: (Moncayo, 2016)

Donde:

a_h : Es la aceleración horizontal máxima (cm/seg² ó GALS), distancia D (km.) para un sismo de magnitud M.

M: Magnitud Richter o de Momento, M_l o M_w , dependiendo del sismo.

R: Distancia del punto de estudio al epicentro del sismo en (Km)

Si se opta por establecer la amenaza sísmica como fundamento de diseño o como punto de partida, es crucial considerar las leyes de atenuación como un elemento relevante. En esta investigación se presenta la propuesta de nuevas leyes de atenuación como una opción en esta dirección de diseño, buscando que los registros actuales se adecuen a los terremotos más fuertes documentados en todo el mundo.

En este estudio, se proponen cinco nuevas leyes de atenuación, y en el caso de las tres primeras leyes (f 6, f 7 y f 8), se ha observado que los resultados, serán considerablemente intensos. Esto se debe a que estas leyes se calculan utilizando terremotos de referencia que generan niveles elevados de aceleración, además de que se aplicó el criterio de valores extremos en su diseño.

Como opción a esta situación, se plantea la adopción de la ecuación (f 9), que corresponde a la cuarta ley de atenuación de segunda generación, donde se incorpora la variable M, así mismo se propone la ecuación f10, como quinta ley de atenuación, la cual calcula valores promedio en el lugar de los valores extremos.

El enfoque de la ley de segunda generación ayuda a refinar los valores para sismos distantes y de menor magnitud, lo que resulta en una curva que se vuelve más asintótica para estos casos, es decir, la curva de intersección entre el plano y la superficie que presenta una curvatura cercana a cero a cero en ese punto.

Se observó que las fórmulas f.6, f.7 Y f.8 son demasiado severas cuando se calcula para magnitudes pequeñas o para distancias muy grandes.

Por esa razón se buscó afinar más el resultado, de allí salió la fórmula f.9, la misma que puede ser utilizada para predecir las aceleraciones sísmicas para cualquier

terremoto del mundo, para cualquier magnitud y para cualquier distancia. La recomendación es que si se quiere hacer un diseño severo y fuerte se utilice cualquiera de las fórmulas f.6, f.7 y f.8., sí se quiere ser más ahorrativo y pasar del concepto de valor extremo a un valor promedio, utilice la función f.10.

Las formulaciones de las nuevas leyes de atenuación se seguirán a continuación:

Ley de atenuación Original

$$a_{original}^{gals} = 36 * e^{(0.52M)} * e^{(-0.005D)} \quad \text{Ecu. F6.}$$

Ley de atenuación Variante1

$$a_{Variante1}^{gals} = 12 * e^{(0.65M)} * e^{(-0.005D)} \quad \text{Ecu. F7.}$$

Ley de atenuación Variante2

$$a_{Variante2}^{gals} = 60 * e^{(0.45M)} * e^{(-0.005D)} \quad \text{Ecu. F8.}$$

Ley de atenuación 2da Generación

$$a_{Corr}^{gals} = (105 - 5M) * e^{(0.235M+0.025M^2)} * e^{(-0.0285D+0.0025MD)}$$

Ecu. F9.

Ley de atenuación Rebajada

$$a_{Rebajada}^{gals} = 18 * e^{(0.52M)} * e^{(-0.005D)} \quad \text{Ecu. F10.}$$

Donde:

a: Representa la aceleración de componente horizontal máxima (en gals) que alcanzara al punto de estudio a una distancia “D”, para un sismo de magnitud M.

M: Magnitud del sismo.

D: Distancia del punto de estudio y el epicentro del sismo (km.)

2.2.3 El Significado del Resultado de la Ley de Atenuación.

Es el que nos va a servir para calcular una aceleración de diseño basado en una distancia y en una magnitud. Las leyes de atenuación son capaces de prever con notable precisión las aceleraciones registradas en los sismos que fueron utilizados como base, convirtiéndolo en una herramienta esencial, en las tareas cotidianas, como el diseño de estructuras y la evaluación del riesgo sísmico a nivel global.

Para lograr una comprensión más sólida del tema, es fundamental proporcionar descripciones y explicaciones de ciertos conceptos y definiciones. Estas aclaraciones contribuirán a una comprensión más completa del contenido.

2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. Sismología.

La sismología, es un término derivado del griego “seísmo” (terremoto) y “logos” (estudio), que constituye una rama de la geofísica que se dedica a la investigación de terremotos y a la propagación de ondas mecánicas, sísmicas generando tanto en el

interior como en la superficie terrestre.

En términos generales, los terremotos se originan en los límites de las placas tectónicas, siendo el resultado de la acumulación de tensiones debido a las interacciones entre dos o más de estas placas. Un terremoto se caracteriza por ser un suceso en el cual se produce una ruptura en la corteza terrestre, desencadenada por campos de esfuerzo que sobrepasan la capacidad de resistencia de la roca. Como consecuencia, se libera la energía acumulada durante años en las capas de la tierra.

Este proceso alcanza su punto máximo cuando la roca cede y, en cuestión de minutos, este libera toda la energía acumulada. Esta energía viaja a lo largo de la corteza a distancias significativas, a veces cientos de kilómetros, y se vuelve perceptible para los seres humanos.

Lo que establece la frecuencia y la intensidad de los movimientos sísmicos es lo siguiente: esta es la magnitud que se define a partir del instante en que ocurre el terremoto, la cual guarda una relación con el tamaño del área de ruptura y también con la cantidad de deslizamiento que tiene lugar en la falla correspondiente.

2.3.2. Sismicidad del Ecuador.

La costa ecuatoriana se encuentra a 200km, y se caracteriza por ser un área con una alta actividad sísmica. Este fenómeno se debe a su posición en la intersección de las placas tectónicas de Nazca, Pacífico y Sudamericana, lo que la convierte en una de las zonas más dinámicas en términos sísmicos a nivel global. (MONCAYO THEURER, 2017). Estas placas están en movimiento constante, lo que da sitio a una gran cantidad

de actividad sísmica en la región.

Basado en documentos históricos en esta zona se han dado importantes eventos sísmicos, que provienen de aparatos de medición sísmica, en la que se han utilizado más de 2400 eventos que se obtuvieron del USGS (Servicio Geológico Norteamericano) en siglas en inglés, de acuerdo a esto el primer gran terremoto en Ecuador fue el del 7 enero 1901 con una magnitud de 7,8 con un epicentro en la zona de Guayaquil de 1 a 100 km.

Luego otro terremoto azoto Ecuador el 31 de enero de 1906, con una magnitud de 8,8 a una profundidad de 25km, su epicentro fue de 100km fuera de la costa del país en el océano pacifico.

El tercer terremoto más fuerte fue el 28 de septiembre en 1906 en el mismo año que el anterior, con una magnitud de 7,5 a una profundidad de 150km cercano a Guayaquil, por lo que estos tres sismos lo constituyen como etapa de reactivación sísmica en el país. (MONCAYO THEURER, 2017)

El terremoto más reciente y también devastador registrado en la historia de Ecuador fue el que tuvo lugar el 16 de abril del año 2016, alcanzando una magnitud de 7,8. Este sismo golpeo severamente la costa norte del país, terremoto que causo gran destrucción en las provincias de Esmeraldas y Manabí, dejando cientos de fallecidos y heridos, así como también daños significativos en infraestructuras. La ciudad de Quito también está ubicada en una zona sísmicamente activa, esta ciudad ha experimentado terremotos significativos en el pasado y para ello se ha implementado normas de construcción que ayuden a garantizar la seguridad estructural de edificios. Como resultado, podemos decir que los terremotos se originan debido a la liberación de la energía almacenada en las

áreas de interacción entre las placas tectónicas. Este proceso de liberación de energía resulta en la fractura y deslizamiento de las rocas a lo largo de las fallas, lo cual a su vez genera la propagación de las ondas sísmicas.

Por esta razón, es que, al revisar este documento, se brindara la oportunidad de comprender la metodología que conduce a los hallazgos y para comprender las recientes propuestas leyes de atenuación. Estas leyes pueden convertirse en una herramienta valiosa para actividades como el diseño de estructuras y como también el análisis de riesgo sísmico en todo el mundo.

2.3.3. Ondas Sísmicas.

Las ondas sísmicas son oscilaciones elásticas, que son generadas por la liberación de energía mecánica durante el proceso de ruptura en el foco sísmico o hipocentro. Estas ondas se desplazan en diversas direcciones desde su origen, alejándose de él.

Existen dos tipos principales de ondas sísmicas como son ondas internas y ondas superficiales.

Las ondas sísmicas internas: se desplazan desde su punto de inicio hasta la superficie de la tierra y estas a la vez se dividen en ondas de dos tipos, como son ondas S y ondas P.

Las ondas P: también denominadas ondas primarias o longitudinales que producen oscilaciones en la misma dirección que se están propagando.

Las ondas S: también están denominadas como ondas secundarias o transversales,

su forma de propagarse es causando movimientos perpendiculares a su dirección, y esto lo hace a través del material que atraviesan.

Por otro lado tenemos **las ondas sísmicas superficiales**, están generadas por una combinación de las primeras ondas que son las ondas internas y que se desplazan principalmente por capas superficiales de la tierra, y se subdivide en Ondas Rayleigh y las Ondas Love, en las que ambas son ondas transversales, mientras que por otro lado podemos destacar que las Ondas Rayleigh tienen una similitud a las olas que produce el mar, y que las ondas Love en su desplazamiento producen o causan deformaciones que son perpendicular horizontal. (abc. , 2014)

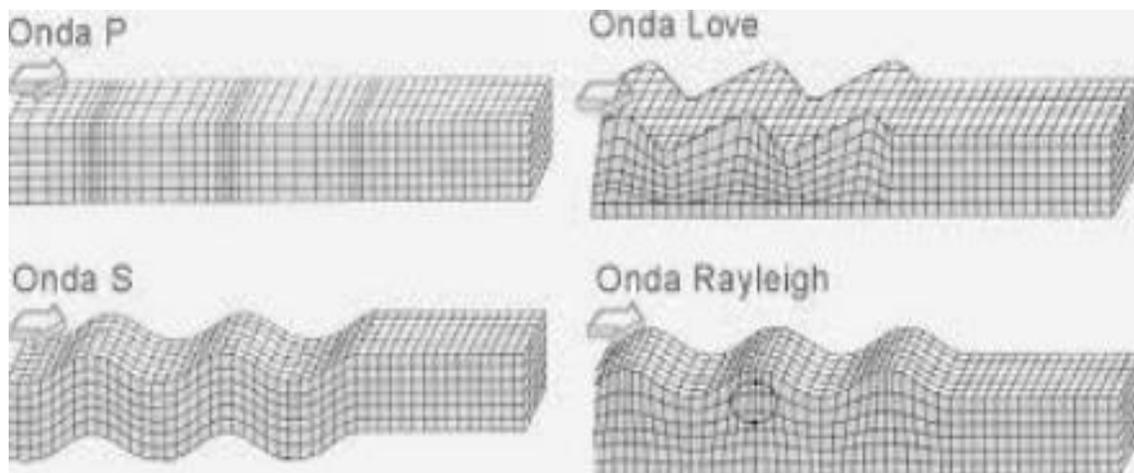


Ilustración 1: Tipos de ondas Sísmicas

Fuente: (Bolt, 1994)

2.3.4. Energía Liberada.

La energía liberada, es aquella que se propaga por medio de ondas sísmicas desde el punto focal o hipocentro en profundidad, hasta que llega a la superficie de esta llamada

epicentro, lo que provoca sacudidas en el terreno.

La energía acumulada y liberada es definida como la capacidad para realizar un trabajo, ejecutándose un trabajo sobre el material, guardándose en el material como energía de deformación, en la que se da la igualdad de Energía de deformación = Trabajo realizado. (MONCAYO THEURER, 2017)

De hecho, podremos decir que se da un aumento en términos geométricos, lo que constituye un proceso en el que la energía se redistribuye, conduciendo esto a la disipación de energía, en otras palabras, la energía liberada durante el proceso de ruptura no se convierte en otro tipo de energía, pero que, si experimenta cambios tanto en su distribución en el espacio, así como también en su distribución en el tiempo.

Lo que hace la expansión geométrica, se refiere al proceso de reducción en la amplitud de las ondas a medida que estas se van propagando y que se dan en función de distancia. Esto es particularmente relevante en la expansión de energía, en donde las pérdidas de propagación son más notables en frecuencias bajas con periodos largos y distancias hipocentrales cortas.

Esta expansión geométrica es un fenómeno, que tiende a manifestarse en diversos tipos de medios y podría decirse que también en diversos tipos de ondas. Puesto que la energía que se libera o genera se dispersa en todas las direcciones en la onda sísmica, por lo que se podría decir que, si una onda se propaga en un medio que es tridimensional, esto implicaría un aumento en la superficie de la onda, lo que resultaría en una menor energía en la onda y esto a medida que su dimensión se incrementa.

Podría parecer que la onda estuviera experimentando una disminución aparente de

energía, pero lo que en realidad ocurre es que la energía persiste y se mantiene constante en la onda y de manera continua.

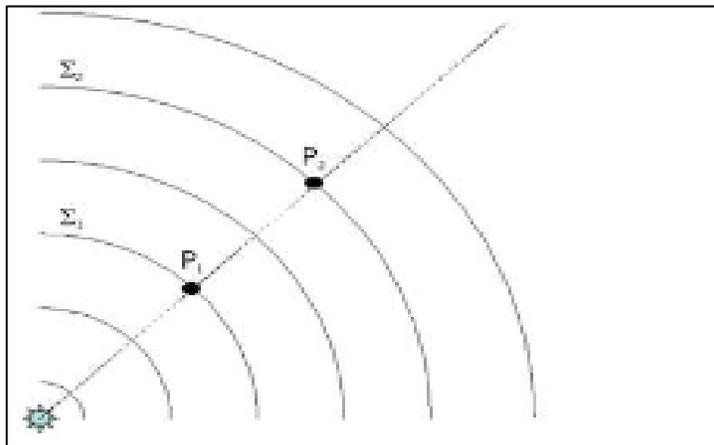


Ilustración 2: Fuente puntual emitiendo frentes de ondas circulares

Fuente: (Martínez, 2005)

Para poner como ejemplo sencillo a cómo actúa la expansión geométrica, podemos realizar un experimento sencillo soplando a través de un tubo de forma cónica. A medida que soplemos, el aire saldrá con mayor fuerza por el extremo de mayor radio del cono en comparación con cuando soplamos por el extremo de radio más pequeño. Al soplar, se generan ondas de presión que se distribuyen en volúmenes más grandes, lo que resulta en una onda de presión de menor energía en un punto específico, debido a esta mayor distribución.

Otro ejemplo, que se puede poner es lanzar una piedra a un lago: las primeras ondas que se forman tendrán una altura mayor que las ondas que les siguen, ya que la energía debe distribuirse en una superficie más amplia.

En términos matemáticos, para expresar la expansión geométrica, se deben

considerar sus efectos en la amplitud de la onda en lugar de en la energía directamente, dado que la energía no puede medirse de manera directa de esta forma. (Martínez, 2005)

Localización de un sismo

Con el propósito de determinar la ubicación del punto focal o hipocentro, el lugar de origen del terremoto, se emplea un método basado en las diferencias en el tiempo de llegada de las ondas P (longitudinales - primarias) y las ondas S (transversales - secundarias) en relación a las estaciones de medición. Para lograr la estimación geográfica del epicentro, se requieren al menos tres estaciones. Se trazan tres círculos con radios correspondientes a las distancias calculadas, y el punto de intersección de las líneas de estos tres círculos indicará la distancia obtenida en cada estación. Esta intersección brindará la localización aproximada del epicentro.

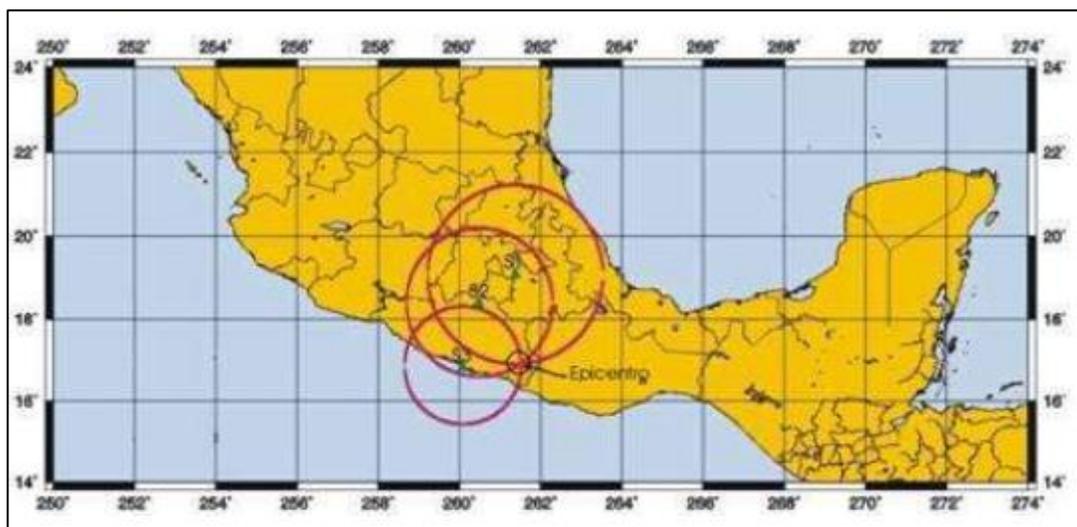


Ilustración 3: Ubicación del epicentro

Fuente: (G.c., 2011)

2.3.5 Principal Causa del Sismo.

La principal causa de los sismos es la que se produce por la interacción de las placas tectónicas, así mismo no es la única causa, porque también se puede lograr por cualquier esfuerzo de concentración de energía en rocas que pueda generar el sismo, lo cual depende del grado de concentración de esfuerzos en una determinada área.

2.3.6. Hipocentro.

Se conoce como hipocentro o foco sísmico al punto interno de la Tierra desde el cual se origina el movimiento sísmico o terremoto. A partir del análisis de las ondas, se establece que a medida que la onda se distancia de su punto de origen, es decir, del hipocentro, su intensidad disminuye gradualmente, lo que lleva a la disipación o atenuación de su energía.

2.3.7. Epicentro.

El epicentro corresponde a la proyección del hipocentro en la superficie terrestre, siendo esta la vertical que parte desde el foco. Normalmente, el epicentro es el lugar donde se experimenta una intensidad sísmica más elevada. Es así como mientras el hipocentro reside en el interior de la litosfera, el epicentro se localiza en la superficie terrestre.

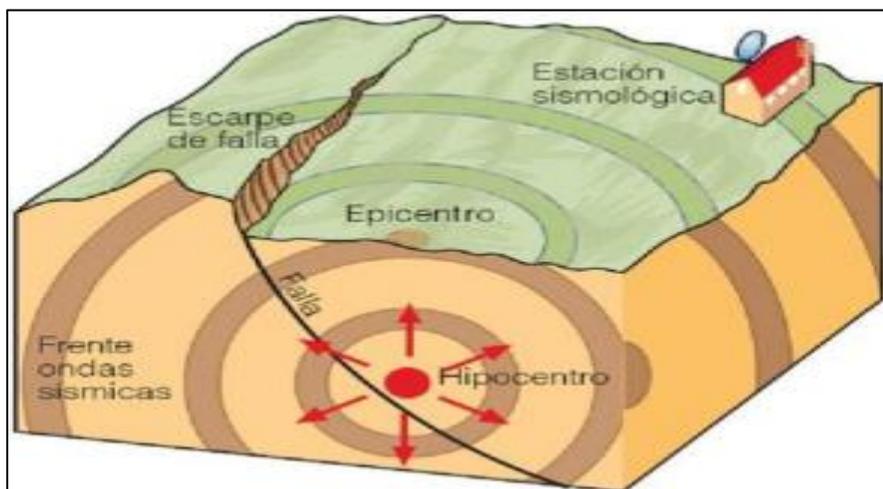


Ilustración 4: Falla geológica, hipocentro y epicentro

Fuente: (López, 2016)

Los terremotos son categorizados en función de su origen en tres tipos: superficiales, intermedios y profundos.

Un sismo es considerado profundo si sucede a más de 300 km de profundidad. Aquellos que se califican como superficiales ocurren a menos de 60 km o alrededor de 70 km de profundidad. Por otro lado, los de origen intermedio se producen entre una profundidad mayor a 60 km, pero menor a 300 km, mientras que se clasifican con una profundidad normal cuando se sitúan entre los 30 km y 60 km de profundidad.

2.3.8 Falla Geológica.

Una falla geológica es descrita como una fractura o región fracturada en la capa superficial de la Tierra. A lo largo de esta fractura, se produce un desplazamiento de bloques en paralelo. Estas fracturas pueden afectar a las rocas o al suelo, y en conjunto, pueden tener dimensiones que abarcan varios kilómetros tanto en ancho como en longitud.

Cabe mencionar que la superficie de la fractura no es suave ni está lubricada de manera que los bloques puedan deslizarse de manera suave. Las irregularidades o protuberancias presentes en la superficie frenarán este movimiento, lo que conduce a una acumulación significativa de energía en la zona. Llegado el momento, estas asperezas no pueden resistir la presión y se rompen, lo que resulta en un desplazamiento abrupto del bloque a lo largo de la falla. La energía acumulada se libera en este punto y se originan las ondas sísmicas que finalmente generan el temblor. (Sección de sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica, 2019)

Los terremotos son el resultado del movimiento relativo que ocurre entre las placas tectónicas y las principales fallas geológicas. Estas últimas están estrechamente vinculadas con los sismos y se describen de la siguiente manera:

Fallas invertidas: Se presentan en áreas sometidas a compresión y resultan en un desplazamiento ascendente de la porción inferior.

Fallas normales: Corresponden a zonas bajo tensión, causando un desplazamiento hacia abajo de uno de los bloques. Este tipo de falla ocurre cuando la placa oceánica se ubica debajo de la placa continental, generando un foco sísmico a profundidades mayores de 45 km.

Falla de desplazamiento o desgarradura: Se origina por un desplazamiento horizontal entre los bordes de las placas tectónicas. Estas fallas suelen tener lugar a poca profundidad y pueden representar un gran riesgo en áreas cercanas a poblaciones.

Falla de subducción: Ocurre cuando las placas oceánicas más delgadas se introducen bajo las placas continentales. En este proceso, la introducción de la placa oceánica en el continente provoca un aumento de temperatura y la emisión de vapores, lo que contribuye a la deformación de la corteza terrestre.

En el caso de Ecuador, una importante falla geológica atraviesa el país debido a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana en el océano. Este proceso de falla tiene su origen en el borde continental y resulta en la formación de fracturas que desencadenan el movimiento sísmico. (El Comercio, 2014)

2.3.9 Aceleraciones Máximas (PGA).

Desde un enfoque técnico, la representación matemática y el análisis del movimiento terrestre se fundamenta en considerar la aceleración, la velocidad y el desplazamiento del suelo. Previo al empleo de las aceleraciones máximas PGA (Aceleración Máxima del Terreno), que son detectadas por las estaciones sismográficas. (Taípe, L., & Ruiz, M., 2013)

2.3.10 Estación Sísmica.

Contar con una base de datos de calidad es esencial, especialmente aquella que abarque los eventos que tienen lugar en una región. Por esta razón, una estación sismológica está compuesta por una serie de dispositivos que registran los movimientos sísmicos en áreas específicas. Estos instrumentos desempeñan un papel crucial al capturar, almacenar y distribuir datos relacionados con la actividad sísmica y, por consiguiente, con el desplazamiento del suelo.

Una estación sismológica se compone típicamente de tres sismómetros, que pueden ser triaxiales, con componentes vertical y dos horizontales (Norte-Sur y Este-Oeste), o uniaxiales con componente vertical. Estos dispositivos de registro permiten capturar las señales para luego almacenarlas y transmitir las en tiempo real desde el área de estudio hasta el centro de recolección de datos. Estas estaciones operan de manera autónoma debido a su bajo consumo de energía.

El sistema de adquisición de datos convierte las señales sísmicas en señales eléctricas que pueden ser digitalizadas y medidas en consecuencia.

2.3.11 Acelerómetros.

Los acelerógrafos o acelerómetros posibilitan la generación de un gráfico denominado acelerograma, el cual presenta la variación de las aceleraciones en una ubicación específica. Estos dispositivos están compuestos por tres sensores ortogonales que capturan el movimiento del suelo en componentes vertical y horizontal (Norte-Sur, Este-Oeste).

Estos dispositivos son útiles para registrar los valores máximos de los eventos sísmicos, que luego son procesados y analizados. De esta forma, se determinan las máximas aceleraciones, su nivel de intensidad y también las características a las que las estructuras fueron sometidas durante el terremoto o sismo. (Instituto Geofísico- EPN, s.f.)

2.3.12 Sismómetros.

Es un instrumento que se lo utiliza para la medición de los movimientos de la tierra, y

en términos generales, consiste en una masa suspendida en un resorte que, a su vez, se encuentra suspendido sobre una base. Esta masa se desplaza en consonancia con los movimientos de la superficie terrestre, siendo su movimiento relativo respecto a la base. Este desplazamiento puede ser representado gráficamente, dando lugar al sismograma. El sismógrafo proporciona parámetros del origen de un terremoto, como la hora, localización epicentral, profundidad y magnitud.

Un terremoto ocurre cuando las ondas sísmicas inducen el movimiento del suelo, y para detectar esta clase de movimiento se hacen uso de dispositivos especiales, como los sismómetros y los acelerómetros. (Instituto Geofísico- EPN, s.f.)

2.3.13 Distancia Epicentral.

Es la distancia que se extiende desde el punto de observación o una estación sismológica hasta el epicentro del temblor, y se calcula a lo largo de la superficie terrestre.

2.3.14 Profundidad.

La profundidad es la que identifica la ubicación de donde fue liberada la energía.

2.3.15 Magnitud.

Es una sola medida que refleja la magnitud de un terremoto, indicando la cantidad de energía liberada durante el evento sísmico.

2.3.16 Sitios de Obtención de Datos.

CESMD: Es el Centro de Ingeniería de Datos de Movimientos Fuertes, del cual lo

establecieron al Servicio Geológico de Estados Unidos. (USGS) y al Servicio Geológico de California (CGS), para proporcionar un único punto de acceso para registros de movimientos fuertes de terremotos y metadatos de estaciones del CGS California Strong-Motion Program de instrumentación de movimiento, el Programa de movimiento fuerte de ingeniería nacional de USGS y el Sistema sísmico nacional avanzado (ANSS)

De EE. UU.

El Centro proporciona datos de movimiento fuerte de EE. UU., procesados uniformemente para aplicaciones de ingeniería sísmica en www.strongmotioncenter.org. El CESMD se basa en el Centro de datos de ingeniería de la Red sísmica integrada de California (CISN), por lo que continuará sirviendo a la región de California mientras se expande para atender a otras regiones de ANSS.

Todas las estaciones cargadas en el CESMD se pueden ver fácilmente en forma de mapa y los datos se pueden descargar fácilmente.

El Servicio Geológico de Estados Unidos. (USGS) y al Servicio Geológico de California (CGS) han establecido el Centro de Ingeniería de Datos de Movimiento Fuerte (CESMD) como una instalación única y unificada para proporcionar datos de movimiento fuerte de terremotos para aplicaciones de ingeniería.

El objetivo del Centro es proporcionar datos oportunos, de calidad controlada y

fácilmente accesibles de terremotos nacionales e internacionales de interés para la ingeniería. (Center for Engineering Strong Motion Data CESMD., 2011)

Las páginas de archivo están ordenadas por fecha de evento (la más reciente en la parte superior).

Earthquake Name: Any		Region: Any					
Magnitude: 4 to 9		Year (4-digit): 1933 to 2023					
Faulting Type: Any		Station type: Any					
Station (City, Name or No): Any		Epicentral Dist. (km): Any					
Site Class: Any							
PGA (g): Any							
Event Name	Event ID	Magnitude	Latitude	Longitude	Origin Time (UTC)	Fault Type	Record Count
Estacion Coahuila, B.C. Earthquake of 16 Jul 2023	ci39614338	4.3 MLR	31.5422	-114.3972	2023-07-16 19:37:19	--	1
Estacion Coahuila, B.C. Earthquake of 16 Jul 2023	ci39614322	4.6 MW	31.5663	-114.4147	2023-07-16 19:16:05	--	1
Maneadero, B.C. Earthquake of 16 Jul 2023	ci39614090	4.2 ML	31.5388	-115.6795	2023-07-16 10:37:12	--	1
Maneadero, B.C. Earthquake of 12 Jul 2023	ci39611306	4.0 ML	31.7612	-115.9215	2023-07-13 01:42:53	--	7
Petrolia Earthquake of 03 Jul 2023	nc73908361	4.0 MW	40.4000	-125.6437	2023-07-03 17:56:59	--	3
Hihifo Earthquake of 23 Jun 2023	us7000kap9	5.6 MWW	-15.2313	-173.0091	2023-06-23 19:06:12	--	1
Talmage Earthquake of 17 Jun 2023	nc73902356	4.3 MW	39.0893	-123.0895	2023-06-18 03:44:59	--	16
The Geysers Earthquake of 03 Jun 2023	nc73895826	4.5 MW	38.7922	-122.7785	2023-06-03 12:01:18	--	23
Prattville Earthquake of 26 May 2023	nc73890170	4.1 ML	40.2267	-121.1478	2023-05-26 11:26:25	--	3
Petrolia Earthquake of 21 May 2023	nc73890906	5.6 MW	40.3775	-125.5628	2023-05-21 18:44:01	--	26

Ilustración 5: Resumen de los registros en las estaciones según CESMD

Fuente: (CESMD, 2000)

CENSIS: Es el Centro Sismológico Nacional, que forma parte del Instituto Geofísico del Perú (IGP), del cual contiene un catálogo sísmico es una base de datos valiosa para ingenieros e investigadores en sismología.

RENAC: Es la Red Nacional de Acelerógrafos permanente en el Ecuador, que cubre 3 regiones como lo es Costa, Sierra y Oriente, principales ciudades, esta entidad recopila información valiosa para investigar el desplazamiento del terreno y calcular aceleraciones. Estos datos son utilizados en la formulación de leyes de atenuación, que a su vez contribuyen al análisis de la amenaza sísmica en la región y a la evaluación de cómo las estructuras responden ante los sismos. (Instituto Geofísico- EPN, s.f.)

2.3.17 Matriz de Decisión.

Una matriz de decisión o también conocida como una matriz de toma de decisiones o de selección, la cual también es considerada una herramienta analítica que permita evaluar y comparar opciones y estas en función de múltiples criterios, que nos ayuda a tomar decisiones al organizar y visualizar los datos más relevantes en una estructura tabular. Esta matriz de decisión se compone de dos elementos importantes como los son las opciones y los criterios.

Lo referente a las opciones son las diversas alternativas que se están considerando, por otro lado, los criterios son aquellos factores o también llamados aspectos que serán de utilidad para evaluar y comparar esas opciones.

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

3.1. Tipo de Estudio

Podemos describir este trabajo como un análisis investigativo que implica la recopilación de información o datos de diversas fuentes provenientes de centros de medición reconocidos y experimentados, y que hayan sido capturados en numerosas estaciones, con la disponibilidad de estos registros para su posterior análisis. Y el estudio cuantitativo que involucra utilizar métodos estandarizados de recolección de datos que nos ayude a explicar la razón y el porqué de las cosas esquematizando resultados, a través de herramientas como tabla de decisión, modelos matemáticos que representen los resultados de forma clara.

3.2. Población muestra y muestreo

En este trabajo de investigación se tomó en consideración y fue de mucha ayuda los registros de datos de sismos de centros de medición reconocidos como lo es el Centro de Ingeniería de Datos de Movimientos Fuertes (CESMD), el Centro Sismológico Nacional, del Instituto Geofísico del Perú (IGP) – CENSIS, la Red Nacional de Acelerógrafos permanente en el Ecuador (RENAC) , abarca las estaciones sismológicas donde se instalan instrumentos en diversos lugares a lo largo del país, incluyendo áreas de suelo duro y suelo suave. Estos dispositivos capturan datos esenciales para calcular

las leyes de atenuación, centrándose en el PGA (Peak Ground Acceleration) del registro o la aceleración máxima registrada durante el evento sísmico.

3.3. Métodos Técnicas e Instrumentos

3.3.1. Métodos.

Se propone una metodología matemática de regresión que implica la adaptación de un modelo matemático a los datos observados, estimando parámetros del modelo para lograr la mejor relación entre las variables. En este enfoque, se utilizó una fórmula exponencial y logarítmica que se ajustó de manera cercana a los datos, generando así una curva que permite visualizar la tendencia o patrón de los datos y evaluar la calidad de la adaptación del modelo.

Esta curva se utiliza para predecir las aceleraciones a diversas distancias para terremotos de diferentes magnitudes. Para llevar a cabo este análisis, se seleccionaron sismos de referencia que permitieron ajustar la fórmula final a los eventos sísmicos escogidos.

3.3.2. Técnicas.

Se presenta un enfoque matemático para generar una curva predictiva de aceleraciones en función de la distancia para terremotos de distintas magnitudes. Este análisis involucra la selección de sismos base con el propósito de ajustar la fórmula final a estos eventos seleccionados. Estos sismos base fueron elegidos sin discriminación por profundidad, tipo de suelo o ubicación, abarcando una variedad de sismos de todo el

mundo.

Para asegurar la confiabilidad de los datos, se consideraron los siguientes criterios:

Los registros de terremotos deben proceder de centros de medición reconocidos y con experiencia.

Los sismos seleccionados deben ser de fechas recientes.

Se prefirieron sismos registrados en numerosas estaciones y cuyos datos estén disponibles para su análisis. Tanto los acelerogramas como la ubicación de las estaciones deben estar accesibles públicamente.

De esta manera, se buscó garantizar la calidad y solidez de los datos utilizados en el análisis.

3.3.3. Instrumentos.

Para recopilar datos, se consideraron los registros de acelerómetros, que proporcionan información sobre las aceleraciones en un lugar específico. Estos dispositivos cuentan con tres sensores ortogonales que capturan el movimiento del suelo, registrando tanto la componente vertical como las horizontales en las direcciones N-S y E-O.

Además, se utilizó el sismógrafo, un instrumento que proporciona los parámetros fundamentales de un terremoto, como la hora, la ubicación epicentral, la profundidad y la magnitud.

3.4. Plan de Procesamiento y Análisis

En este estudio de investigación, se da prioridad a la exactitud matemática de las aceleraciones, incluye el contrastar las nuevas leyes de atenuación, con los valores de PGA de nuevos sismos de todo el mundo, de las cuales hayan sido registrados una gran cantidad de estaciones y cuyo acceso sea público de fuentes reconocidas con suficiente experiencia.

Para poder analizar los resultados en esta investigación se utilizó, del software Excel hojas de cálculo para tabular los datos obtenidos de las diferentes fuentes, que nos lleven a graficar las curvas de aceleraciones máximas del registro de los puntos máximos del PGA, también se implementó el cálculo de error como herramienta fundamental, que es el que nos permite evaluar la precisión y confiabilidad de las mediciones, modelos y predicciones, y que es esencial para realizar comparaciones, así como también validar resultados y mejorar la calidad de datos y análisis, dado esto el resultado obtenido en el cálculo de error como medida numérica, nos va a indicar que difiere entre el valor verdadero con el valor medio o estimado, y que cuanto menor sea el valor de error, pues habrá mayor precisión en la medición o estimación. Y por último se analizara una matriz de decisión dicha herramienta nos servirá para evaluar y poder elegir la mejor opción entre las diferentes alternativas, esta matriz nos proporciona una visión más general de las diferentes opciones, que nos ayuden a la toma de decisiones a considerar en una tabla en donde las filas representan diferentes opciones y que las columnas representan los criterios más relevantes, que nos proporcione una estructura clara y que

nos ayude en ese proceso de toma de decisiones.

3.5 Recolección de Data Sísmica

Los datos necesarios para el presente proyecto los valores máximos de aceleración del suelo obtenidos del (CESMD) y, en primera instancia se eligieron sismos representativos de diferentes magnitudes desde 4Mw a 9Mw con la data publicada en diferentes zonas del mundo que tuvieran más de 30 registros para poder obtener las curvas necesarias.

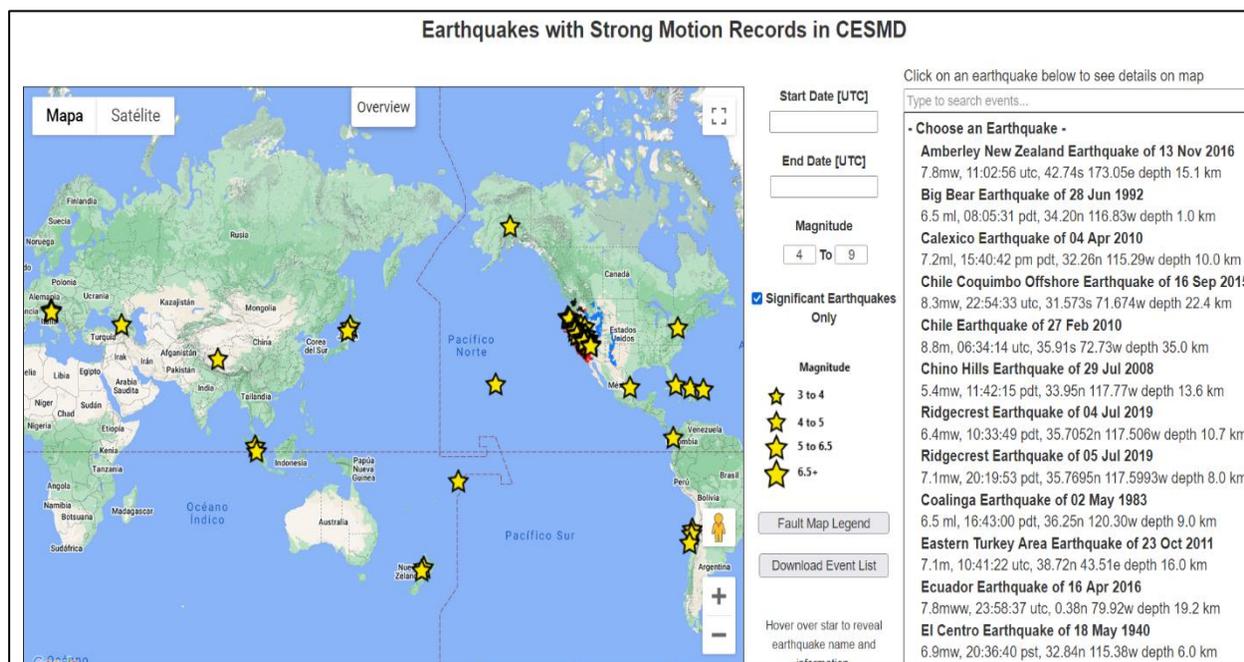


Ilustración 6: Ubicación de sismos significativos en el mundo

Fuente: (CESMD, 2000)

Con el software Ms Excel se realizará una curva con los valores reales de PGA vs Distancia epicentral, para después poder obtener la Curva Máxima de Aceleraciones

Reales (CMAR), ya que es la manera más eficiente de obtener valores faltantes debido a la inexistencia de instrumentos en los lugares adecuados.

Station	Code/ID	Network	Horiz Apk (g)			
			Epic.	Fault	Ground	Struct.
Carson - Main & Sepulveda	14846	CGS	2.6	--	0.421	--
Carson - Victoria & Avalon	14935	CGS	4	--	0.310	--
Wilmington - Avalon & Anaheim	14835	CGS	5.6	--	0.250	--
Harbor City - Normandie & Pac. Coast Hwy	14845	CGS	5.5	--	0.171	--
Long Beach - Santa Fe & Willow	14001	CGS	5.6	--	0.149	--
Manhattan Beach - Civic Center	14221	CGS	14.9	--	0.135	--
Paramount, I-710 and Hwy 91	LTP	SCSN	9.8	--	0.132	--
Warfield Avenue	Q0074	SCSN	11.8	--	0.124	--
Lomita - Narbonne & Pacific Coast Hwy	14831	CGS	6.8	--	0.104	--
La Fresa	LAF	SCSN	7.5	--	0.100	--
Downey - Florence & I605	14828	CGS	19.4	--	0.083	--
Torrance - Pac. Coast Hwy & Robinson	14037	CGS	7.9	--	0.082	--
Torrance; Fire Station No. 1	5411	NSMP	6	--	0.081	--
San Pedro - Palos Verdes Fire Station	14159	CGS	12.9	--	0.077	--
Torrance - Hawthorne & Torrance	14530	CGS	8.6	--	0.077	--
Los Angeles - MLK Hospital Grounds	14787	CGS	10.6	--	0.077	--
Los Angeles - Vermont & 182nd	14824	CGS	4.7	--	0.077	--
Redondo Beach - Grant & Mackay	14036	CGS	10.5	--	0.075	--
Gardena - 135th & Van Ness	14988	CGS	9.8	--	0.075	--
Downey - Imperial & Ardis	14675	CGS	15.6	--	0.071	--

Ilustración 7: Información de PGA y distancias epicentrales

Fuente: (CESMD, 2000)

Los datos hallados se digitaron en Ms Excel con el formato de tabla número 2, para los posteriores análisis y comparaciones.

Para los datos faltantes debido a la falta de máquinas de medición en sitio se tomará en cuenta una metodología basada de máximas aceleraciones que nos da como

aceleraciones se generan de manera exponencial creamos la curva CMAR.



Ilustración 8: Mapa de contornos PGA del sismo de California M.4.9

Fuente: (USGS, 2020)

Sabiendo que el PGA debería ser inversamente proporcional a la distancia epicentral es decir a mayor distancia menores aceleraciones; para obtener la curva CMAR ordenamos de mayor a menor los PGA reales obtenidos de los sismos y empezamos a descartar los datos que indiquen que a menor distancia epicentral existe una menor aceleración, dejando así una tabla y gráfica depurada de PGA vs Distancia epicentral, como se muestra en la Ilustración 9, siguiendo el formato de la tabla 3.

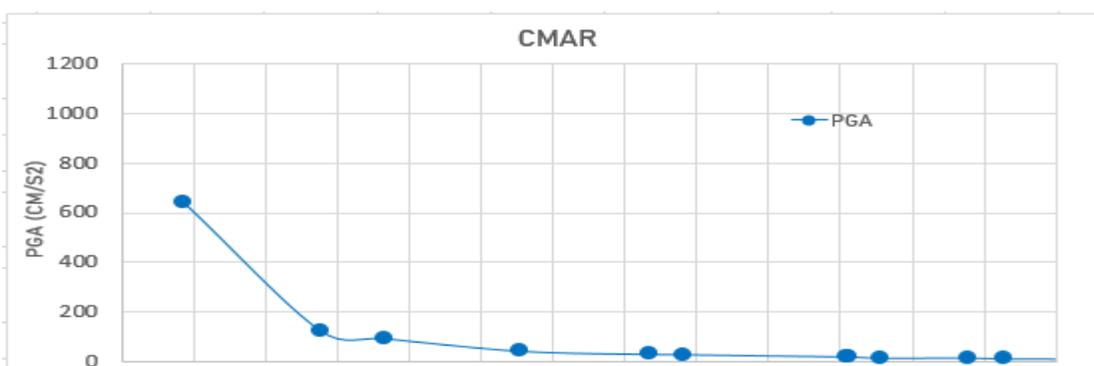


Ilustración 9: Gráfica depurada de PGA vs Distancia epicentral

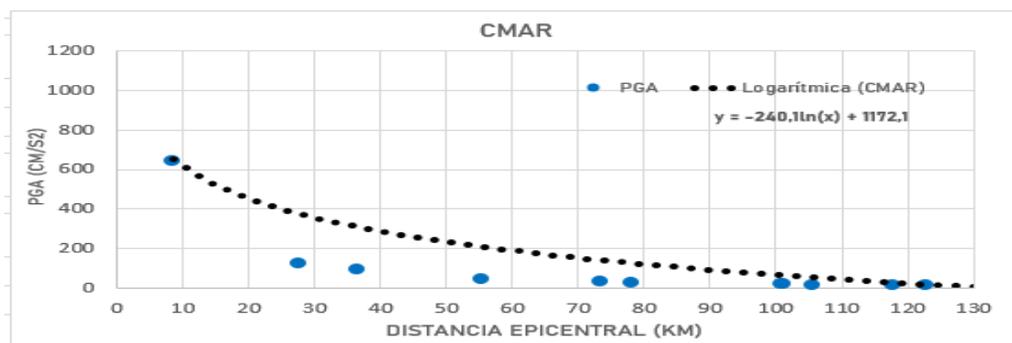
Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 3: Tabla para creación de curva CMAR sismo de California M.4.9 (2020)

	MAGNITUD	4.90
NOMBRE DE LA ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL	PGA
Rarick Springs	8.70	640.00
Mountain Center, Pine Meadows Ranch	12.50	148.00
Pinon Flat California USA	14.20	124.00
La Quinta - Bermudas & Durango	27.70	121.00
Palm Desert - 38th & Washington	36.70	90.00
Thousand Palms; Post Office	37.80	51.00
Polly Butte 2	44.50	51.00
Hemet - Cawston & Devonshire	55.40	39.00
Bombay Beach	73.50	26.00
Moreno Valley - Alessandro & Moreno Bch	78.20	25.00
Riverside - Airport	100.90	16.00
San Diego - Briarwood & Paradise Vly	101.40	16.00
Riverside - Limonite & Downey	105.60	11.00

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Después de obtener una curva un poco más armónica tomando en cuenta solo las máximas aceleraciones podemos generar una curva de tendencia exponencial o logarítmica que nos indique una fórmula para proceder al llenado de datos faltantes y así obtendremos nuestra curva CMAR como se muestra en la Ilustración 10.

**Ilustración 10:** Gráfica CMAR sismo de California M.4.9

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Después de obtener la curva CMAR ingresamos la formulación respectiva a MS Excel para obtener el resultado de cada una de las leyes de atenuación escogidas como se muestra en la tabla 2 para poder realizar la gráfica respectiva a cada sismo en donde podremos visualizar cual es la ley que más se acerca a los valores reales.

3.7 Matriz en Tercera Dimensión

Una matriz en tercera dimensión no es más que el conjunto de varias matrices que se rigen por los mismos parámetros dando así un resultado global de lo que se necesita calificar.

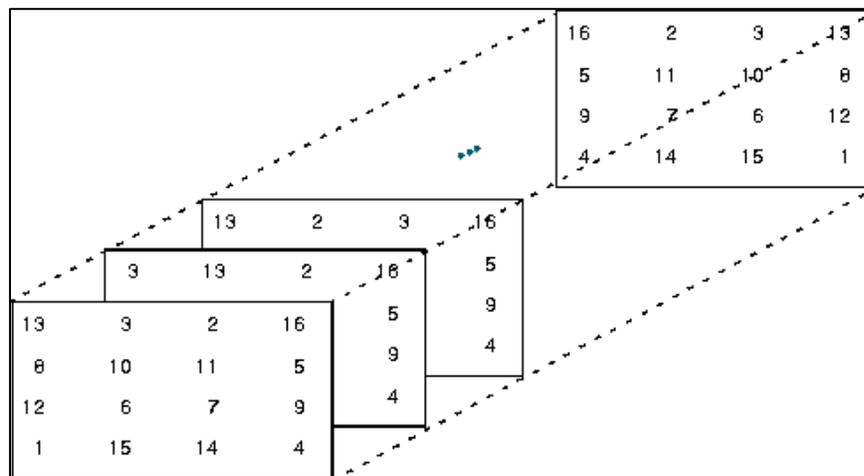


Ilustración 11: Matriz en Tercera Dimensión

Fuente: (UGRGS, 2023)

Para poder realizar una comparativa de las leyes se necesitan establecer varios parámetros a tomar en cuenta para calificar la eficiencia de la ley, en este caso para poder evaluar los 50 sismos utilizaremos una matriz en tercera dimensión.

El concepto de la matriz general nos habla de dos dimensiones en la que podemos calificar cada una de las leyes conforme a los parámetros que se mencionan más adelante, pero esto solo sirve para cada uno de los sismos, para esto necesitamos una matriz en tercera dimensión

A fin de cuantificar qué ley sería la mejor en diversas situaciones vamos a utilizar un sistema de ponderación del 1 al 5 siendo 1 la calificación menos favorable y 5 la más favorable.

Tabla 4: Formato de la matriz de decisión por sismo

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	---	---	---	---	---	---	---	---	---
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	---	---	---	---	---	---	---	---	---
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	---	---	---	---	---	---	---	---	---
% ERROR DEL PGA MAXIMO	---	---	---	---	---	---	---	---	---
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	---	---	---	---	---	---	---	---	---
PROMEDIO	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Se debe elaborar una matriz de decisión por sismo para obtener los valores definitivos de eficiencia según todos los parámetros a evaluar, como podemos observar en la tabla 4 este resultado se consigue promediando los valores obtenidos de cada uno de los parámetros por ley.

Cuando ya tenemos el resultado de eficiencia de la ley por sismo creamos una matriz con los resultados de cada uno de los sismos para obtener la eficiencia general de cada

una de las leyes como se muestra en la tabla 5.

También las podemos clasificar por magnitudes y de esta manera sabremos cual de todas las leyes de atenuación evaluadas se ajustan mejor según esta clasificación.

Tabla 5: Formato de tabla resultado de matrices por sismo

CODIGO	UBICACION	MAGNITUD (M _w)	FECHA	PROFUNDIDAD (KM)	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
1	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
...	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
...	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
...	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
...	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
...	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
...	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
...	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
50	---	---	--/--/----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
					PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 6: Formato de tabla resultado de matrices por magnitud

MAGNITUD (M _w)	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
4	---	---	---	---	---	---	---	---	---
5	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7	---	---	---	---	---	---	---	---	---
8	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

3.8 Parámetros de la Comparativa

Para poder realizar una comparativa que muestre correctamente la eficiencia de las leyes no se puede regir solo bajo un criterio tomando en cuenta esto hemos analizado cinco indicadores para poder calificar las leyes de atenuación y señalar cuál es la que mejor se ajusta según los diferentes rangos de magnitudes, a continuación, se detallan los parámetros a utilizar

3.8.1. Forma de la Curva.

El análisis de la forma de la curva consiste en visualizar y ponderar a nuestro criterio cuál de las leyes genera una curva que tenga la mayor similitud en forma con la curva CMAR.

Como ya observamos en la Tabla 3 se obtienen todos los valores de las leyes de atenuación para cada sismo, esta nos da como resultado una gráfica en donde podemos visualizar cada una de las leyes con respecto a los valores reales y la curva CMAR como se muestra en la ilustración 9.

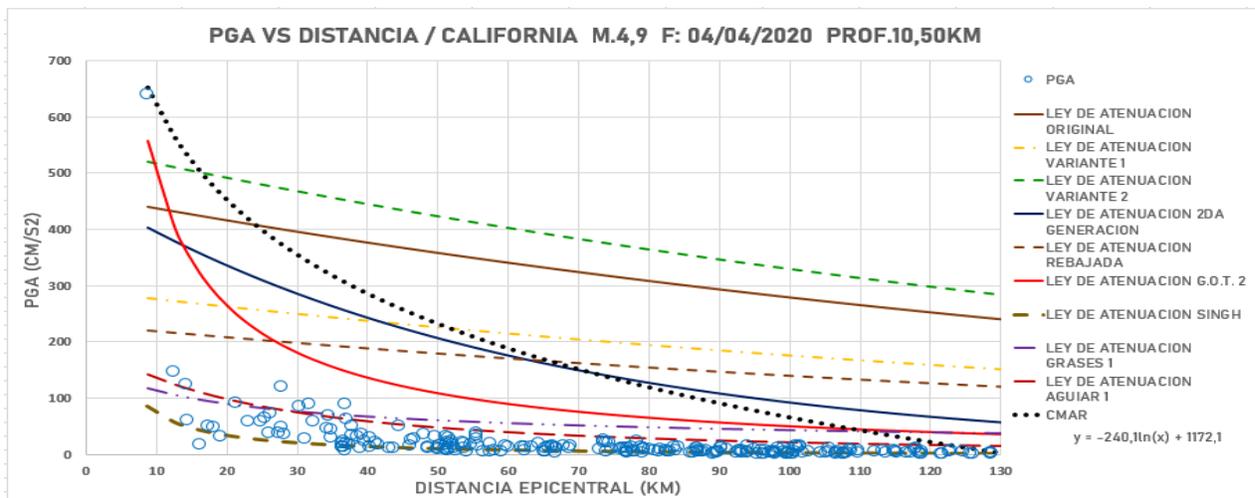


Ilustración 12: Curva de PGA VS Distancia

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

3.8.2. Acercamiento de la Curva.

Al igual que en el parámetro anterior el acercamiento de la curva se califica a criterio del evaluador según la gráfica generada por el sismo, tomando en cuenta CMAR como punto base se determina que la ley que genere la curva más cercana sería la más eficiente.

3.8.3. Cobertura de los Valores Máximos.

La cobertura de los valores máximos como su nombre lo explica se refiere a que las leyes que generen una curva por encima de los valores máximos de aceleraciones generados por el sismo serán mejor calificadas que las que estén por debajo de estos debido a que si se diseña por debajo de los valores las estructura pueden sufrir daños de leves a graves.

Este parámetro lo podemos calcular matemáticamente, lo primero que debemos hacer es filtrar los valores máximos de aceleración según la distancia, seguido de esto procedemos a calcular la cobertura de estos de acuerdo a la siguiente formula.

$$Cobertura = V_{ley} - V_{PGA}$$

Donde:

V_{ley} = Aceleración calculada de la ley de atenuación

V_{pga} = Aceleración real del sismo

Si el resultado es positivo nos indica que la ley si cumple con este parámetro.

Tabla 7: Formato para cálculo de cobertura de valores máximos

ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL	PGA	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00
xxx	---	---	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
xxx	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Para obtener los resultados que debemos ingresar en la matriz de decisión necesitamos calcular la cantidad de valores acertados, los cuales obtenemos de la siguiente manera:

$$V_{acer} = T_{datos} - V_{err}$$

Donde:

V_{acer} = Valores acertados

T_{datos} = Total de datos por Ley de atenuacion

V_{err} = Valores errados

Habiendo obtenido los valores acertados podemos calcular el porcentaje de cobertura conforme a la siguiente formula:

$$\%cobertura = \frac{V_{acer}}{T_{datos}} * 100$$

Considerando que la matriz de decisión pondera las leyes de 1 a 5 siendo 1 el valor

menos favorable y 5 el valor más favorable convertimos el porcentaje de cobertura a un valor dentro del rango establecido, esto lo haremos con la siguiente formula:

$$C_{matriz} = \frac{\%cobertura}{20 * 100}$$

Tabla 8: Formato de conversión a valores para usar en la matriz

	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
TOTAL DE VALORES	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
VALORES ERRADOS	11.00	0.00	2.00	3.00	3.00	2.00	2.00	0.00	2.00
VALORES ACERTADOS	2.00	13.00	11.00	10.00	10.00	11.00	11.00	13.00	11.00
PORCENTAJE DE COBERTURA	15%	100%	85%	77%	77%	85%	85%	100%	85%
CALIFICACION A LA MATRIZ	1	5	4	4	4	4	4	5	4

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

3.8.4. Porcentaje de Error.

El porcentaje de error es la medida que difiere del valor esperado con el valor obtenido real. El sujeto de interés de la presente investigación es el cálculo de error del punto máximo de aceleración de cada sismo con respecto a los valores que nos arrojan las leyes de atenuación y el valor de error promedio de la CMAR con respecto a los valores de las leyes antes mencionadas.

Para obtener este resultado usamos la siguiente fórmula:

$$\%error = \left| \frac{Ve - Vr}{Vr} \right| * 100$$

Donde:

Ve= Valor experimental

Vr= Valor real

En el formato de la Tabla 9 usamos esta fórmula para cada una de las leyes de atenuación y para cada sismo obteniendo así el error por cada punto registrado con respecto a CMAR para luego conforme al formato de la tabla 10 obtener el promedio de error de cada ley para los sismos del estudio.

Tabla 9: Formato calculo % error promedio por sismo según CMAR

ESTACION	CMAR	%ERROR DE LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR DE LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR DE LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR DE LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
USA	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
		PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 10: Formato cálculo de % de error promedio según CMAR

UBICACION	PROFUNDIDAD (KM)	MAGNITUD	CMAR	%ERROR DE LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR DE LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR DE LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR DE LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
NNN	6.00	4.00	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	17.60	4.10	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	17.80	4.20	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	11.90	4.30	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	11.80	4.40	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	11.00	4.50	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	3.10	4.60	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	13.80	4.70	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	8.10	4.80	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	11.00	4.80	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	10.50	4.90	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
				PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Otro parámetro importante para tomar en cuenta para esta comparativa es el punto máximo de aceleración por sismo y no solo el promedio, para el cálculo de este usaremos la misma fórmula sin embargo emplearemos el modelo de la Tabla 11, debido a que solo escogeremos la aceleración máxima registrada en cada sismo solo necesaria una matriz, para obtener el porcentaje general de error con respecto a el PGA registrado de todos los sismos del presente estudio.

Tabla 11: Formato cálculo de % de error con respecto a el PGA

UBICACION	PGA MAXIMO	%ERROR DE LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR DE LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR DE LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR DE LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
NNN	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
USA	----	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%	---%
		PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Ya habiendo obtenido los porcentajes de error de todos los sismos, existen varias formas de clasificarlos en este caso elegimos clasificarlos por magnitudes para poder determinar cuál de las leyes arroja un menor porcentaje de error de acuerdo con esta clasificación.

Empezamos organizando los sismos por magnitudes seguido de esto calculamos el promedio, realizamos esta comparativa para los dos parámetros de error que consideramos.

Tabla 12: Formato cálculo de % de error según magnitudes

%ERROR PROMEDIO POR MAGNITUDES									
MAGNITUD	%ERROR DE LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR DE LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR DE LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR DE LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
4.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
5.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
8.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Como resultado de este ejercicio tenemos la Tabla 12 que nos permitirá visualizar de una manera más organizada los respectivos porcentajes de errores de cada ley de atenuación presente en este estudio en base a las magnitudes de los sismos, para poder definir cuál ley se ajusta mejor en los diferentes casos.

CAPÍTULO IV

Desarrollo del Tema

4.1. Selección de Sismos de Control

Para mayor eficiencia de la contrastación de leyes necesitamos una amplia variedad de sismos que tengan diferentes ubicaciones, magnitudes y profundidades.

El primer paso para desarrollar será buscar y seleccionar sismos con suficiente data disponible, para una mayor confiabilidad de los resultados se seleccionaron sismos con un mínimo de 20 registros, en la tabla 10 se muestran los sismos de control seleccionados para la presente investigación.

Tabla 13: Sismos de control clasificados por magnitud

CODIGO	UBICACION	MAGNITUD (Mw)	FECHA	PROFUNDIDAD (KM)	NUMERO DE ESTACIONES
1	ITALIA	4.00	28/5/2023	6.00	39
2	ITALIA	4.10	29/10/2021	17.60	68
3	ROMANIA	4.20	12/1/2015	17.80	28
4	USA	4.30	18/9/2021	11.90	215
5	FRANCIA	4.40	22/3/2023	11.80	87
6	PUERTO RICO	4.50	18/7/2021	11.00	35
7	USA	4.60	25/1/2020	3.10	153
8	USA	4.70	18/5/2009	13.80	191
9	FRANCIA	4.80	7/4/2014	8.10	85
10	ITALIA	4.80	26/8/2016	11.00	88
11	USA	4.90	4/4/2020	10.50	233
12	ITALIA	5.00	27/1/2012	60.00	136
13	ITALIA	5.10	3/6/2012	9.00	106
14	USA	5.10	1/12/2018	42.90	48
15	ITALIA	5.20	18/1/2017	10.60	151

16	USA	5.20	10/6/2016	12.30	280
17	USA	5.30	5/6/2021	5.80	152
18	USA	5.40	29/7/2008	13.60	414
19	USA	5.50	3/6/2020	8.40	311
20	PUERTO RICO	5.60	7/1/2020	10.00	41
21	MEXICO	5.80	30/12/2009	6.00	26
22	TURQUIA	5.80	19/5/2011	7.00	46
23	USA	5.90	4/2/2010	23.00	24
24	USA	6.00	8/7/2021	7.50	357
25	USA	6.00	24/8/2014	11.00	453
26	USA	6.10	31/5/2021	44.00	100
27	ITALIA	6.20	24/8/2016	4.40	161
28	TURQUIA	6.30	20/2/2023	16.00	121
29	USA	6.40	4/7/2019	10.50	792
30	ALBANIA	6.40	26/11/2019	22.00	41
31	USA	6.50	15/5/2020	2.70	213
32	GRECIA	6.60	20/7/2017	7.00	43
33	ITALIA	6.60	30/10/2016	8.00	74
34	TURQUIA	6.70	6/2/2023	9.80	130
35	USA	6.90	4/5/2018	5.80	38
36	GRECIA	7.00	30/10/2020	21.00	74
37	USA	7.10	6/7/2019	8.00	874
38	JAPON	7.10	7/4/2011	42.00	136
39	USA	7.10	30/11/2018	46.70	66
40	USA	7.10	24/1/2016	125.60	49
41	MEXICO	7.20	4/4/2010	10.00	492
42	USA	7.30	28/6/1992	1.10	144
43	TURQUIA	7.50	6/2/2023	7.40	253
44	TAIWAN	7.70	20/9/1999	33.00	365
45	TURQUIA	7.80	6/2/2023	10.00	239
46	NUEVA ZELANDA	7.80	13/11/2016	15.10	145
47	ECUADOR	7.80	16/4/2016	19,2	22
48	PERU	8.00	26/5/2019	135.00	111

49	CHILE	8.80	27/2/2010	22.90	30
50	JAPON	9.10	11/3/2011	29.00	471

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

4.2. Recolección y Delimitación de Datos Sísmicos

Las leyes de atenuación a evaluar en este proyecto constan de dos variables, la magnitud del sismo y la distancia epicentral, debido a que el presente proyecto consta de una comparativa también es necesario los valores reales de aceleración de cada sismo para poder así determinar cuál de las leyes es la más eficaz.

Network ID	Network Name	Station Number	Station Name	Lat	Long	Epic Dist	Fault Dist	PGA _{v1} [g]	PGA _{v2} [g]	PGV[cm/s]	PGD[cm]	Sa [g] .3sec	Sa [g] 1sec	Sa [g] 3sec	Struct Apk[g]
CE	CGS	65097	Walker	4E+06	-1.2E+07	19	73	262	257	2887	61	535	440	57	--
NN	UNR	SJC	Sonora Junction California w84gm	3	4E+06	-1.2E+07	184	141	171	949	20	0	0	0	--
NN	UNR	EBPB	Lower Ebbet's Pass California	4E+06	-1.2E+07	280	254	46	47	248	5	0	0	0	--
CE	CGS	65654	Bridgeport - Main & School Street	4E+06	-1.2E+07	366	315	42	42	459	11	102	55	15	--
NN	UNR	MND1	Minden/Gardnerville Fire Stn RT130-ANSS w84gm	4E+06	-1.2E+07	487	417	31	31	421	6	0	0	0	--
NN	UNR	WILB	Upper Willow So Lake Tahoe CA	4E+06	-1.2E+07	490	430	25	25	137	4	0	0	0	--
NN	UNR	QNBC	Queen Bee Mono County California	4E+06	-1.2E+07	554	493	49	48	269	4	0	0	0	--
NN	UNR	YER	Yerington Nevada w84gm	4E+06	-1.2E+07	576	509	16	16	93	2	0	0	0	--
NN	UNR	TVH1	TV Hill Hawthorne sequence BB+Strong Mot	4E+06	-1.2E+07	643	605	13	13	105	2	0	0	0	--
NN	UNR	PNT	Pine Nut Nevada w84	4E+06	-1.2E+07	651	581	9	9	77	2	0	0	0	--
NN	UNR	ZPR	Zephyr Cove Lake Tahoe Nevada	4E+06	-1.2E+07	678	610	24	24	120	3	0	0	0	--
NP	NSMP	2020	Yerington - MasonVly WildlArea	4E+06	-1.2E+07	714	641	19	19	126	4	0	0	0	--

Ilustración 13: Formato de presentación de datos sísmicos

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

<input checked="" type="checkbox"/>	Network	Station	Sensor ID	Instrument code	Method	EC8 code	Epicentral distance [km]	Azimuth	Horizontal PGA [cm/s ²]	Horizontal PGV [cm/s]	Horizontal PGD [cm]	Processing	Go
<input checked="" type="checkbox"/>	IV	EMCN		HN	Surface geology	A	5.6	347.8	37.508	0.935	0.069	manual (Paolucci et al 2011)	-N-
<input checked="" type="checkbox"/>	IV	EVRN		HN	Surface geology	A	9.8	126.8	16.841	0.674	0.047	manual (Paolucci et al 2011)	-N-
<input checked="" type="checkbox"/>	IT	SVN	00	HN	Surface geology	A	9.8	131.8	13.395	0.458	0.030	manual (Paolucci et al 2011)	-N-
<input checked="" type="checkbox"/>	IV	ECHR		HN	Surface geology	A	13.3	242.4	0.676	0.037	0.004	manual (Paolucci et al 2011)	-N-
<input checked="" type="checkbox"/>	IV	EPOZ		HN	Surface geology	A	14.7	121.9	4.351	0.218	0.027	manual (Paolucci et al 2011)	-N-
<input checked="" type="checkbox"/>	IT	BNT	00	HN	Surface geology	A	18.4	283.5	1.498	0.106	0.011	manual (Paolucci et al 2011)	-N-
<input checked="" type="checkbox"/>	7C	SPAOL		HN	Topography	B	21.5	174.2				bad quality record	
<input checked="" type="checkbox"/>	IT	TAO	00	HN	Surface geology	A	24.4	59.8	1.324	0.052	0.004	manual (Paolucci et al 2011)	-N-
<input checked="" type="checkbox"/>	IT	NVR1	00	HN	Geophysical survey	B	30.9	13.5	1.099	0.062	0.005	manual (Paolucci et al 2011)	-N-
<input checked="" type="checkbox"/>	IT	CAT	00	HG	Geophysical survey	D	32.7	180.1	0.604	0.038	0.008	manual (Paolucci et al 2011)	-N-

Ilustración 14: Formato de presentación de datos sísmicos

Fuente: (ESM , 2021)

4.3 Contrastación de Leyes de atenuación frente a CMAR y Datos

Reales

De los registros disponibles por sismo calculamos las leyes de atenuación, en la que para esto se han escogido 5 sismos de control representando a cada magnitud evaluadas en el presente estudio de los 50 sismos que se tomó para el análisis detallado de la contrastación, para ello tendremos en representación de los sismos de Magnitud 4 el de California, Estados Unidos con magnitud 4,7 Mw del 18 de Mayo del 2009, con una profundidad 13,80Km. Para sismos de 5 el sismo de Turquía de magnitud de 5,8Mw del 18 de mayo del 2011, que se situó a 7,0km de profundidad. Por los sismos de 6 elegimos el de Alaska, Estados Unidos con magnitud 6,10Mw del 31 de mayo del 2021, que se ubicó a 44 Km de profundidad. En representación de los sismos de 7 se seleccionó el sismo de Ecuador con una magnitud de 7,8Mw del 16 de abril del 2016, con una profundidad de 19,2km y finalmente para los sismos de 8 distinguimos el de Chile con magnitud 8,8Mw con fecha del 27 de Febrero del 2010, con una profundidad de 22,90Km.

Estos sismos nos servirán de resumen para explicar la contrastación de la eficiencia de las nuevas leyes de atenuación frente a sismos reales

Debido a que los valores de aceleración son inversamente proporcionales a las distancias epicentrales necesitamos la curva CMAR siendo esta la razón por la que representamos la contrastación de las nueve leyes de atenuación escogidas a evaluar

con esta curva, correspondiente a una curva de tendencia de las aceleraciones máximas al epicentro, es decir que la que más se acerca a la curva CMAR, entre las leyes de atenuación como lo son: la Ley de atenuación Original, Ley de atenuación Variante1, Ley de atenuación Variante2, Ley de atenuación de 2da generación, Ley de atenuación Rebajada, Ley de atenuación G.O.T. 2, Ley de atenuación Singh, Ley de atenuación Grases 1(G1), y la Ley de atenuación de Aguiar 1(A1).

4.3.1 Sismo de California, Estados Unidos M.4,7 del 18/05/2009.

Para el sismo de California, Estados Unidos con magnitud de 4,7Mw que data el 18 de mayo del 2009 con profundidad de 13,80 Km, encontramos 191 estaciones que brindaron registros de aceleración máxima por cada una de estas. En la Ilustración 15 observaremos la gráfica generada de este.

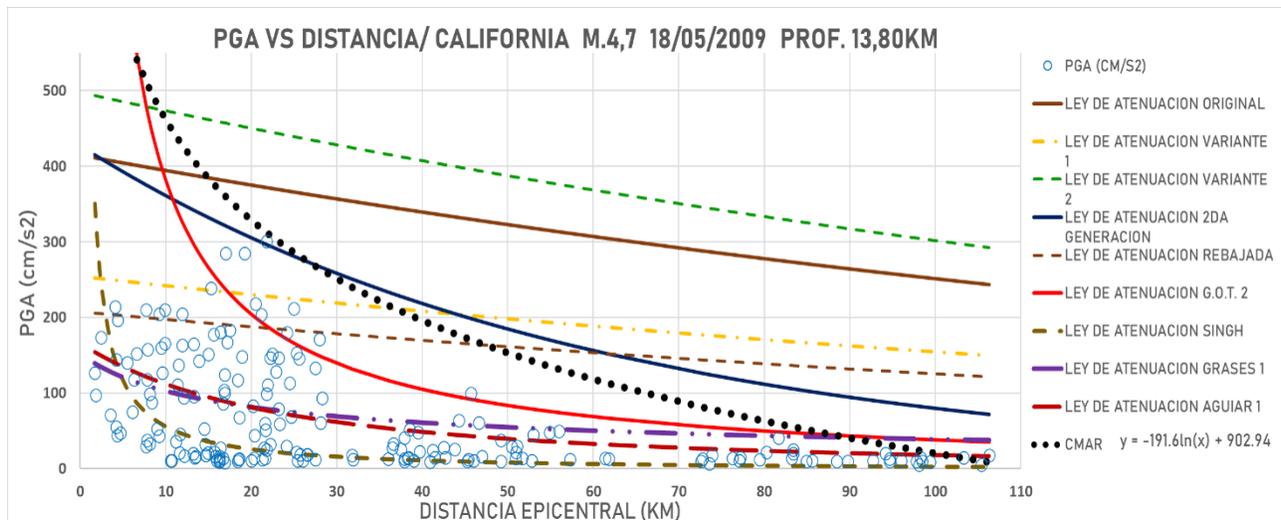


Ilustración 15: Grafica de PGA Vs Distancia – California M4,7

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

La curva CMAR (Curva de aceleraciones máximas registradas), representada con la línea no contigua de puntos en color negro, fue calculada con un procedimiento matemático de regresión logarítmica siguiendo la forma de la curva de los valores máximos registrados en este sismo que están representados en la gráfica con los círculos azules.

De las que se puede visualizar que, de todas estas leyes, la que más se acerca a la curva de CMAR, convirtiéndolas en las curvas más eficientes para predecir aceleraciones máximas, es la curva de la Ley de atenuación de 2da generación con valores más aproximados a los reales y a los predichos por la curva, con una cobertura completa de los valores máximos registrados, aunque la forma de la curva no sea tan similar a la de CMAR y la curva de Ley de atenuación G.O.T. 2. Que cumple con una forma de curva similar a la de CMAR, pero no se encuentra tan cercana a la curva base de evaluación y es eficiente con la cobertura de aceleraciones máximas registradas posicionándola en un segundo lugar.

Sin embargo, el análisis visual de la gráfica de PGA Vs Distancia para el sismo de California, Estados Unidos de 4,7Mw, no será suficiente para sacar una conclusión, por lo que se sugiere utilizar métodos matemáticos exactos como el porcentaje del error relativo y la cobertura de valores máximos.

4.3.2 Sismo de Turquía M.5,8 del 19/05/2011.

Para el sismo de Turquía con una magnitud de 5,8 con fecha del 19/05/2011 a una distancia epicentral de las estaciones de 26,80 km hasta 230,50km, situado a una

profundidad de 7,0 km. Dicha ilustración a continuación muestra 46 registros disponibles que se obtuvieron de sitios de obtención de datos del CESMD (Centro de ingeniería de datos de movimientos fuertes).

La curva CMAR (Curva de aceleraciones máximas registradas), representada con la línea no contigua de puntos en color negro, fue calculada con un procedimiento matemático de regresión, para la cual se pudo determinar que la curva más apropiada que podría describir los datos fue una curva logarítmica. La forma de la curva de los valores máximos registrados en este sismo que están representados en la gráfica con los círculos azules.

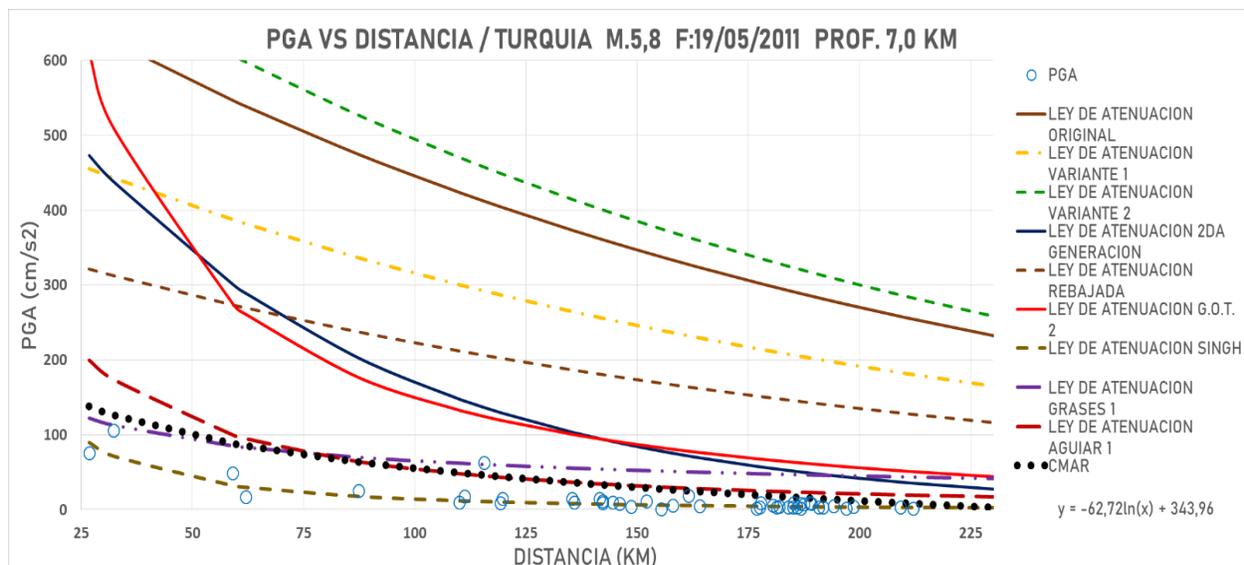


Ilustración 16: Grafica de PGA Vs Distancia - Turquía M 5,8

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De lo que se puede observar en la Ilustración 16 resaltan las leyes de atenuación de Aguiar y Grases 1 con un gran acercamiento y similitud de forma de la curva CMAR

Sin embargo, analizar la gráfica de PGA Vs Distancia para el sismo de Turquía M5,8,

no será suficiente para sacar una conclusión, por lo que se sugiere sacar la cobertura de valores máximos, porcentaje de error de CMAR como el porcentaje de error del PGA.

Por lo que se realizara el cálculo de error comparativo, hasta llegar a la matriz decisión donde podremos saber la eficiencia de las nuevas leyes de atenuación.

4.3.3 Sismo de Alaska Estados Unidos M.6,1 del 31/05/2021.

Para el sismo de Alaska, Estados Unidos con magnitud de 6,1Mw que data el 31 de mayo del 2021 con profundidad de 44 Km, encontramos 92 estaciones que brindaron registros de aceleración máxima por cada una de estas con distancias epicentrales desde 45,30 km hasta 313, 3km, los que generaron la gráfica presentada en la Ilustración 17.

La curva CMAR (Curva de aceleraciones máximas registradas), representada con la línea no contigua de puntos en color negro, fue calculada con un procedimiento matemático de regresión logarítmica siguiendo la forma de la curva de los valores máximos registrados en este sismo que están representados en la gráfica con los círculos azules.

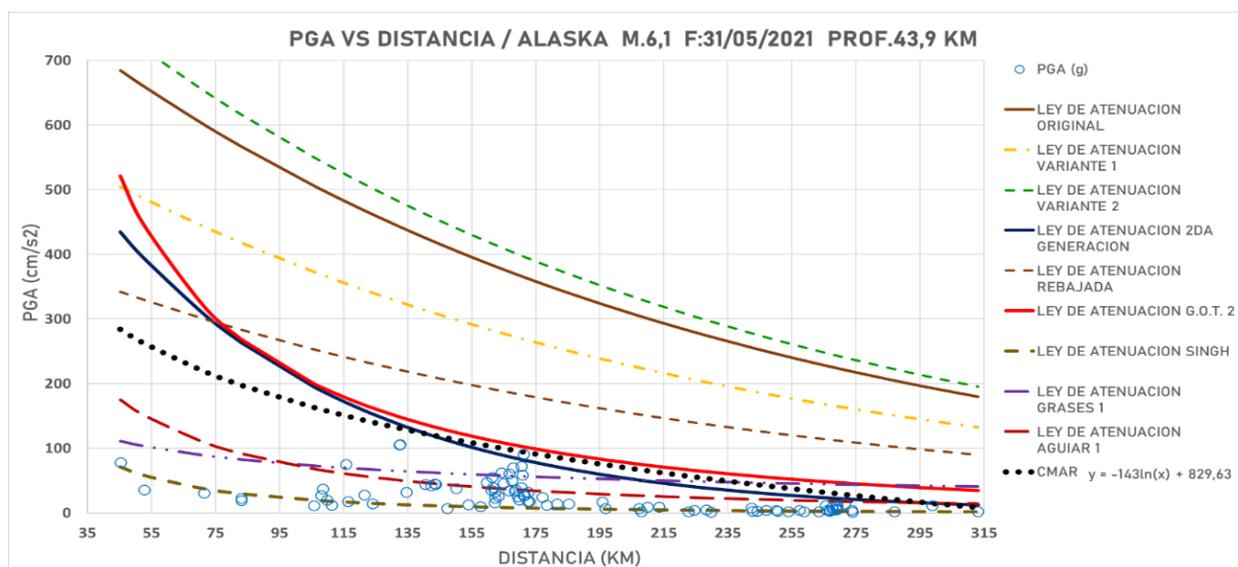


Ilustración 17: Grafica de PGA Vs Distancia - Alaska M6,1

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De la Ilustración 17 se puede visualizar que, de todas estas leyes, la que más se acerca a la curva de CMAR, convirtiéndolas en las curvas más eficientes para predecir aceleraciones máximas, es la curva de la Ley de atenuación de 2da generación con valores más aproximados a los representados por la curva CMAR, con una cobertura completa de los valores máximos registrados, aunque la forma de la curva no sea tan similar a la de CMAR antes de los 135 km notamos que después de esta distancia la ley es más que eficiente en estos parámetros. Por otra parte, tenemos la curva de Ley de atenuación G.O.T. 2. Que también tiene una cobertura completa de los valores y una cercanía y similitud a la forma de la curva CMAR a partir de los 135 km.

Sin embargo, el análisis visual de la gráfica de PGA Vs Distancia para el sismo de Alaska, Estados Unidos de 6,1Mw, no será suficiente para sacar una conclusión, por lo

que se sugiere utilizar métodos matemáticos exactos como el porcentaje del error relativo para CMAR y el valor máximo del PGA y la cobertura de valores máximos.

4.3.4 Sismo de Ecuador M. 7,8 del 16/04/2016.

Para el sismo de Ecuador con una magnitud de 7,8 con fecha del 16 de abril del 2016 a una distancia epicentral de las estaciones de 36km hasta 492km, situado a una profundidad de 19,2km. Dicha ilustración a continuación muestra 22 registros disponibles que se obtuvieron de sitios de obtención de datos del CESMD.

La curva CMAR (Curva de aceleraciones máximas registradas), representada con la línea no contigua de puntos en color negro, fue calculada con un procedimiento matemático de regresión, para la cual se pudo determinar que la curva más apropiada que podría describir los datos fue una curva logarítmica. La forma de la curva de los valores máximos registrados en este sismo que están representados en la gráfica con los círculos azules.

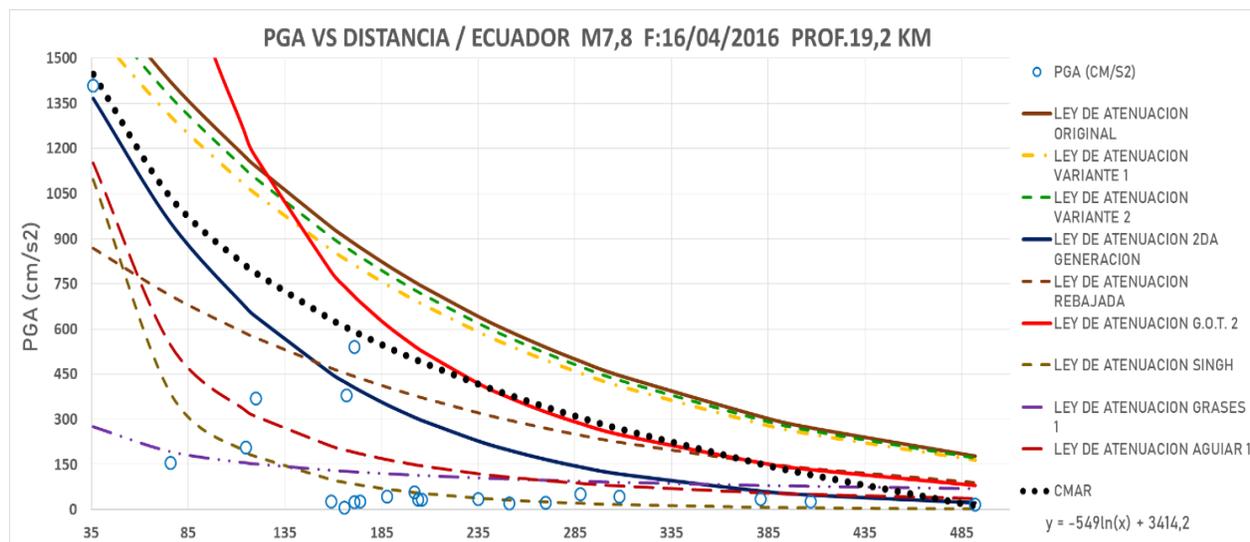


Ilustración 18: Grafica de PGA Vs Distancia - Ecuador M7,8

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Como resultado del análisis visual de todas estas leyes, la que más se acerca a la curva de CMAR, convirtiéndolas en las leyes más eficientes para predecir aceleraciones máximas, es la curva de la Ley de atenuación de 2da generación con la mayor similitud de forma y acercamiento a la curva CMAR en toda la distancia de estudio y un análisis visual rápido de una gran cobertura de valores máximos también muy competitiva en eficiencia tenemos la curva de Ley de atenuación G.O.T. 2. Que funciona muy bien a partir de los 235km de distancia epicentral en criterios como forma y acercamiento de curva antes de esta distancia la ley nos resulta demasiado dando resultados de aceleraciones muy altas, también podemos observar que la ley de atenuación Rebajada es bastante competitiva con una gran cobertura de valores reales.

Sin embargo, analizar la gráfica de PGA Vs Distancia para el sismo de Ecuador Magnitud 7,8, no será suficiente para sacar una conclusión, por lo que se sugiere realizar los cálculos matemáticos exactos para el porcentaje de cobertura de valores máximos registrados, el porcentaje de error de CMAR y el porcentaje de error del PGA.

4.3.5 Sismo de Chile M.8,8 del 27/02/2010.

Para el sismo de Chile con magnitud de 8,8Mw que data el 27 de febrero del 2010 con profundidad de 22,9 Km, encontramos 30 estaciones que brindaron registros de aceleración máxima por cada una de estas con distancias epicentrales desde 69,70 km hasta 394,10km, los que generaron la gráfica presentada en la Ilustración 19.

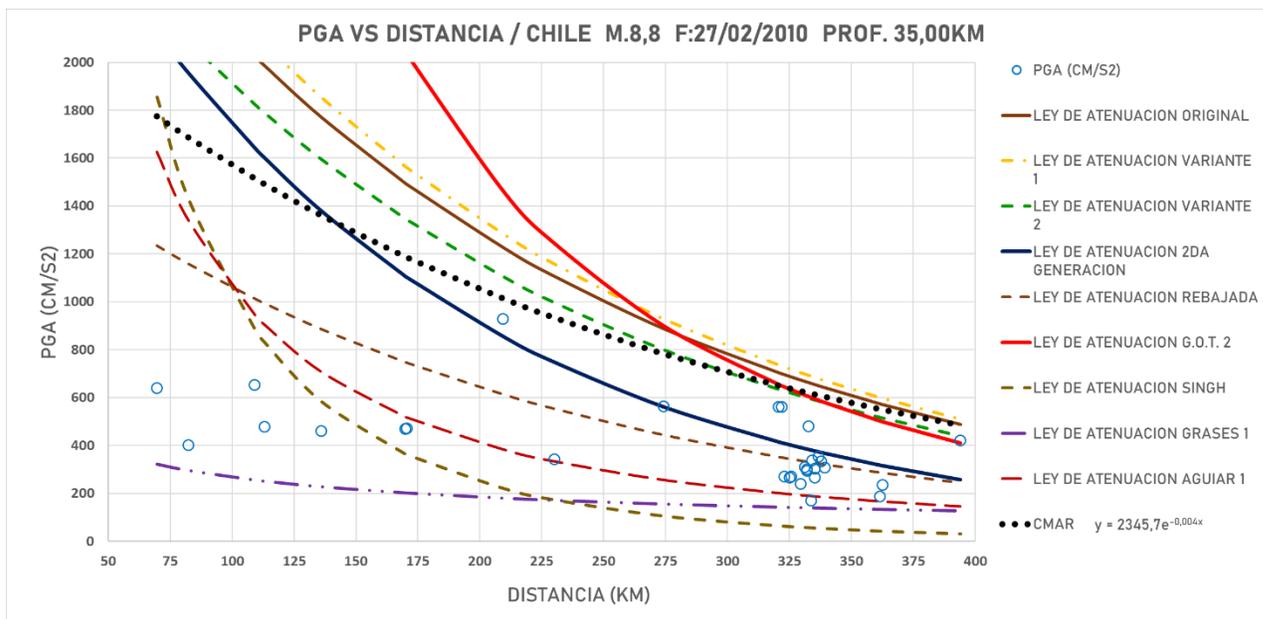


Ilustración 19: Grafica de PGA Vs Distancia - Chile M8,8

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Para la creación de CMAR (Curvas de Valores Máximos Registrados) utilizamos un modelo matemático creado a partir de la organización de datos de relación inversa de aceleración / distancia y por medio del software MS Excel creamos una línea de tendencia que cubra los valores máximos y siga la forma original de los registros reales que en este caso es exponencial.

Como resultado del análisis visual de todas estas leyes, la que más se acerca a la curva de CMAR, convirtiéndolas en las leyes más eficientes para predecir aceleraciones máximas, es la curva de la Ley de atenuación Variante 1 con una gran similitud de forma y mayor acercamiento a la curva CMAR, también con una completa cobertura de todas las aceleraciones registradas, las curvas de las leyes de atenuación Original y Variante 2 son también muy competitivas solo que un poco más conservadoras.

Como ya sabemos analizar la gráfica de PGA Vs Distancia para el sismo de Chile Magnitud 8,8, no será suficiente para sacar una conclusión, por lo que se sugiere realizar los cálculos matemáticos exactos para el porcentaje de cobertura de valores máximos registrados, el porcentaje de error de CMAR y el porcentaje de error del PGA.

4.4 Porcentajes de Cobertura de Valores Máximos

Se implemento el cálculo matemático de porcentaje de cobertura de valores máximo debido a que por más cercano que este la proyección de aceleraciones a los valores reales si son inferiores hacen que la ley se vuelva totalmente ineficiente, como seguimos una curva de valores máximos registrados este criterio se encarga de cubrir los mismos.

En primer lugar, nos concentramos en filtrar y organizar los registros desde la aceleración mayor a la menor, luego eliminamos las aceleraciones bajas a distancias cortas y dejamos las columnas de aceleraciones y distancias ordenadas de mayor a menor y de menor a mayor respectivamente.

Después de haber seleccionado los datos necesarios obtenemos los valores que están cumplen con el parámetro restando la aceleración calculada según la ley menos el PGA real, si el valor es positivo es acertado y si el valor es negativo es un valor errado es decir se encuentra fuera del parámetro.

4.4.1 Sismo de California, Estados Unidos M.4,7 del 18/05/2009.

Para el sismo de California, Estados Unidos de magnitud 4,7 tenemos después de filtrar la información nos quedamos con 11 registros útiles para el cálculo de porcentaje de cobertura, en la siguiente tabla encontramos los resultados de cada uno de estos por

ley de atenuación a evaluar, tenemos en color rojo los que no cumplen y en verde los que si cumplen con este parámetro.

Tabla 14: Cobertura de valores máximos – California M.4,7

ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL	PGA	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
Long Beach - Municipal Airport	21.8	301	70.86	-72.64	74.15	-4.45	-115.07	-112.15	-277.46	-222.04	-223.91
Cerritos, State Rd and Del Amo Blvd.	25	212	153.96	12.73	72.97	69.07	-29.02	-45.91	-191.95	-137.23	-141.47
Long Beach - 2nd & Claremont	28	171	189.51	50.39	71.89	96.30	9.25	-21.86	-153.49	-99.66	-105.85
Huntington Beach - Adams & Bushard	45.7	100	229.98	102.64	65.80	98.72	64.99	-8.11	-90.58	-42.63	-56.64
Fountain Valley, I-5 at Santa Ana River	46.6	61	267.49	140.73	65.50	134.74	103.25	29.07	-51.83	-4.15	-18.43
Newport Beach - Balboa Island	56	50	263.41	142.46	62.50	117.23	106.71	24.28	-42.88	2.08	-14.49
Capistrano Beach - I5/Via Calif. Bridge	81.7	41	234.62	128.26	54.96	67.73	96.81	7.73	-36.96	2.18	-17.61
Lake Mathews Dam	83.4	25	248.29	142.82	54.49	80.68	111.64	22.57	-21.09	17.73	-2.18
Riverside - Hwy 91 & Van Buren	83.4	20	253.29	147.82	54.49	85.68	116.64	27.57	-16.09	22.73	2.82
Riverside, UCR campus	94.2	20	238.92	139.00	51.63	68.19	109.46	21.11	-16.80	20.15	-0.31
Moreno Valley - 3-story County Hospital	106.3	18	225.72	131.67	48.60	54.01	103.86	17.37	-15.41	19.71	-1.08

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

En la tabla 15 encontramos los resultados del análisis de la Tabla 14, y con estos datos podemos ir a la matriz de decisión para la evaluación general.

Tabla 15: Calificación de Cobertura de Valores máximos - California M.4,7

	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
TOTAL, DE VALORES	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
VALORES ACERTADOS	0.00	1.00	0.00	1.00	2.00	4.00	11.00	5.00	10.00
VALORES ERRADOS	11.00	10.00	11.00	10.00	9.00	7.00	0.00	6.00	1.00
PORCENTAJE DE COBERTURA	100%	91%	100%	91%	82%	64%	0%	55%	9%
CALIFICACION A LA MATRIZ	5	5	5	5	5	4	0	3	1

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Obtenidos estos resultados podemos concluir que las nuevas leyes de atenuación propuestas por el Ing. Moncayo tienen una cobertura casi total de los valores máximos, con porcentajes desde 82% a 100% de aciertos dándonos un resultado de 5 que es el valor máximo de calificación para la matriz.

4.4.2 Sismo de Turquía M.5,8 del 19/05/2011.

Para el sismo de Turquía de magnitud 5,8 tenemos después de filtrar la información nos quedamos con 6 registros útiles para el cálculo de porcentaje de cobertura, en la siguiente tabla encontramos los resultados de cada uno de estos por ley de atenuación a evaluar, tenemos en color rojo los que no cumplen y en verde los que si cumplen con este parámetro.

Tabla 16: Cobertura de valores máximos - Turquía M.5,8

ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL	PGA	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
KÜTAHYA GEDİZ METEOROLOJİ MÜDÜRLÜĞÜ	32.30	106.00	519.17	336.93	588.26	332.14	206.58	403.64	-34.74	6.55	67.77
BURSA M. KEMAL PAŞA ORMAN İŞLETMENLİĞİ	115.60	63.00	349.20	229.04	394.76	73.50	143.10	61.51	-52.22	-2.48	-17.90
BALIKESİR BANDIRMA METEOROLOJİ MÜDÜRLÜĞÜ	161.60	19.00	308.51	213.04	344.71	52.69	144.76	59.07	-13.51	31.66	9.59
İZMİR MAVİŞEHİR KARŞIYAKA BELEDİYESİ	188.80	9.00	276.86	193.53	308.46	39.99	133.93	52.41	-5.15	37.59	13.88
İZMİR DİKİLİ METEOROLOJİ MÜDÜRLÜĞÜ	189.20	8.00	277.29	194.13	308.82	40.71	134.65	53.20	-4.17	38.53	14.81
İSTANBUL ŞİLE YILDIRIM BAYAZIT ANA	230.50	5.00	227.07	159.42	252.71	22.32	111.03	38.92	-2.68	36.79	12.04

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 17: Calificación de Cobertura de Valores máximos - Turquía M.5,8

	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
TOTAL, DE VALORES	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
VALORES ACERTADOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	1.00	1.00
VALORES ERRADOS	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	0.00	5.00	5.00
PORCENTAJE DE COBERTURA	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	83%	83%
CALIFICACION A LA MATRIZ	5	5	5	5	5	5	0	5	5

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

En la tabla 17 nos arroja con resultados valores del 100% de cobertura para las cinco nuevas leyes presentadas por el Ing. Marcelo Moncayo, también tenemos un porcentaje del 100 % de cobertura en la ley de atenuación G.O.T. 2 a continuación y aun dentro del rango que obtiene 5 de calificación tenemos las leyes de Grases 1 y Aguiar 1 con un

porcentaje del 83% y finalmente con 0% de acierto en cobertura de valores máximos se posiciona le ley de atenuación de Singh.

4.4.3 Sismo de Alaska, Estados Unidos M.6,1 del 31/05/2021.

Para el sismo de Alaska, Estados Unidos de magnitud 6,1 tenemos después de filtrar la información nos quedamos con 10 registros útiles para el cálculo de porcentaje de cobertura, en la siguiente tabla encontramos los resultados de cada uno de estos por ley de atenuación a evaluar, tenemos en color rojo los que no cumplen y en verde los que si cumplen con este parámetro.

Tabla 18: Cobertura de valores máximos - Alaska M.6,1

ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL	PGA (g)	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
Chagach Park Drive	132.60	106.00	336.53	220.00	375.23	30.67	115.27	42.43	-93.25	0.61	-55.43
Chugach Park Dr	132.50	105.00	337.76	221.17	376.47	31.86	116.38	43.58	-92.23	0.62	-54.38
AK: Anchorage ; Rabbit Creek	171.10	91.00	274.04	177.92	305.96	-8.94	91.52	11.61	-83.56	0.62	-55.52
AK: Anchorage Port Wells, AK	172.60	32.00	330.32	234.91	362.00	48.45	149.16	69.25	-24.71	1.76	3.04
TAPS Pump Station	177.10	24.00	330.26	236.97	361.23	51.79	153.13	73.31	-17.12	2.31	9.77
Bus Barn Fairbanks AK USA	195.80	17.00	305.63	220.68	333.85	42.16	144.32	65.96	-11.58	3.09	12.20
AK: Fbnks; Cold	265.50	11.00	216.70	156.74	236.61	12.49	102.85	37.55	-8.61	4.05	7.51
Ragged Mountain AK USA	269.10	11.00	212.64	153.75	232.19	11.40	100.82	36.31	-8.70	4.02	7.13
Manley Hot	298.70	11.00	181.87	131.08	198.73	4.13	85.44	27.49	-9.34	3.79	4.44
	313.10	2.00	177.47	130.21	193.16	10.50	87.74	32.92	-0.57	20.33	12.35

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 19: Calificación de Cobertura de Valores máximos - Alaska M.6,1

	COBERTUR A ORIGINAL	COBERTUR A VARIANTE 1	COBERTUR A VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTUR A REBAJADA	COBERTUR A G.O.T. 2	COBERTUR A SINGH	COBERTUR A GRASES 1	COBERTUR A AGUIAR 1
TOTAL, DE VALORES	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
VALORES ACERTADOS	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	10.00	0.00	3.00
VALORES ERRADOS	10.00	10.00	10.00	9.00	10.00	10.00	0.00	10.00	7.00
PORCENTAJE DE COBERTURA	100%	100%	100%	90%	100%	100%	0%	100%	70%
CALIFICACION N A LA MATRIZ	5	5	5	5	5	5	0	5	4

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

En este sismo tenemos resultados de 70% a 100%, nuevamente han destacado las nuevas leyes de atenuación y como es de esperar G.O.T. 2, posicionándose en primer lugar con un 100% de aciertos a excepción también debemos mencionar la ley de atenuación de Singh que resulto completamente ineficiente bajo este parámetro con un 0% de acierto.

4.4.4 Sismo de Ecuador M. 7,8 del 16/04/2016.

Para el terremoto de magnitud 7.8 en Ecuador, posterior a filtrar la información, nos quedan 7 registros útiles para calcular el porcentaje de cobertura de valores máximos de aceleración registrados, de un rango de distancia desde 36km hasta 492km como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20: Cobertura de valores máximos - Ecuador M.7,8

ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL	PGA (CM/S2)	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
APED	36.00	1408.00	328.31	187.44	268.30	-41.98	-539.84	319.92	-311.78	-1133.33	-255.25
AMNT	171.00	540.00	344.05	272.33	313.50	-134.69	-97.97	168.35	-454.65	-414.19	-348.91
AIB1	202.00	58.00	699.12	637.69	672.95	248.63	320.56	485.66	-0.50	56.97	92.13
AMIL	288.00	52.00	440.51	400.55	423.49	89.41	194.26	233.71	-30.60	42.69	35.91
ALIB	308.00	42.00	403.64	367.49	388.24	76.11	180.82	207.21	-24.73	49.24	37.21
ACH1	407.00	26.00	245.65	223.61	236.26	22.46	109.83	106.56	-19.70	52.18	24.98
ALJ1	492.00	16.00	161.60	147.19	155.46	6.55	72.80	64.40	-13.21	54.34	21.53

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 21: Calificación de Cobertura de Valores máximos - Ecuador M.7,8

	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
TOTAL, DE VALORES	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
VALORES ACERTADOS	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	7.00	2.00	2.00
VALORES ERRADOS	7.00	7.00	7.00	5.00	5.00	7.00	0.00	5.00	5.00
PORCENTAJE DE COBERTURA	100%	100%	100%	71%	71%	100%	0%	71%	71%
CALIFICACION A LA MATRIZ	5	5	5	4	4	5	0	4	4

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

En este terremoto destacan con un 100% de acierto las leyes de atenuación Original, Variante 1, Variante 2 en cuanto a las nuevas leyes, de las leyes de atenuación ya establecidas tenemos con un 100% de cobertura G.O.T. 2, en segundo lugar, tenemos las leyes de 2da generación, rebajada, Grases 1 y Aguiar 1 con un 71% y finalmente con un 0% de aciertos en cobertura tenemos la Ley de Atenuación de Singh.

4.4.5 Sismo de Chile M.8,8 del 27/02/2010.

En el terremoto situado en Chile con una magnitud registrada del 8,8 que data en la fecha del 27 de febrero del 2010 resultamos con 9 registros útiles para este ejercicio con estaciones que se encuentran ubicadas desde 209 km hasta 332 km a partir del epicentro

siendo el registro de aceleración más alto a 209km. En la siguiente tabla podemos observar los cálculos de cobertura planteados a este sismo.

Tabla 22: Cobertura de valores máximos - Chile M.8,8

ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL	PGA	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
Angol	209.30	928.00	299.85	356.86	177.27	-70.15	-314.08	538.43	-707.27	-747.57	-544.57
Llolleo	274.30	564.00	323.15	364.35	234.59	-1.76	-120.42	335.94	-459.67	-408.39	-308.97
Santiago Maipu	320.70	562.00	141.47	174.13	71.24	-146.15	-210.27	93.12	-498.60	-419.23	-361.86
CRS MAIPU RM	322.00	560.00	138.91	171.36	69.13	-147.65	-210.55	89.50	-497.46	-417.55	-361.12
Municip. San Jose de Maipo	332.80	480.00	182.17	212.91	116.06	-95.60	-148.92	124.96	-424.12	-340.13	-291.15
Viña Del Mar - El Salto Cerro	336.80	353.00	296.06	326.19	231.26	21.53	-28.47	236.38	-299.39	-214.05	-167.66
Viña Del Mar - Centro	337.80	334.00	311.82	341.81	247.35	38.10	-11.09	251.56	-280.94	-195.28	-149.52
Colegio Las Américas	339.30	308.00	332.99	362.76	269.00	60.49	12.50	271.89	-255.75	-169.62	-124.81
Santiago La Florida	362.70	236.00	334.22	360.70	277.29	80.50	49.11	263.17	-194.86	-102.64	-71.13

Elaborada por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 23: Calificación de Cobertura de Valores máximos - Chile M.8,8

	COBERTURA ORIGINAL	COBERTURA VARIANTE 1	COBERTURA VARIANTE 2	COBERTURA 2DA GENERACION	COBERTURA REBAJADA	COBERTURA G.O.T. 2	COBERTURA SINGH	COBERTURA GRASES 1	COBERTURA AGUIAR 1
TOTAL, DE VALORES	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
VALORES ACERTADOS	0.00	0.00	0.00	5.00	7.00	0.00	9.00	9.00	9.00
VALORES ERRADOS	9.00	9.00	9.00	4.00	2.00	9.00	0.00	0.00	0.00
PORCENTAJE DE COBERTURA	100%	100%	100%	44%	22%	100%	0%	0%	0%
CALIFICACION A LA MATRIZ	5	5	5	3	2	5	0	0	0

Elaborada por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

En la tabla 23 podemos observar que entre las leyes con un 100% de cobertura

tenemos las nuevas leyes de atenuación: original, la variante 1 y variante 2; y la ley de atenuación G.O.T.2, seguida tenemos la ley de 2da generación con un 44% que ya muestra cierta ineficiencia para ese caso en particular dándonos un valor muy promedio, y finalmente tenemos las leyes de Singh, Grases 1 y Aguiar 1 que no tuvieron aciertos.

4.5 Porcentaje de Error Comparativo de Las Leyes de Atenuación

Se implementó el cálculo de error como herramienta que nos permita evaluar la confiabilidad de las mediciones, modelos y predicciones, como también validar resultados y mejorar la calidad de datos y análisis.

Del porcentaje de error, se obtuvo de la diferencia del valor experimental (V_e) – valor real (V_r) obtenido, de los valores que arrojan las leyes de atenuación devolviéndonos valores promedios respecto a CMAR y aplicando el mismo proceso, pero para los porcentajes de error con respecto al PGA.

4.5.1 Sismo de California, Estados Unidos M.4,7 del 18/05/2009.

Al leer la tabla 24 podremos observar el promedio de error de las 121 estaciones para el cálculo de menor porcentaje de error, la cual lo tiene la Ley de atenuación G.O.T.2 con un 20%, pero a la par de la nueva Ley de atenuación Original con un 36%, sin quedarse atrás va la ley de atenuación Variante 2 con un 39%, la Ley de atenuación 2da Generación con un 48, le sigue la Ley de Atenuación Variante 1 con un 63%, en cuarto lugar tenemos la ley de atenuación Rebajada con un porcentaje de error del 87%, de ahí tenemos porcentaje de error mayores al 100% en las leyes ya establecidas.

Tabla 24: Calificación de error promedio según CMAR -Estados Unidos M.4,7

	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
PORCENTAJE DE ERROR PROMEDIO CMAR	36%	63%	39%	48%	87%	110%	1613%	303%	361%
Porcentaje de ACIERTO PROMEDIO CMAR	64%	37%	61%	52%	13%	-10%	-1513%	-203%	-261%
CALIFICACION A LA MATRIZ	4	2	4	3	1	1	1	1	1

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Así mismo se realiza el cálculo de error comparativo para el PGA, para la cual solo será necesaria un solo valor máximo de una de las estaciones, con su respectiva distancia epicentral correspondiente al PGA, que se mostrará en la siguiente tabla.

Tabla 25: Porcentaje de error según PGA -Estados Unidos M.4,7

NOMBRE DE LA ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL	PGA (CM/S2)	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
Long Beach - Municipal Airport	21.8	301	19%	32%	33%	2%	62%	59%	1178%	281%	290%
			19%	32%	33%	2%	62%	59%	1178%	281%	290%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De esta tabla podremos resaltar que el menor porcentaje de error lo tiene la Ley de atenuación de 2da generación con un 2%, seguida de la Ley de atenuación Original con un 19% y en tercer lugar la ley de atenuación Variante 1 con un 32%, marcando así valores de menor error en esta comparación, para el sismo en California, Estados Unidos.

Ahora bien, dada estos resultados aún no podemos sacar una conclusión, ya que para eso debemos hacer uso de la matriz de decisión.

4.5.2 Sismo de Turquía M.5,8 del 19/05/2011.

Al leer la tabla 26 podremos observar las 46 estaciones para el cálculo de menor porcentaje de error, la cual la Ley de atenuación que tiene menor porcentaje es la ley de Aguiar 1 con un 22%, a esta le sigue la ley de atenuación de Grases1 con 50%, y en tercer lugar se encuentra la ley de atenuación de 2da generación con un 68%, siendo estas las que tienen un porcentaje de error menor.

Tabla 26: Porcentaje de error promedio según CMAR -Turquía M5,8

	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
PORCENTAJE DE ERROR SEGÚN CMAR	92%	89%	93%	68%	84%	71%	293%	50%	22%
PORCENTAJE DE ACIERTO SEGÚN CMAR	8%	11%	7%	32%	16%	29%	-193%	50%	78%
CALIFICACIÓN A LA MATRIZ	1	1	1	2	1	2	1	3	4

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De la siguiente tabla podremos resaltar que el menor porcentaje de error lo tiene la Ley de Grases 1 con un 6 %, seguida de la Ley de atenuación Aguiar1 con un 39%, otra ley con menor porcentaje es la ley de atenuación Singh con un 49%, y en último lugar se encuentra la nueva ley de atenuación Rebajada con un 66%, marcando así valores de menor error en esta comparación, para el sismo en Turquía.

Ahora bien, dada estos resultados aún no podemos sacar una conclusión, ya que para eso debemos hacer uso de la matriz de decisión.

Tabla 27: Porcentaje de error según PGA- Turquía M5,8.

NOMBRE DE LA ESTACION	PGA	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
KÜTAHYA GEDIZ METEOROLOJI MUDURLUGU	106.00	83%	76%	85%	76%	66%	79%	49%	6%	39%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

4.5.3 Sismo de Alaska, Estados Unidos M.6,1 del 31/05/2021.

Al leer la tabla 28 podremos observar el promedio de error de las 92 estaciones para el cálculo de menor porcentaje de error, la cual lo tiene la Ley de atenuación G.O.T.2 con un 19%, pero a la par de la nueva Ley de atenuación 2da Generación con un 21%, sin quedarse detrás va la ley de atenuación Rebajada con un 53%, le sigue la ley de Atenuación Grases 1 con un 65%, casi empatadas con un 77% y 78% respectivamente tenemos a la ley de atenuación Original y la Variante 2.

Tabla 28: Porcentaje de error promedio según CMAR- Estados Unidos M.6,1

	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
PORCENTAJE DE ERROR SEGUN CMAR	77%	68%	78%	21%	53%	19%	1088%	65%	130%
POCENTAJE DE ACIERTO SEGUN CMAR	23%	32%	22%	79%	47%	81%	-988%	35%	-30%
CALIFICACION A MATRIZ	2	2	2	4	3	5	1	2	1

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De la siguiente tabla podremos resaltar que el menor porcentaje de error lo tiene la Ley de Segunda Generación con un 22% casi empatando tenemos la ley de atenuación G.O.T. 2 con 29% le sigue casi con el doble de error en tercer lugar la ley de atenuación

rebajada con un 52%, siendo estos los menores errores de la comparativa.

Tabla 29: Porcentaje de error según PGA- Estados Unidos M.6,1

ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL KM	PGA (g)	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
Chagach Park Drive	132.60	106.00	76%	67%	78%	22%	52%	29%	732%	64%	110%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

4.5.4 Sismo de Ecuador M. 7,8 del 16/04/2016.

Al leer la tabla podremos observar las 22 estaciones para el cálculo de menor porcentaje de error, la cual lo tiene la Ley de atenuación G.O.T.2 con un 20%, pero a la par de la nueva Ley de atenuación Variante1 con un 32%, sin quedarse detrás va la ley de atenuación Rebajada con un 34%, la Ley de atenuación Variante2 con un 35%, la ley de atenuación Original con un 38%, y la Ley de atenuación de 2da generación con un 65%, siendo estas las que tienen un porcentaje de error menor.

Tabla 30: Porcentaje de error promedio según CMAR -Ecuador M.7,8

NOMBRE DE LA ESTACION	CMAR	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
APED	1446.85	17%	9%	14%	6%	67%	68%	32%	427%	26%
AES2	1036.63	27%	21%	24%	9%	46%	50%	168%	439%	89%
ASDO	809.23	31%	25%	28%	21%	38%	35%	322%	421%	146%
ACHN	785.87	31%	25%	29%	23%	38%	33%	344%	417%	153%
ALOR	631.37	33%	27%	30%	40%	35%	20%	530%	383%	198%
Otavalo, Ecuador	608.38	33%	27%	31%	43%	34%	18%	565%	376%	205%
AP01	604.42	33%	27%	31%	44%	34%	18%	572%	374%	206%
AMNT	591.43	33%	27%	31%	46%	34%	17%	593%	370%	210%
PRAM	591.43	33%	27%	31%	46%	34%	17%	593%	370%	210%
EPNL	581.88	33%	27%	31%	47%	34%	16%	609%	367%	212%
AOTA	539.39	34%	28%	31%	55%	33%	12%	688%	351%	224%
AIB1	499.96	34%	28%	32%	63%	32%	8%	770%	335%	233%
AIB2	494.55	34%	28%	32%	64%	32%	8%	782%	332%	234%
ALAT	489.20	34%	28%	32%	65%	32%	7%	794%	330%	235%
AAM2	416.89	35%	29%	33%	83%	30%	1%	976%	294%	248%
ATUL	380.73	36%	30%	33%	93%	28%	2%	1081%	273%	251%
AGYE	340.67	37%	31%	35%	105%	26%	5%	1207%	247%	251%
AMIL	305.23	38%	33%	36%	116%	24%	7%	1326%	222%	247%
ALIB	268.38	40%	34%	38%	127%	20%	8%	1454%	194%	239%

ACUE	151.60	51%	47%	49%	148%	2%	3%	1760%	87%	168%
ACH1	115.36	58%	54%	56%	138%	15%	13%	1731%	48%	126%
ALJ1	11.24	94%	93%	93%	50%	87%	86%	303%	84%	70%
		38%	32%	35%	65%	34%	20%	782%	306%	190%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Así mismo se realiza el cálculo de error comparativo para el PGA, para la cual solo será necesaria un solo valor máximo de una de las estaciones, con su respectiva distancia epicentral correspondiente al PGA, que se mostrará en la siguiente tabla.

Tabla 31: Porcentaje de error según PGA- Ecuador

NOMBRE DE LA ESTACION	PGA (CM/S2)	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
APED	1408.00	19%	12%	16%	3%	62%	69%	28%	413%	22%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De esta tabla podremos resaltar que el menor porcentaje de error lo tiene la Ley de atenuación de 2da generación con un 3%, seguida de la Ley de atenuación Variante1 con un 12% y en tercer lugar la ley de atenuación Variante 2 con un 16%, marcando así valores de menor error en esta comparación, para el sismo en Ecuador.

Ahora bien, dada estos resultados aún no podemos sacar una conclusión, ya que para eso debemos hacer uso de la matriz de decisión.

4.5.5 Sismo de Chile M.8,8 del 27/02/2010.

Al leer la tabla podremos observar las 32 estaciones para el cálculo de menor porcentaje de error, la cual lo tiene la Ley de atenuación Variante 2 con un 7%, pero a la par de la nueva Ley de atenuación Original con un 11%, sin quedarse detrás va la ley de atenuación Variante 1 con un 15%, en cuarto lugar aunque con un bajo porcentaje de error tenemos la ley de atenuación G.O.T 2 CON UN 18%, También debemos resaltar que las leyes de atenuación Singh, Grases 1, Aguiar 1 tienen porcentajes de error

mayores al 100%,

Tabla 32: Porcentaje de error promedio según CMAR- Chile M.8,8

ESTACION	CMAR	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASAS 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
Constitucion	1774.97	28%	31%	20%	16%	44%	73%	4%	452%	9%
Concepcion	1687.05	27%	30%	19%	14%	46%	68%	18%	471%	26%
Concepcion San Pedro	1516.16	25%	28%	17%	8%	50%	60%	71%	493%	60%
Talca	1492.10	25%	28%	17%	7%	50%	59%	80%	495%	65%
Hualane	1361.50	23%	27%	15%	1%	54%	52%	134%	498%	92%
Hosp. Curico	1188.85	20%	24%	12%	7%	59%	42%	227%	489%	129%
Curico	1186.00	20%	24%	12%	7%	59%	42%	229%	488%	130%
Angol	1015.50	17%	21%	8%	18%	65%	31%	360%	463%	165%
Matanzas	934.06	16%	19%	6%	25%	69%	25%	443%	445%	181%
Llolleo	783.01	12%	16%	2%	39%	77%	13%	650%	403%	207%
Santiago Maipu	650.37	8%	12%	3%	56%	85%	1%	926%	356%	225%
CRS MAIPU RM	647.00	7%	12%	3%	57%	85%	0%	935%	354%	225%
Cien Agronomicas,	644.15	7%	11%	3%	57%	85%	0%	942%	353%	226%
Santiago Puente Alto	638.77	7%	11%	3%	58%	86%	0%	956%	351%	226%
Hosp. Sotero de Rio RM	637.24	7%	11%	3%	58%	86%	1%	960%	350%	226%
Estacion Metro Mirador - Santiago	627.62	7%	11%	4%	60%	87%	2%	986%	346%	227%
Santiago Centro	623.37	7%	11%	4%	61%	87%	2%	998%	345%	228%
Santiago Penalolen	621.38	6%	11%	4%	61%	87%	2%	1004%	344%	228%
Hosp. Tisne RM	621.13	6%	11%	4%	61%	87%	2%	1005%	344%	228%
Municip. San Jose de Maipo	619.64	6%	11%	4%	61%	87%	2%	1009%	343%	228%
Universidad de Chile - Santiago	617.17	6%	10%	4%	62%	87%	3%	1016%	342%	228%
Cerro Santa Lucia	616.18	6%	10%	4%	62%	87%	3%	1019%	342%	228%
Valparaiso Almendral	613.47	6%	10%	4%	62%	88%	3%	1027%	340%	229%
Valparaiso UTFSM	613.23	6%	10%	4%	62%	88%	3%	1027%	340%	229%
Viña Del Mar - El Salto Cerro	609.80	6%	10%	4%	63%	88%	3%	1037%	339%	229%
Viña Del Mar - Centro	607.37	6%	10%	4%	63%	88%	4%	1045%	338%	229%
Colegio Las Americas	603.74	6%	10%	5%	64%	88%	4%	1056%	336%	230%
Recinto d. SHOA, Cerro El Roble	552.22	4%	8%	7%	73%	93%	10%	1228%	313%	233%

Santiago La Florida	549.79	4%	8%	7%	74%	93%	10%	1237%	312%	233%
Papudo	484.90	1%	5%	11%	88%	99%	18%	1514%	281%	236%
		11%	15%	7%	47%	78%	18%	771%	382%	188%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De la misma manera se realiza el cálculo de error comparativo para el PGA, para la cual solo será necesaria un solo valor máximo de una de las estaciones, con su respectiva distancia epicentral correspondiente al PGA, que se mostrará en la siguiente tabla.

Tabla 33: Porcentaje de error según PGA -Chile M.8,8

ESTACION	DISTANCIA EPICENTRAL (Km)	PGA	%ERROR LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
Angol	209.30	928.00	24%	28%	16%	8%	51%	37%	320%	414%	142%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De esta tabla podremos resaltar que el menor porcentaje de error lo tiene la Ley de atenuación de 2da generación con un 8%, seguida de la Ley de atenuación Variante 2 con un 16% y en tercer lugar la ley de atenuación Original con un 24%, marcando así valores de menor error en esta comparación, para el sismo en Chile.

Ahora bien, dada estos resultados aún no podemos sacar una conclusión, ya que para eso debemos hacer uso de la matriz de decisión.

4.5.6 Resultados del Cálculo de Porcentaje De Error.

El proceso previamente mostrado se efectúa con los 50 sismos que intervienen en esta investigación y obtenemos los resultados que se muestran en la tabla 18 a continuación.

Tabla 34: Porcentaje de error obtenido según CMAR

CODIGO	%ERROR DE LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR DE LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR DE LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR DE LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
1	99%	98%	99%	99%	98%	98%	80%	96%	95%
2	98%	96%	98%	95%	95%	84%	88%	86%	72%
3	98%	96%	98%	94%	96%	96%	98%	94%	96%
4	55%	55%	62%	45%	61%	69%	912%	354%	180%
5	95%	92%	96%	82%	90%	60%	479%	70%	27%
6	94%	90%	95%	91%	88%	81%	86%	71%	60%
7	94%	90%	95%	79%	88%	59%	497%	64%	20%
8	35%	57%	39%	24%	80%	52%	1138%	271%	291%
9	75%	60%	79%	63%	52%	38%	485%	47%	52%
10	95%	91%	95%	83%	89%	69%	319%	66%	33%
11	55%	44%	61%	24%	48%	77%	1673%	185%	280%
12	81%	70%	84%	34%	63%	35%	1763%	66%	153%
13	55%	40%	61%	27%	40%	22%	872%	140%	156%
14	86%	78%	88%	79%	72%	72%	165%	29%	33%
15	65%	60%	68%	37%	62%	47%	1201%	153%	197%
16	82%	72%	84%	70%	67%	62%	278%	68%	51%
17	87%	81%	89%	77%	75%	71%	194%	58%	40%
18	47%	27%	53%	13%	24%	17%	860%	202%	181%
19	86%	80%	88%	46%	74%	47%	662%	57%	48%
20	91%	87%	92%	87%	82%	87%	17%	53%	62%
21	64%	54%	68%	41%	57%	40%	506%	159%	116%
22	92%	89%	93%	68%	84%	71%	293%	50%	22%
23	88%	83%	89%	74%	76%	74%	152%	21%	26%
24	28%	21%	33%	31%	52%	22%	887%	357%	246%
25	92%	89%	92%	54%	83%	70%	392%	54%	50%
26	77%	68%	78%	21%	53%	19%	1088%	65%	130%
27	62%	49%	65%	21%	24%	22%	735%	146%	133%
28	93%	90%	93%	67%	85%	81%	183%	62%	44%
29	83%	78%	84%	26%	66%	51%	586%	33%	56%
30	97%	96%	97%	73%	94%	91%	101%	84%	76%
31	92%	90%	92%	33%	84%	71%	559%	61%	25%
32	79%	73%	80%	61%	58%	90%	43%	38%	67%

33	95%	94%	95%	65%	90%	86%	173%	72%	60%
34	92%	90%	92%	66%	84%	83%	51%	83%	82%
35	88%	86%	89%	82%	77%	90%	35%	32%	66%
36	93%	92%	93%	62%	86%	84%	169%	61%	54%
37	81%	77%	81%	25%	62%	62%	412%	48%	39%
38	81%	101%	80%	103%	186%	52%	164%	548%	133%
39	25%	25%	26%	130%	68%	38%	1334%	466%	367%
40	50%	40%	50%	144%	15%	31%	1700%	183%	283%
41	85%	83%	85%	40%	71%	72%	304%	66%	35%
42	78%	74%	78%	56%	56%	75%	103%	60%	11%
43	79%	76%	78%	27%	58%	27%	354%	78%	38%
44	63%	59%	62%	40%	28%	71%	77%	166%	9%
45	38%	32%	35%	65%	34%	20%	782%	306%	190%
46	22%	24%	22%	191%	80%	38%	1753%	416%	343%
47	22%	26%	23%	239%	103%	55%	2088%	450%	351%
48	46%	45%	45%	1706%	51%	60%	17304%	50%	31%
49	11%	15%	7%	47%	78%	18%	771%	382%	188%
50	30%	22%	44%	59%	141%	21%	946%	537%	232%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

A continuación, se muestra un resumen de los porcentajes de error clasificados por magnitudes.

Tabla 35: Porcentaje de error según CMAR clasificado por magnitudes.

%ERROR CMAR POR MAGNITUDES									
MAGNITUD	%ERROR DE LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR DE LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR DE LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR DE LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
4.00	81.07%	79.07%	83.50%	70.71%	80.55%	71.35%	532.28%	127.59%	109.62%
5.00	77.05%	68.49%	79.82%	54.27%	64.55%	53.60%	580.27%	87.91%	90.35%
6.00	81.42%	68.49%	82.65%	54.27%	70.87%	64.56%	402.60%	90.53%	86.14%
7.00	59.63%	59.05%	59.53%	93.66%	70.68%	52.16%	769.96%	237.37%	154.47%
8.00	28.96%	28.96%	31.85%	603.95%	90.08%	32.91%	6340.45%	323.03%	150.44%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 36: Porcentaje de error según el PGA registrado en cada sismo

CODIGO	%ERROR DE LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR DE LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR DE LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR DE LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
1	86.59%	76.09%	89.36%	87.11%	73.19%	84.65%	4.68%	55.54%	42.36%
2	94.76%	90.78%	95.81%	94.32%	89.52%	88.54%	9.06%	78.76%	72.46%
3	96.42%	93.77%	97.11%	95.68%	92.83%	89.77%	12.30%	83.62%	78.34%
4	26.63%	117.22%	2.66%	21.07%	153.26%	28.14%	228.61%	714.77%	321.60%
5	95.70%	92.71%	96.49%	92.51%	91.39%	79.24%	117.32%	75.15%	60.00%
6	91.82%	86.33%	93.28%	91.18%	83.64%	89.76%	27.27%	68.59%	67.86%
7	93.41%	89.12%	94.54%	90.59%	86.81%	80.29%	77.98%	65.27%	57.66%
8	19.06%	31.81%	32.51%	1.50%	61.89%	59.39%	1178.45%	281.18%	290.47%
9	86.55%	78.39%	88.71%	85.43%	73.11%	88.65%	25.89%	49.92%	56.69%
10	23.59%	22.82%	35.85%	22.93%	52.82%	77.90%	15.80%	132.94%	99.65%
11	45.27%	130.50%	22.83%	58.86%	190.55%	14.88%	639.33%	445.11%	347.84%
12	71.78%	55.80%	75.97%	40.67%	43.55%	10.01%	1067.02%	78.35%	149.00%
13	2.98%	49.98%	16.81%	4.52%	94.04%	52.17%	177.03%	239.96%	148.76%
14	83.59%	74.63%	85.93%	78.93%	67.17%	83.00%	17.45%	31.38%	46.67%
15	40.54%	114.46%	21.35%	70.51%	181.08%	51.82%	950.25%	528.03%	370.02%
16	43.85%	14.32%	51.52%	37.10%	12.30%	63.70%	122.29%	114.96%	51.26%
17	52.21%	28.02%	58.45%	44.84%	4.42%	65.18%	118.47%	94.07%	31.66%
18	22.14%	15.76%	31.83%	9.11%	55.71%	44.85%	242.70%	221.88%	108.26%
19	41.23%	13.74%	48.18%	26.91%	17.55%	45.47%	261.24%	172.21%	76.53%
20	81.63%	73.39%	83.69%	77.76%	63.27%	86.44%	15.54%	18.83%	51.49%
21	38.76%	13.56%	44.86%	1.64%	22.48%	5.19%	749.85%	278.44%	192.59%
22	83.04%	76.07%	84.73%	75.81%	66.09%	79.20%	48.75%	5.82%	39.00%
23	87.25%	82.23%	88.44%	75.04%	74.50%	73.37%	136.70%	15.46%	25.22%
24	34.88%	85.49%	23.17%	72.50%	169.76%	2.47%	492.72%	561.62%	238.31%
25	67.56%	55.38%	70.37%	64.42%	35.11%	96.72%	87.02%	2.85%	52.65%
26	76.05%	67.48%	77.97%	22.44%	52.09%	28.59%	731.51%	63.52%	109.63%
27	49.84%	32.79%	53.55%	41.33%	0.32%	83.80%	20.43%	101.87%	15.54%
28	49.32%	32.97%	52.74%	37.17%	1.35%	74.79%	35.87%	138.07%	0.27%
29	58.90%	46.34%	61.40%	49.37%	17.79%	81.63%	4.57%	91.43%	24.04%
30	87.41%	83.57%	88.18%	83.32%	74.83%	91.59%	51.26%	32.85%	70.56%
31	91.25%	88.72%	91.73%	77.16%	82.50%	81.43%	83.27%	38.40%	41.19%
32	11.85%	12.13%	16.05%	5.61%	76.30%	72.43%	28.36%	286.14%	33.76%
33	91.77%	89.54%	92.17%	87.98%	83.55%	92.93%	56.09%	49.63%	76.60%
34	42.37%	27.64%	44.73%	39.50%	15.26%	5.63%	872.04%	310.47%	245.94%

35	74.31%	68.57%	75.01%	65.18%	48.62%	84.76%	18.40%	50.39%	45.21%
36	82.91%	79.37%	83.27%	78.64%	65.83%	93.59%	70.39%	12.27%	73.41%
37	57.36%	87.56%	55.20%	104.69%	214.71%	27.22%	252.56%	791.12%	178.32%
38	47.96%	37.97%	48.67%	149.27%	4.08%	25.71%	1749.72%	189.06%	296.12%
39	53.36%	44.40%	54.00%	36.80%	6.72%	73.98%	33.81%	181.48%	5.03%
40	31.20%	56.39%	29.40%	94.35%	162.41%	1.43%	465.92%	768.82%	244.79%
41	47.37%	38.07%	47.72%	17.84%	5.27%	56.01%	163.35%	265.81%	54.53%
42	66.35%	60.92%	66.35%	49.91%	32.71%	75.55%	36.76%	130.42%	12.73%
43	50.39%	43.86%	49.68%	24.35%	0.78%	62.93%	107.79%	255.06%	34.86%
44	46.13%	40.60%	44.59%	36.66%	7.74%	89.40%	63.19%	165.39%	46.68%
45	18.91%	11.75%	16.01%	3.07%	62.18%	68.90%	28.44%	412.61%	22.14%
46	20.72%	31.38%	25.04%	127.82%	141.44%	27.80%	804.73%	795.21%	380.59%
47	27.23%	38.46%	31.78%	64.26%	154.46%	46.99%	125.42%	726.19%	105.24%
48	91.41%	90.90%	90.98%	82.26%	82.83%	90.01%	19.21%	40.32%	62.59%
49	24.42%	27.77%	16.04%	8.18%	51.16%	36.72%	320.41%	414.32%	142.02%
50	27.34%	17.03%	44.46%	43.02%	154.67%	34.38%	169.37%	915.02%	164.31%

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 37: Porcentaje de Error de PGA máximo clasificado por magnitud

%ERROR PGA POR MAGNITUDES									
MAGNITUD	%ERROR DE LEY DE ATENUACION ORIGINAL	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	%ERROR DE LEY DE ATENUACION REBAJADA	%ERROR DE LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	%ERROR DE LEY DE ATENUACION SINGH	%ERROR DE LEY DE ATENUACION GRASES 1	%ERROR DE LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
4.00	69.07%	82.68%	68.10%	67.38%	95.36%	71.02%	212.43%	186.44%	135.90%
5.00	54.08%	51.00%	57.65%	45.24%	58.51%	55.03%	325.61%	149.95%	107.54%
6.00	61.29%	57.55%	62.26%	53.83%	54.79%	66.40%	206.80%	143.94%	79.47%
7.00	45.82%	47.56%	45.98%	65.64%	71.53%	54.13%	325.17%	391.12%	121.20%
8.00	47.72%	45.23%	50.49%	44.49%	96.22%	53.70%	169.66%	456.56%	122.98%

Elaborada por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

4.6 Matriz de Decisión

La matriz nos ayudara a establecer parámetros a evaluar y esto a criterio del evaluador, como la forma de la curva en la que se tome en cuenta como punto base la curva CMAR y la que genere una curva más cercana será la más eficiente, también se

evaluara la cercanía de la curva con respecto a la curva CMAR, luego la cobertura de los valores máximos este parámetro lo podemos calcular matemáticamente, lo primero que debemos hacer es filtrar los valores máximos de aceleración según la distancia, seguido de esto procedemos a calcular la cobertura de estos de acuerdo a la siguiente fórmula.

Cobertura=Vley - VPGA, y como últimos parámetros tenemos el % de error del PGA máximo y el % de error con respecto a la curva CMAR.

A fin de cuantificar qué ley sería la mejor en diversas situaciones vamos a utilizar un sistema de ponderación del 1 al 5 siendo 1 la calificación menos favorable.

4.6.1 Sismo de California, Estados Unidos M.4,7 del 18/05/2009.

En la siguiente tabla se observa nuestra matriz de decisión para el sismo de California, Estados Unidos M.4,7.

Tabla 38: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar- CA, USA M.4,7

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	1	1	3	1	4	4	3	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	3	1	3	3	4	4	4	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	4	1	3	1
% ERROR DEL PGA MAXIMO	5	4	4	5	2	3	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	4	2	4	3	1	1	1	1	1
PROMEDIO	3.60	3.00	3.00	3.80	2.40	3.20	2.20	2.40	2.00

Elaborada por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De esta matriz de decisión para el sismo de California, Estados Unidos, podemos observar que la calificación más favorable es de 3,80 para las Ley de atenuación de 2da Generación, la segunda mejor calificación recae en la Ley de Atenuación Original con

3,60 y en tercer lugar tenemos a la Ley de Atenuación G.O.T. 2 con una puntuación de 3.20.

Destacando de nuevo en eficiencia las Nuevas leyes de Atenuación y G.O.T. 2 sobre el total de las leyes a evaluar.

4.6.2 Sismo de Turquía M.5,8 del 19/05/2011.

En la siguiente tabla se observa nuestra matriz de decisión para el sismo de Turquía.

Tabla 39: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar-Turquía M.5,8

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	5	3	5	4	3	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	4	2	4	4	3	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	2	1	2	2	2	3	5	4
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	1	2	1	3	4
PROMEDIO	2.40	2.60	2.40	3.60	2.60	3.60	2.60	3.80	3.80

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De esta matriz de decisión para el sismo de Turquía, podemos observar que la calificación más favorable se repite en dos ocasiones con un valor de 3,80 para la Ley de atenuación Grases1, y la Ley de atenuación Aguiar1, por otro lado, ocurre también un empate en la calificación de 3,60 favorable, tanto para la Ley de atenuación de 2da generación, como para la Ley de atenuación de G.O.T.2.

De la que podemos concluir que sobresalen por su eficiencia una de las nuevas leyes como lo es la ley de atenuación de 2da generación obteniendo una de las calificaciones más alta.

4.6.3 Sismo de Alaska, Estados Unidos M.6,1 del 31/05/2021.

En la siguiente tabla se observa nuestra matriz de decisión para el sismo de Alaska, Estados Unidos M. 6,1.

Tabla 40: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar- Alaska, USA M.6,1

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	3	5	3	4	3	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	2	4	5	4	1	2	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	2	2	4	3	4	1	2	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	2	2	4	3	5	1	2	1
PROMEDIO	3.20	3.40	3.20	4.00	4.20	4.20	1.60	2.80	2.40

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De esta matriz de decisión para el sismo de Turquía, podemos observar que la calificación más favorable se repite en dos ocasiones con un valor de 4,20 para la Ley de atenuación Rebajada, y la Ley de atenuación G.O.T. 2, por otro parte con una ligera desventaja se posiciona en segundo lugar de eficiencia la ley de 2da Generación con un valor de 4,00, en tercer lugar tenemos a la ley de Atenuación Variante 1 con un valor de 3,40 que le da ventaja sobre las leyes original y variante 2 que tienen una calificación de 3.20 por acercamiento de la curva CMAR.

De la que podemos concluir que sobresalen por su eficiencia una de las nuevas leyes como lo es la ley de atenuación Rebajada.

4.6.4 Sismo de Ecuador M. 7,8 del 16/04/2016.

En la siguiente tabla se observa nuestra matriz de decisión para el sismo de Ecuador.

Tabla 41: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar- Ecuador M.7,8

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	4	3	2	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	3	4	3	3	2	1	1
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	4	4	5	1	4	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	5	5	5	5	2	2	4	1	4
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMR	4	4	4	2	4	4	1	1	1
PROMEDIO	4.40	4.40	4.40	3.80	3.40	3.40	2.00	1.80	2.40

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De esta matriz de decisión para el sismo de Ecuador, podemos observar que la calificación más favorable se repite en tres ocasiones con un valor de 4,40 para las Ley de atenuación Original, Ley de atenuación de Variante1 y ley de atenuación de variante 2, por otro lado con una calificación de 3,80 favorable esta para la Ley de atenuación de 2da generación, y con un empate en la calificación que consideramos favorable de 3,40 para la ley de atenuación Rebajada y para la Ley de atenuación de G.O.T.2. y de la que nos indica que es menos favorable a evaluar en estos parámetros es la ley de atenuación de grasas 1 con una calificación de 1,80.

De la que podemos concluir que sobresalen por su eficiencia cuatro de las nuevas

leyes de atenuación obteniendo la calificación más alta.

4.6.5 Sismo de Chile M.8,8 del 27/02/2010.

En la siguiente tabla se observa nuestra matriz de decisión para el sismo de Chile.

Tabla 42: Matriz de decisión con los parámetros a evaluar- Chile M.8,8

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	5	3	2	1	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	3	4	2	3	3	1	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	3	2	5	1	1	1
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	4	5	5	3	4	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	5	5	5	3	2	5	1	1	1
PROMEDIO	4.40	4.40	4.60	3.80	2.80	4.00	1.60	1.00	1.60

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

De esta matriz de decisión para el sismo de Chile, podemos observar que la calificación más favorable es de 4,60 para las Ley de atenuación Variante 2, en segundo lugar, tenemos un empate con un valor de 4,40 entre la Ley de atenuación de Variante1 y ley de atenuación Original, por otro lado, con una calificación de 3,80 favorable esta para la Ley de atenuación de 2da generación.

De la que podemos concluir que sobresalen por su eficiencia cuatro de las nuevas leyes de atenuación obteniendo la calificación más alta.

4.6.6 Resultado de las Matrices de Decisión.

Tabla 43: Resultado de matrices de decisión de los sismos de control

CODIGO	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
1	1.80	2.40	1.80	2.40	2.40	3.00	3.80	3.20	3.20
2	2.00	2.20	2.20	2.60	2.40	2.80	3.20	3.20	3.40
3	2.00	2.40	2.00	2.40	2.40	2.80	2.00	2.80	3.20
4	2.80	2.20	2.80	3.40	2.20	3.60	1.00	1.40	1.60
5	2.60	2.40	2.80	3.80	2.40	3.60	1.00	2.00	2.00
6	2.20	2.40	1.80	2.80	2.60	1.80	3.80	3.20	3.40
7	2.80	2.80	2.80	3.00	3.00	3.20	2.00	3.20	4.00
8	3.60	3.00	3.00	3.80	2.40	3.20	2.20	2.40	2.00
9	2.80	3.00	2.60	2.40	3.00	2.80	2.80	3.00	3.60
10	3.40	3.60	3.00	3.80	3.40	4.20	3.60	3.00	3.20
11	2.60	2.40	2.80	3.80	2.40	3.60	1.20	2.00	2.00
12	2.60	3.00	2.60	4.00	3.00	4.20	1.80	2.60	2.00
13	4.00	3.40	3.80	4.80	3.20	4.40	2.60	2.40	2.40
14	2.60	3.20	2.60	3.20	3.40	2.60	3.00	4.40	3.80
15	3.00	3.80	3.20	4.00	3.60	3.60	2.00	2.40	3.20
16	3.00	2.60	3.00	4.00	2.60	3.80	1.00	1.80	1.40
17	2.40	3.00	2.20	3.40	3.20	3.00	2.20	2.40	3.20
18	3.20	3.80	3.20	4.80	3.20	4.20	1.60	1.60	1.40
19	2.60	3.40	2.60	4.20	3.40	3.80	2.00	2.40	2.60
20	2.60	2.60	2.40	2.80	2.40	2.60	4.60	4.20	3.20
21	3.00	3.60	2.60	4.20	3.20	4.00	1.60	2.20	2.20
22	2.40	2.60	2.40	3.60	2.60	3.60	2.60	3.80	3.80
23	2.00	2.20	2.00	3.00	3.00	2.80	2.40	4.20	3.80
24	2.80	3.00	2.80	3.60	3.60	3.00	1.40	4.40	3.80
25	3.40	3.00	3.40	3.60	2.40	4.60	2.00	1.80	1.80
26	3.20	3.40	3.20	4.00	4.20	4.20	1.60	2.80	2.40
27	3.20	3.80	3.20	3.60	4.40	2.60	2.20	1.80	2.60
28	2.80	2.80	2.60	3.40	3.40	2.80	2.20	4.40	4.00
29	3.00	3.40	2.80	4.00	3.40	3.20	2.80	4.20	3.80
30	2.60	2.60	2.60	3.20	2.80	2.80	2.60	3.20	3.40

31	2.40	2.40	2.40	3.80	2.60	2.80	2.00	4.00	4.00
32	2.40	2.40	2.40	2.80	2.40	2.60	2.80	3.80	3.80
33	2.40	2.80	2.40	3.20	3.40	2.20	3.80	4.00	2.80
34	2.60	2.80	2.60	3.60	3.20	3.00	3.60	3.60	4.00
35	3.20	3.20	2.80	3.20	3.60	2.40	3.20	4.00	2.60
36	2.80	3.00	2.80	3.20	2.80	2.80	2.60	3.40	3.80
37	3.00	3.20	3.00	4.40	3.80	3.60	2.80	2.80	4.40
38	3.80	3.60	4.00	2.20	2.20	4.20	1.20	1.00	1.40
39	2.80	2.40	2.80	3.20	2.40	3.80	1.60	1.60	2.20
40	3.80	4.40	3.80	2.00	4.60	3.80	1.40	1.60	1.20
41	3.00	3.20	3.00	4.60	3.60	3.60	2.00	2.40	4.00
42	2.60	2.80	2.60	3.80	3.60	3.00	2.20	2.60	4.40
43	3.60	3.60	3.60	4.60	4.20	4.00	2.00	2.60	4.00
44	3.40	3.60	3.40	4.00	4.00	3.00	3.20	1.60	4.20
45	4.40	4.40	4.40	3.00	2.20	3.80	1.60	1.20	2.20
46	4.40	4.40	4.40	2.60	2.60	4.20	1.00	1.40	1.20
47	4.40	4.40	4.40	3.80	3.40	3.40	2.00	1.80	2.40
48	3.00	3.00	3.00	1.80	3.00	3.00	2.20	3.20	3.40
49	4.40	4.40	4.60	3.80	2.80	4.00	1.60	1.00	1.60
50	4.20	4.60	3.60	3.60	2.20	4.20	1.60	1.40	2.20

Elaborado por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

Tabla 44: Resultado de matrices de decisión clasificados por magnitud.

MAGNITUD (Mw)	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
4	2.60	2.62	2.51	3.11	2.60	3.15	2.42	2.67	2.87
5	2.78	3.10	2.72	3.83	3.07	3.55	2.28	2.87	2.75
6	2.83	2.97	2.77	3.50	3.28	3.02	2.52	3.50	3.25
7	3.50	3.58	3.52	3.45	3.28	3.60	1.97	2.00	2.95
8	3.87	4.00	3.73	3.07	2.67	3.73	1.80	1.87	2.40
PROMEDIOS	3.12	3.25	3.05	3.39	2.98	3.41	2.20	2.58	2.84

Elaborado Por: Adriana Ramón e Ingrid Zamora

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Después de clasificar por magnitudes los cincuenta sismos de control y determinar su eficiencia en base a una matriz de decisión con una ponderación de 1 a 5 siendo 5 el resultado más favorable podemos concluir que:

Para sismos de entre 4 a 6 Mw la Nueva Ley de 2da Generación y la Ley GOT 2 serían las más eficientes situándose en primer lugar.

También podemos notar que la Ley de SINGH se torna ineficiente según los criterios a evaluar.

En sismos a partir de 7Mw la ley G.O.T. 2 y la nueva Ley de Atenuación Variante 1 serían las más eficientes, aunque la eficacia de las nuevas Leyes de Atenuación propuestas por el Ing. Marcelo Moncayo toma una participación importante en cuanto a la eficiencia en sismos de estas magnitudes.

5.2 Recomendaciones

A mayor cantidad de registros reales de aceleración se obtienen resultados más acertados, por esta razón se debe conseguir la mayor cantidad de información disponible.

Debido a que en algunos lugares del mundo no se cuenta con las suficientes estaciones, no se tienen los suficientes registros de datos sísmicos, las leyes de atenuación deben descartar la regionalización y utilizar otros parámetros que se base en el concepto de que el comportamiento de materiales que constituyen la corteza terrestre, como lo es la roca y el suelo, y aunque si pueden haber diferencias geomorfológicas, lo que aquí se privilegia es la precisión matemática de las aceleraciones.

Cuando el estudio involucra una comparativa no se debe calificar bajo un solo criterio, como en este caso era el porcentaje de error relativo dado que este no representa si la ley cumplirá con los requisitos para un posterior diseño estructural, por esto se recomienda usar la cobertura de valores máximos dando así una mayor seguridad al diseño.

Bibliografía

abc. . (2014). *Tu diccionario hecho fácil*. Recuperado el 2014, de Definición: . Obtenido de <http://www.definicionabc.com/ciencia/sismicidad.php>

Aguiar, R. ((2000)). *Analisis Sismico de Edificios*. Obtenido de <http://publiespe.espe.edu.ec/investigativas/rman/c1b2c.htm>.
<https://es.slideshare.net/EgoGuapa/anlisis-ssmico-de-edificios-dr-ing-roberto-aguiar-falcon>

Bolt, B. (1994). Seismological Information Necessary for Beneficial Earthquake Risk Reduction. En B. Bolt, *Issues in Urban Earthquake Risk* (pág. 27). San Francisco: Springer Dordrecht.

Center for Engineering Strong Motion Data CESMD. (2011). Obtenido de USGS- CESMD Internet Data Reprot. 07 Apr 2011. Japanese Earthquake:
https://www.strongmotioncenter.org/cgi-bin/CESMD/iqr_dist_DM2.pl?IQRID=Japan_07Apr2011_113241UTC&SFlag=0&Flag=2

CESMD. (15 de Septiembre de 2000). *Center for Engineering Strong-Motion Data*. Obtenido de Center for Engineering Strong-Motion Data:
<https://www.strongmotioncenter.org/>

Chavez, I. A. ((2010)). *Ley de Atenuación de aceleraciones PGA*. Obtenido de <http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/alejandro.pdf>. UNAM.

El Comercio. (2014). Obtenido de

<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/ecuador-asentado-tres-sistemas-fallas-1.html>

ESM . (29 de 10 de 2021). *Engineering Strong Motion Database*. Obtenido de Engineering Strong Motion Database: https://esm-db.eu/#/event/INT-20211029_0000170

G.c. (24 de Enero de 2011). *Animal de Ruta*. Obtenido de Animal de Ruta: <https://animalderuta.wordpress.com/2011/01/24/sobre-el-terremoto-de-mendoza-de-1985-y-conspiraciones/>

Gómez, S. C. ((2012)). *United States Geological Survey USGS* . Obtenido de http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/2011/2011_stats.php.

Instituto Geofísico- EPN. (s.f.). Obtenido de Escuela Politecnica Nacional: <https://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>

López, M. y. (26 de Enero de 2016). *La Geografía*. Obtenido de Los Movimientos Sísmicos.: <https://lageografia.com/geografia-fisica/movimientos-sismicos>

Martínez, C. (2005). *Estructuras superficiales de atenuación para ondas sísmicas . Aplicación al volcán Isla Decepción (Antártida) y al volcán Etna (Italia)*, Tesis doctoral Universidad de Granada, Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, pp. 61-77. Granada: Universidad de Granada.

MONCAYO THEURER, M. (2017). Enfoque de energía sísmica liberada: en busca de las características del comportamiento sísmico de Ecuador e identificación de las amenazas sísmicas. *RESEARCHGATE*.

Moncayo Theurer, M. V. (2016). Análisis comparativo entre 13 leyes de atenuación y

los registros de un sismo de grado 7.1 en magnitud Richter ocurrido en Japón.

Ingeniería, revista academica de la FI-UADY, 20-3, pp., 137-146.

Moncayo, M. (2016). Análisis comparativo entre 13 leyes de atenuación y los registros de un sismo de grado 7.1 e n magnitud Richter ocurrido en Japón. *Ingeniería Revista Academica, 1.*

Seccion de sismologia, Vulcanologia y Exploracion Geofisica. (24 de Enero de 2019).

Obtenido de Escuela Centroamericana de Geologia:

<http://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/244-que-es-una-falla>

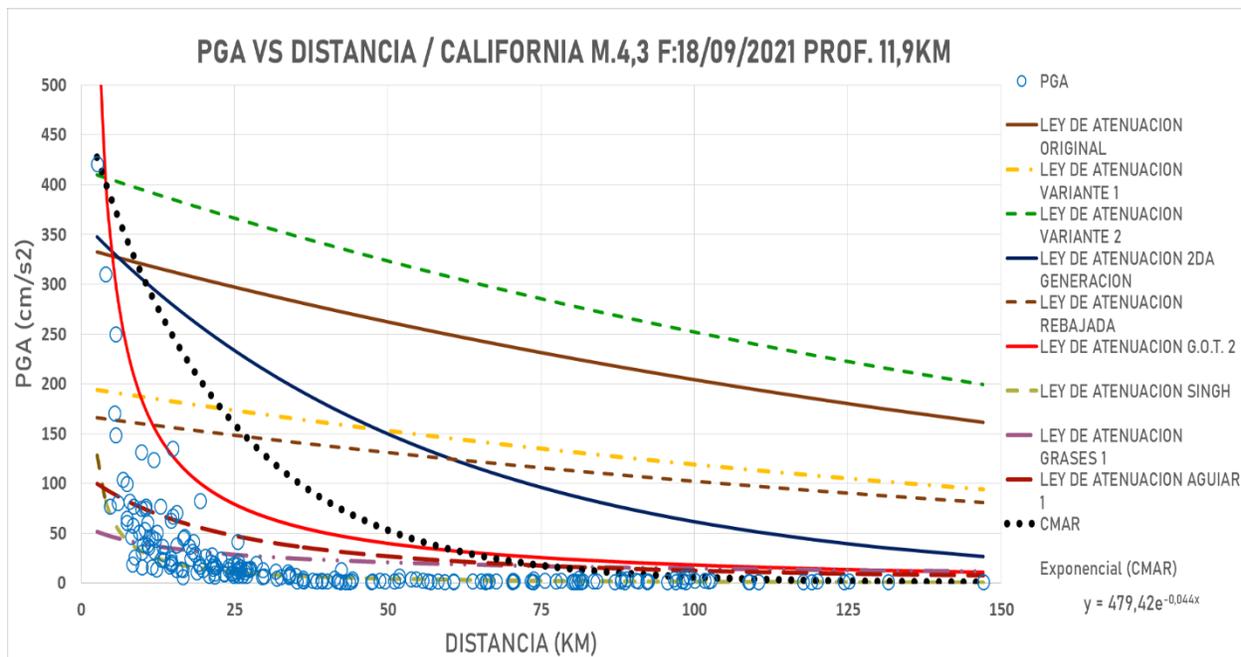
Taipe, L., & Ruiz, M. (2013). *Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando los registros durante el periodo 2000 - 2011 en estaciones sismicas de banda ancha y acelerógrafos.* Escuela Politécnica Nacional.

UGRGS. (11 de 27 de 2023). *Getting started (getting started with MATLAB).* Obtenido de Ufrgs.br: <https://www.inf.ufrgs.br/~binsely/matlab/gettin10.html>

USGS. (04 de 04 de 2020). *U.S. Geological Survey.* Obtenido de U.S. Geological Survey: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/ci39126079/map>

Anexos

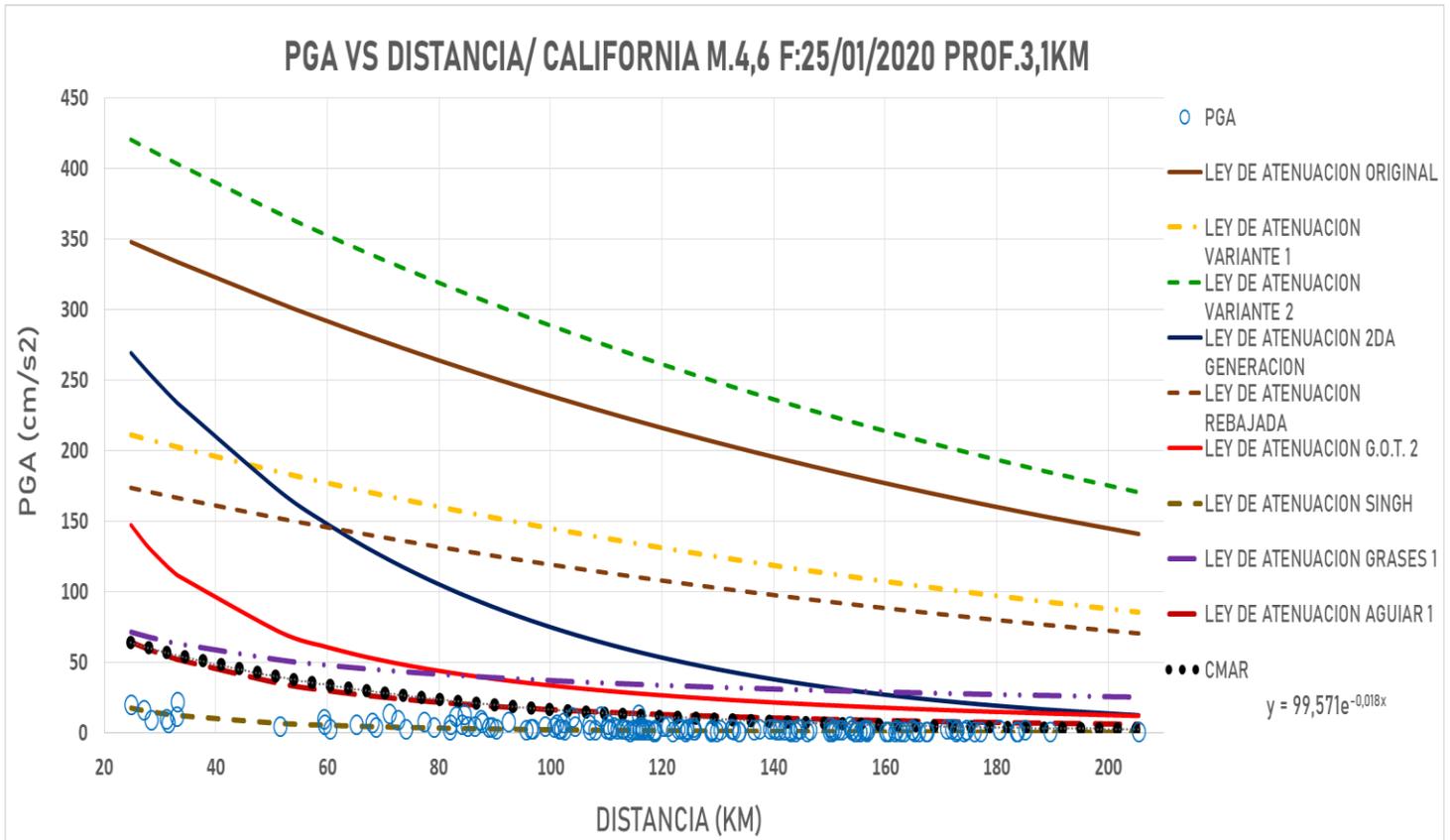
CALIFORNIA M.4,3 F:18/09/2021 PROF. 11,9KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	1	1	1	3	1	4	1	1	1
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	1	1	2	2	4	1	1	1
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	3	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	1	5	4	1	4	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	3	3	2	3	2	1	1	1	1
PROMEDIO	2,80	2,20	2,80	3,40	2,20	3,60	1,00	1,40	1,60

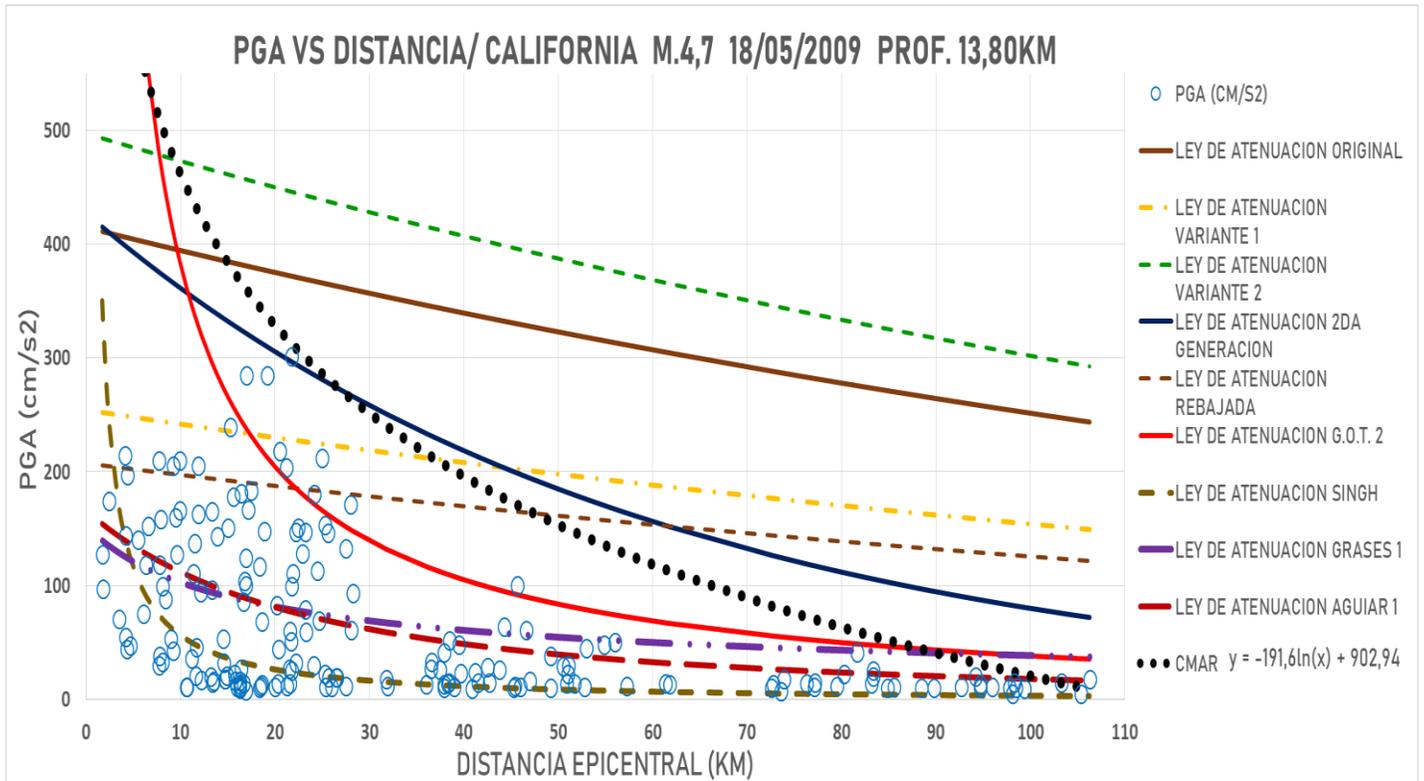
CALIFORNIA M.4,6 F:25/01/2020 PROF.3,1KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	5	4	3	3	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	3	3	3	3	4	5
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	1	1	1	2	2	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	1	3	1	2	4
PROMEDIO	2,80	2,80	2,80	3,00	3,00	3,20	2,00	3,20	4,00

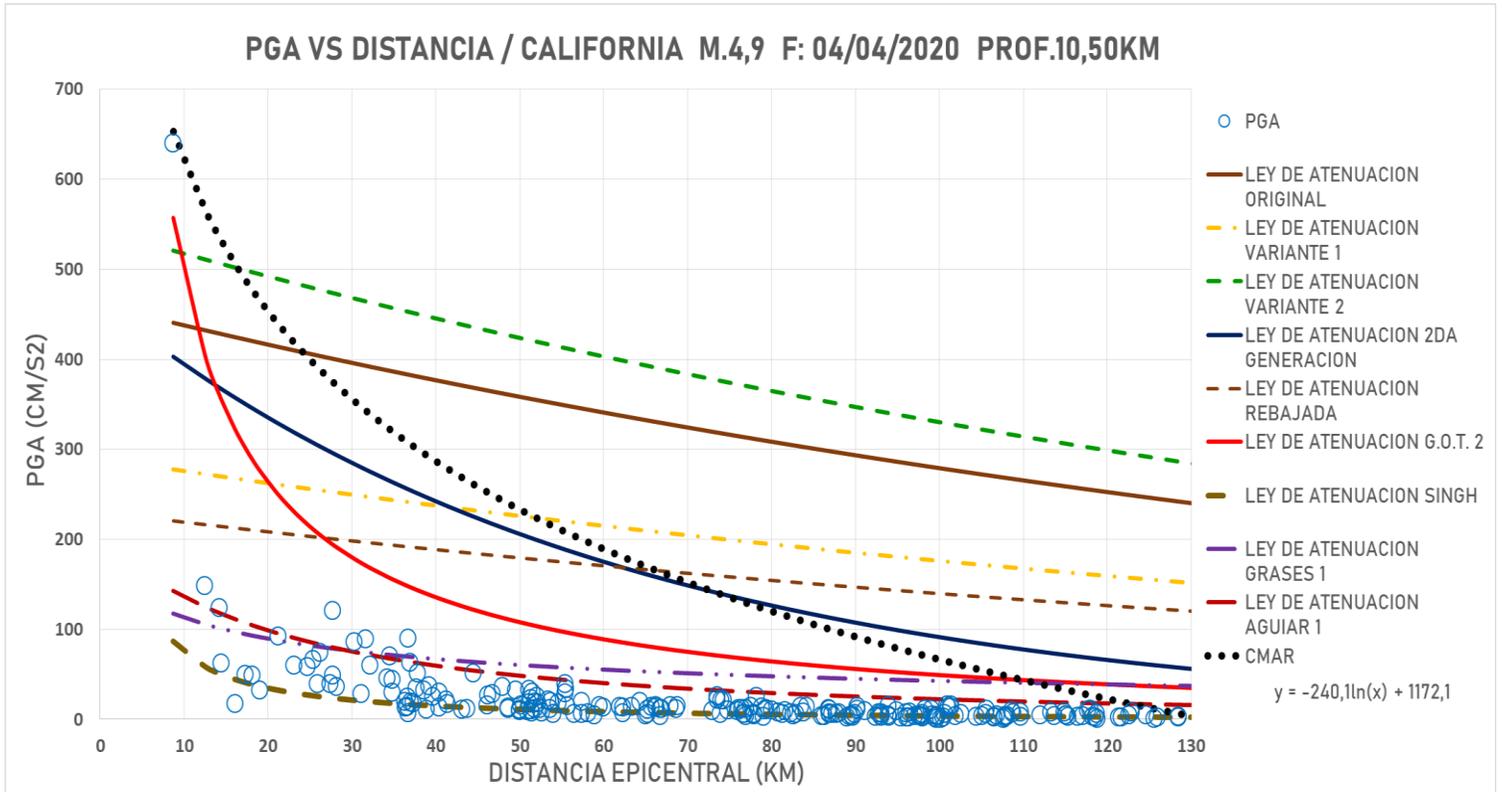
CALIFORNIA M.4,7 18/05/2009 PROF. 13,80KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	1	1	3	1	4	4	3	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	3	1	3	3	4	4	4	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	4	1	3	1
% ERROR DEL PGA MAXIMO	5	4	4	5	2	3	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	4	2	4	3	1	1	1	1	1
PROMEDIO	3,60	3,00	3,00	3,80	2,40	3,20	2,20	2,40	2,00

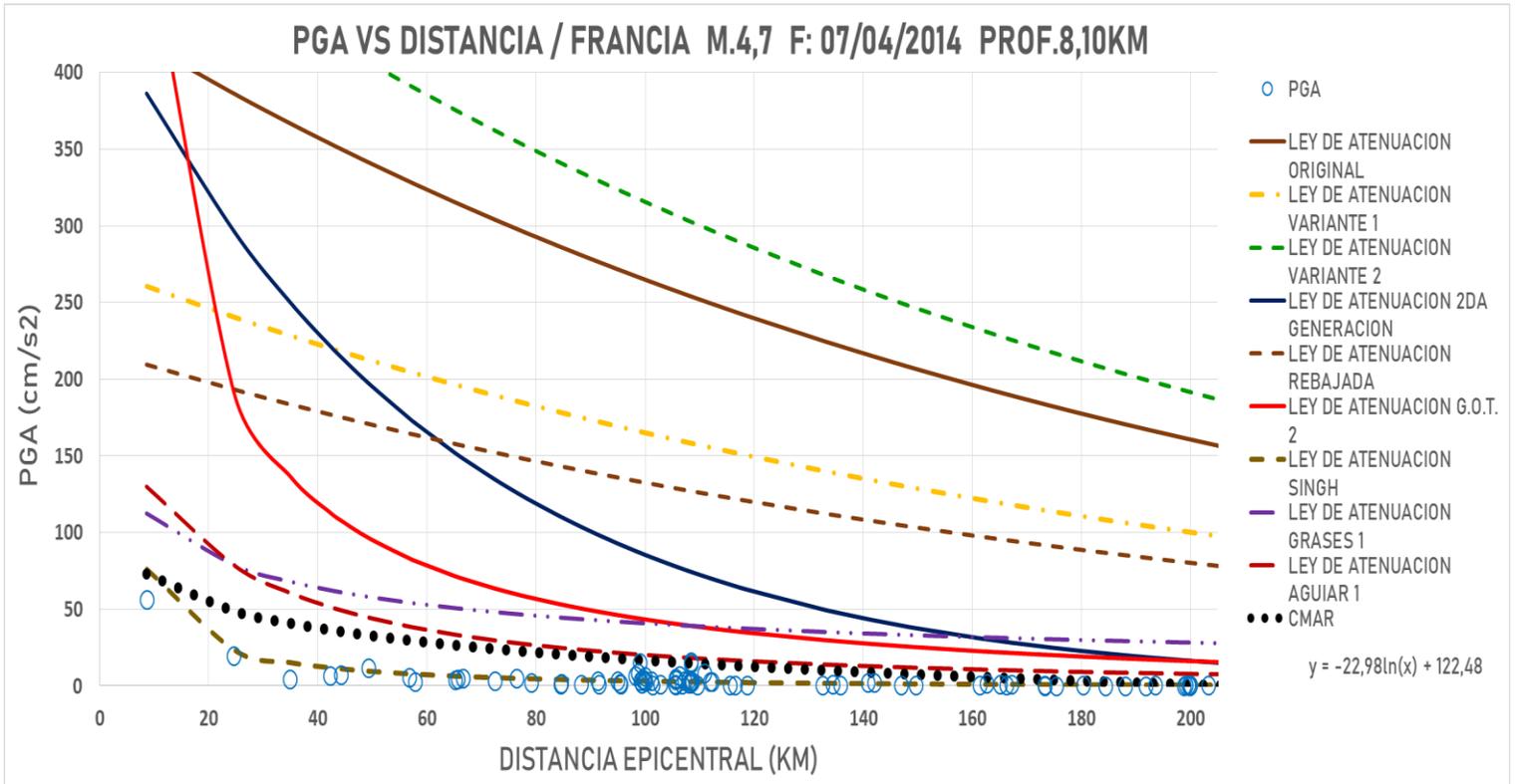
CALIFORNIA M.4,9 F: 04/04/2020 PROF.10,50KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	1	1	1	3	1	4	2	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	4	2	3	1	2	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	4	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	1	4	3	1	5	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	3	3	3	4	3	1	1	1	1
PROMEDIO	2,60	2,40	2,80	3,80	2,40	3,60	1,20	2,00	2,00

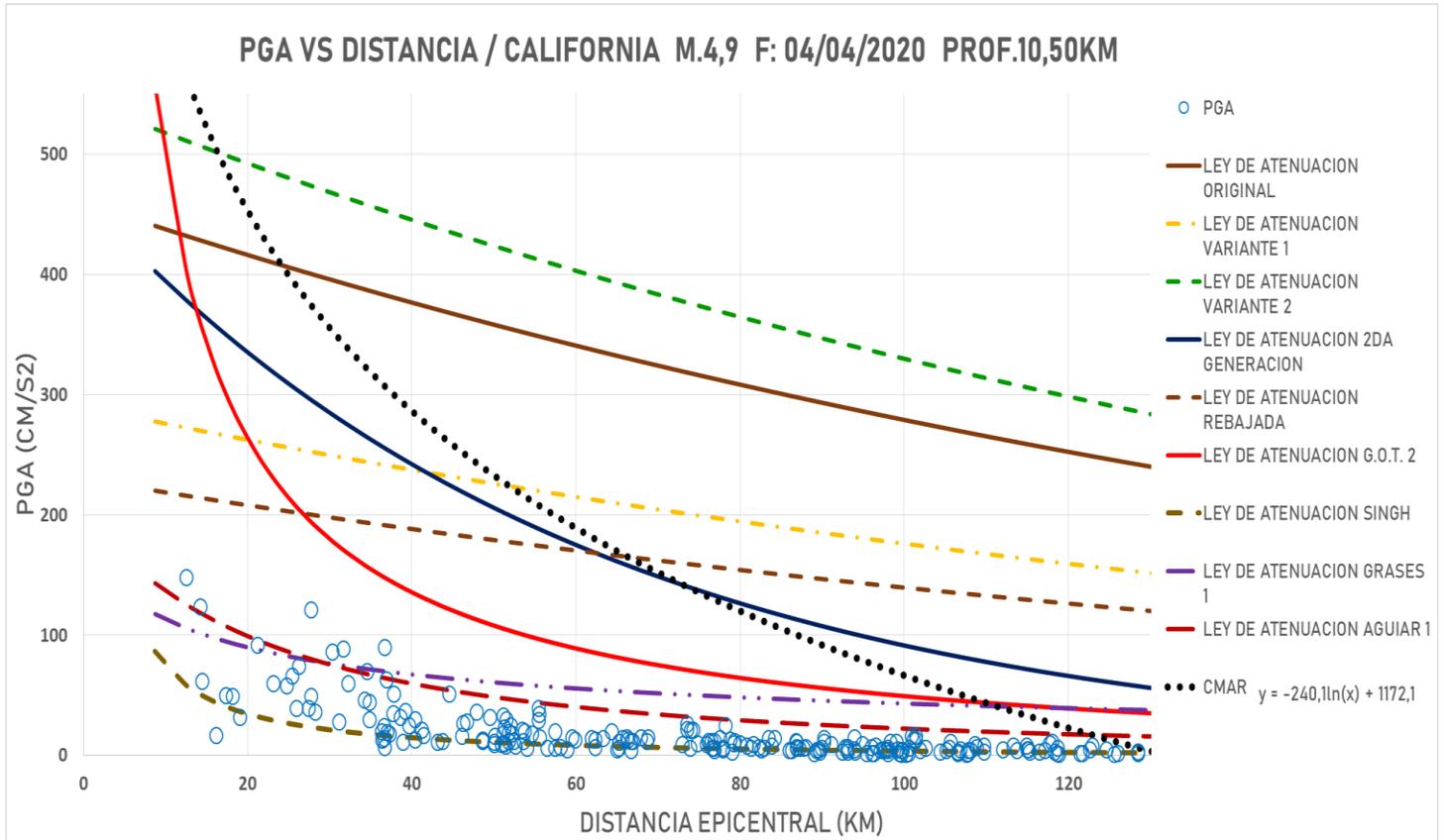
FRANCIA M.4,7 F: 07/04/2014 PROF.8,10KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	3	5	2	4	4	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	1	2	3	4	4	3	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	3	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	1	1	1	2	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	1	1	2	1	2	4
PROMEDIO	2,80	3,00	2,60	2,40	3,00	2,80	2,80	3,00	3,60

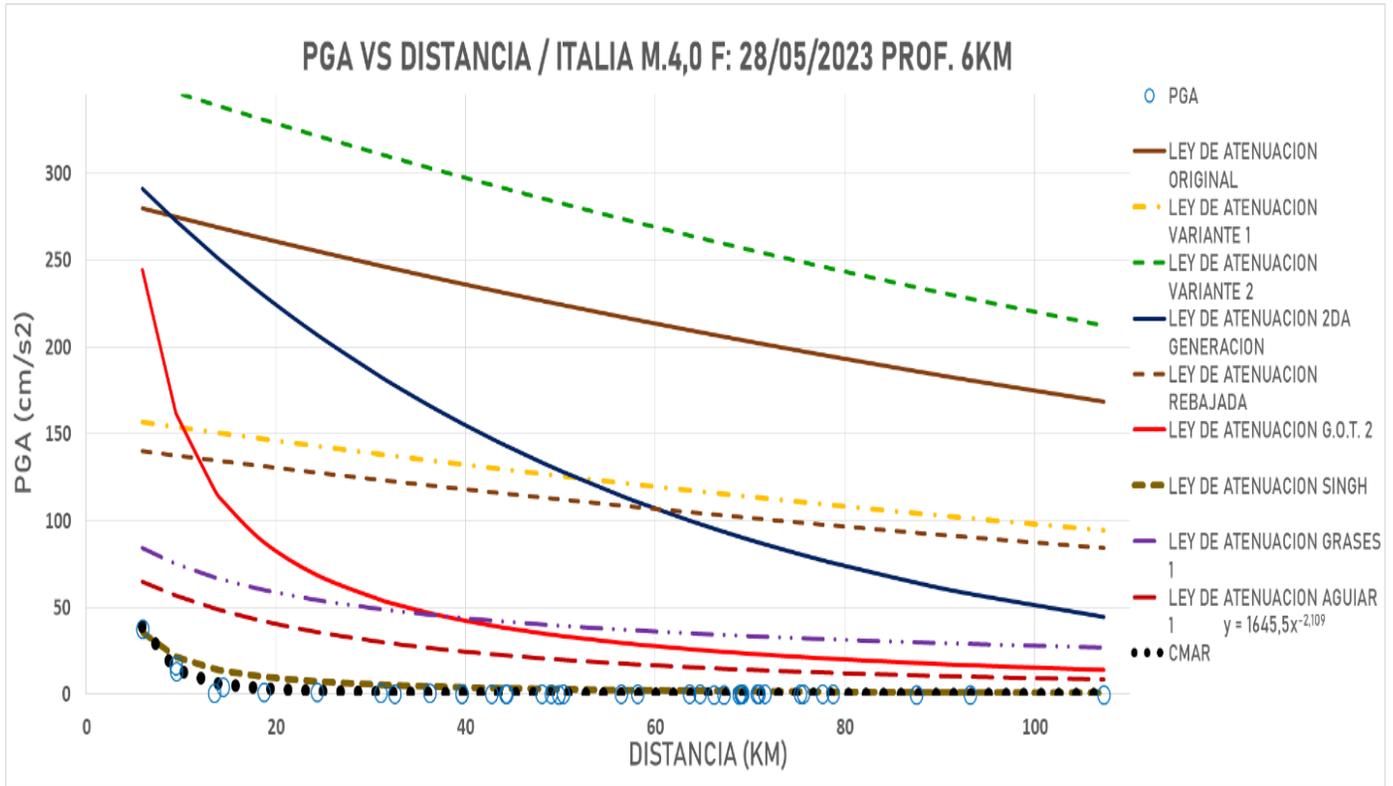
CALIFORNIA M.4,9 F: 04/04/2020 PROF.10,50KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	1	1	1	3	1	4	2	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	4	2	3	1	2	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	0	4	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	1	4	3	1	5	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	3	3	3	4	3	1	1	1	1
PROMEDIO	2,60	2,40	2,80	3,80	2,40	3,60	1,00	2,00	2,00

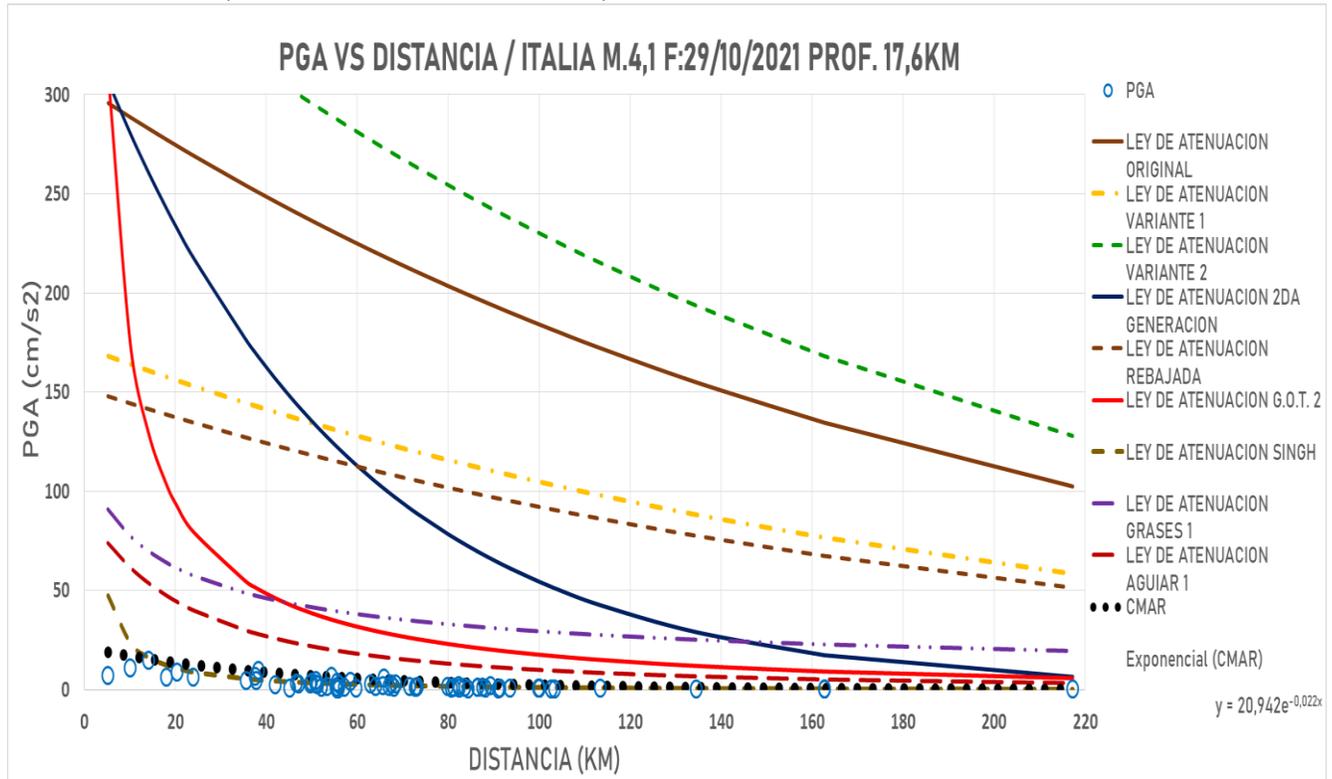
ITALIA M.4,0 F: 28/05/2023 PROF. 6KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	1	1	1	3	1	4	4	3	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	3	1	2	3	4	4	4	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	4	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	2	1	1	2	1	5	3	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	1	1	1	2	1	1
PROMEDIO	1,80	2,40	1,80	2,40	2,40	3,00	3,80	3,20	3,20

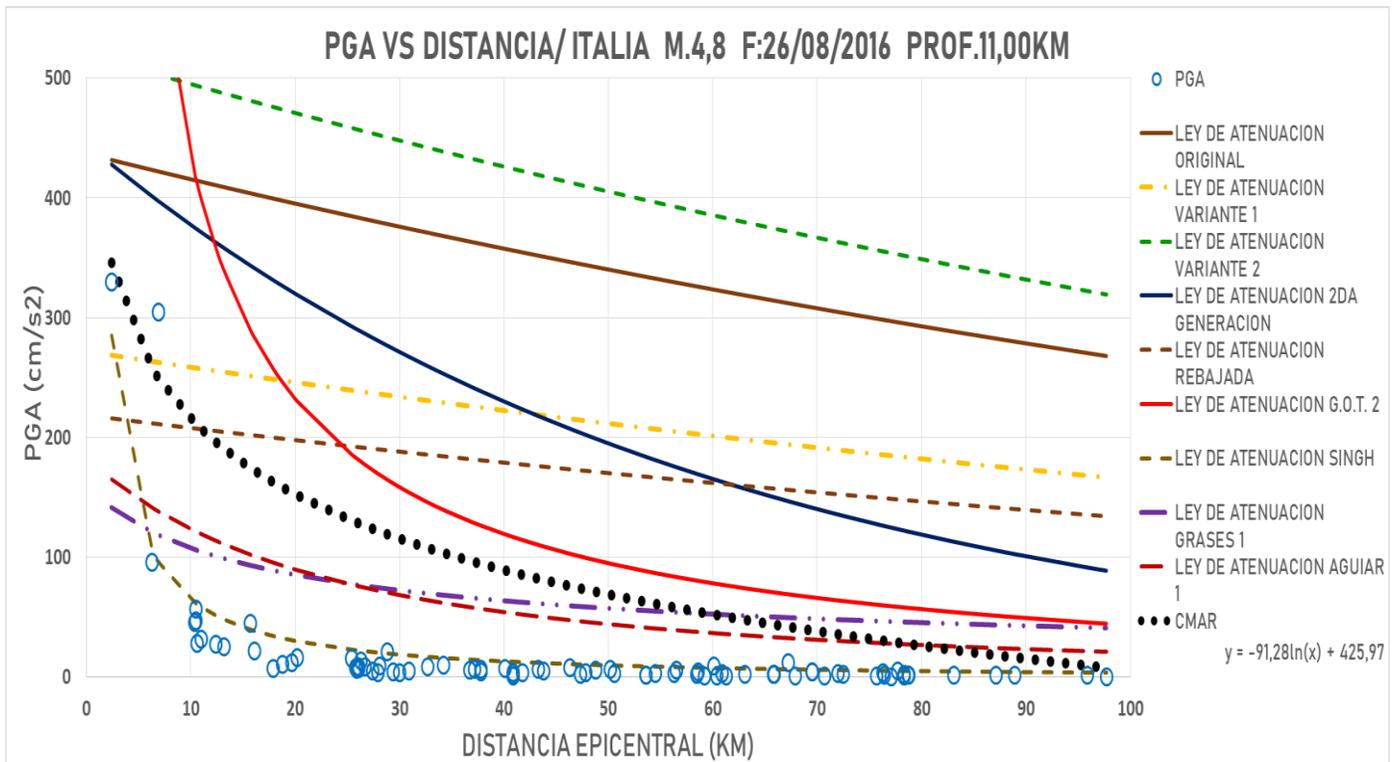
ITALIA M.4,1 F:29/10/2021 PROF. 17,6KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	3	3	3	3	4	3	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	3	2	4	4	3	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	2	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	1	1	1	5	4	4
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	1	1	1	1	1	2
PROMEDIO	2,00	2,20	2,20	2,60	2,40	2,80	3,20	3,20	3,40

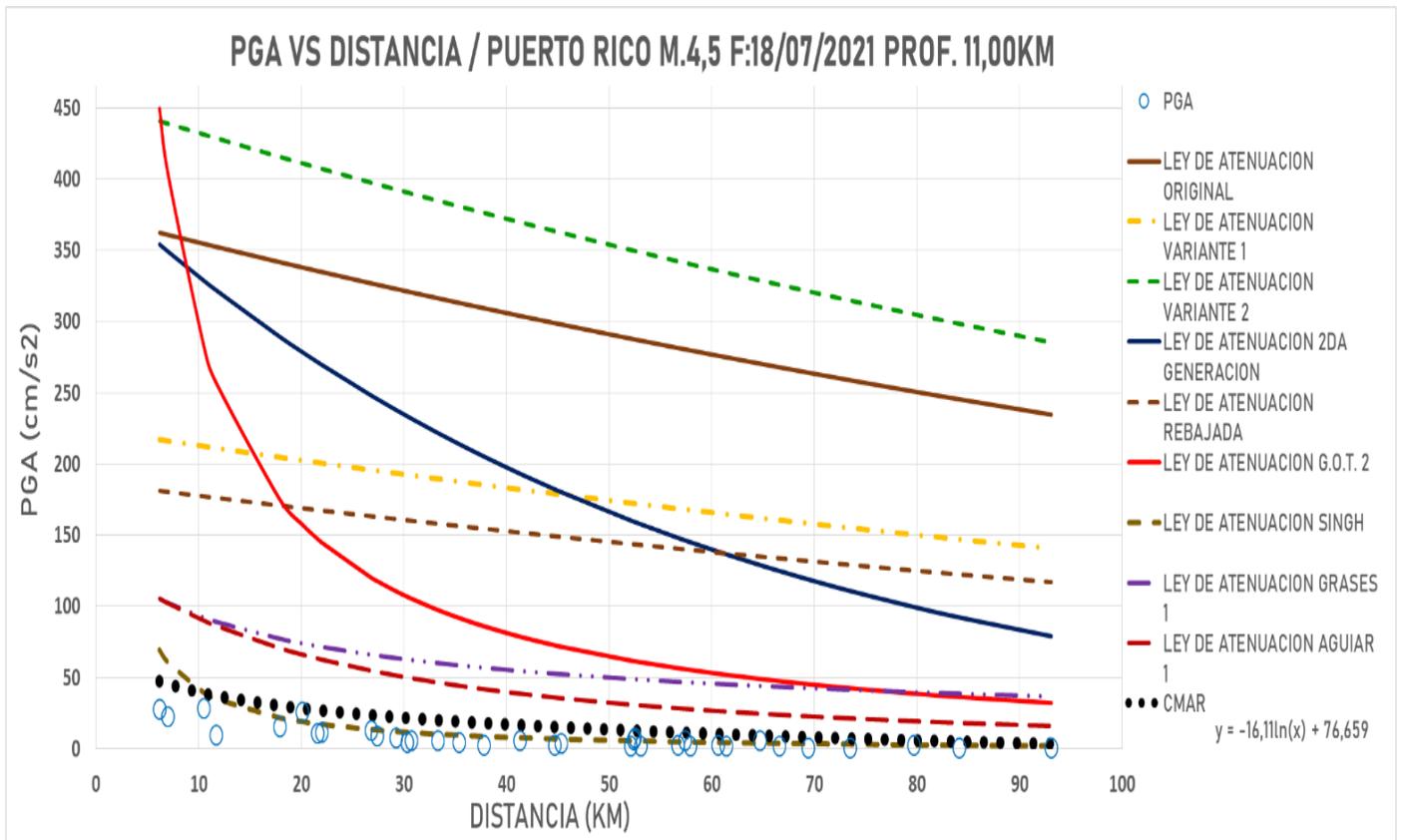
ITALIA M.4,8 F:26/08/2016 PROF.11,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	4	3	5	4	2	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	1	4	3	5	4	4	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	4	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	4	4	4	3	2	5	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	3	2	2	3	4	1	3	2
PROMEDIO	3,40	3,60	3,00	3,80	3,40	4,20	3,60	3,00	3,20

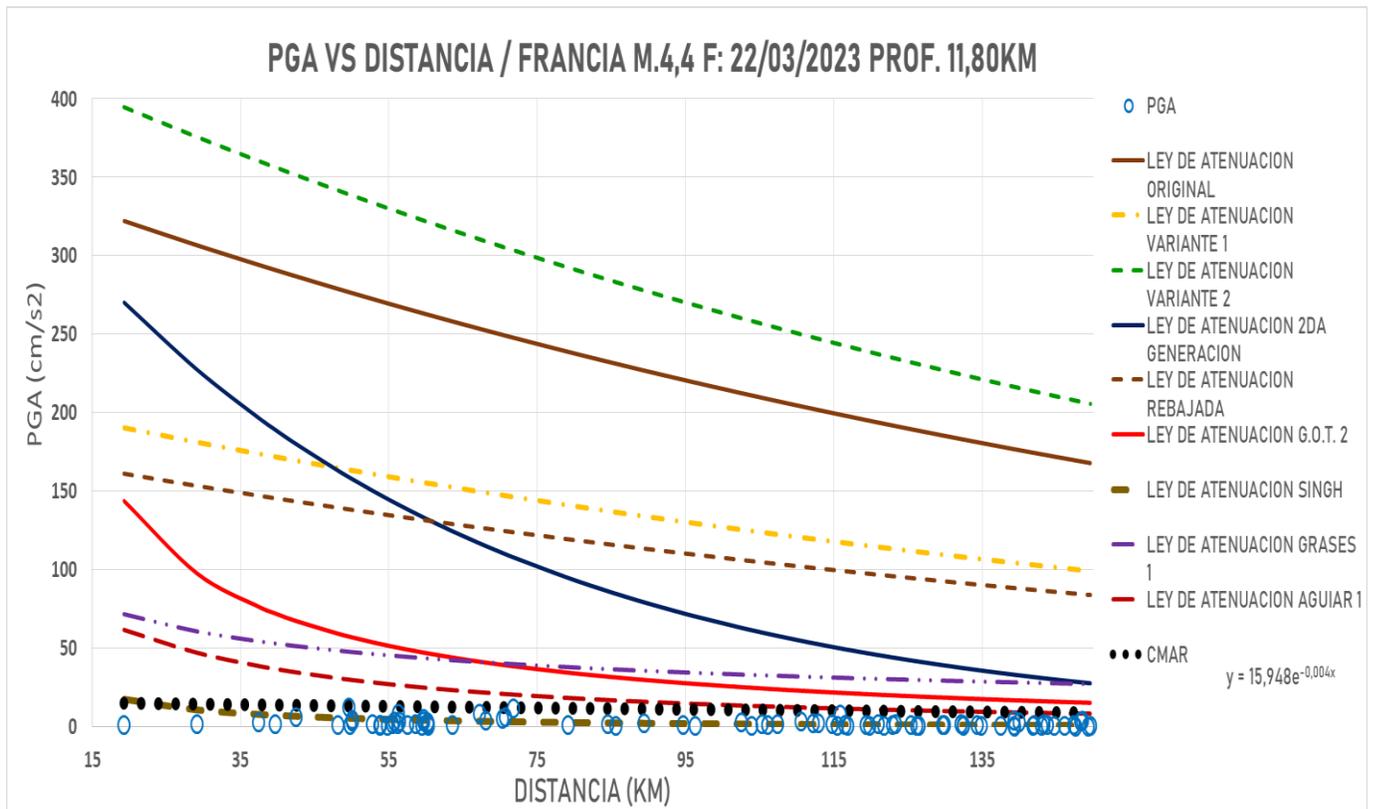
PUERTO RICO M.4,5 F:18/07/2021 PROF. 11,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	2	1	3	3	1	5	4	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	3	1	4	3	1	5	3	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	4	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	1	1	1	4	2	2
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	1	1	1	1	2	3
PROMEDIO	2,20	2,40	1,80	2,80	2,60	1,80	3,80	3,20	3,40

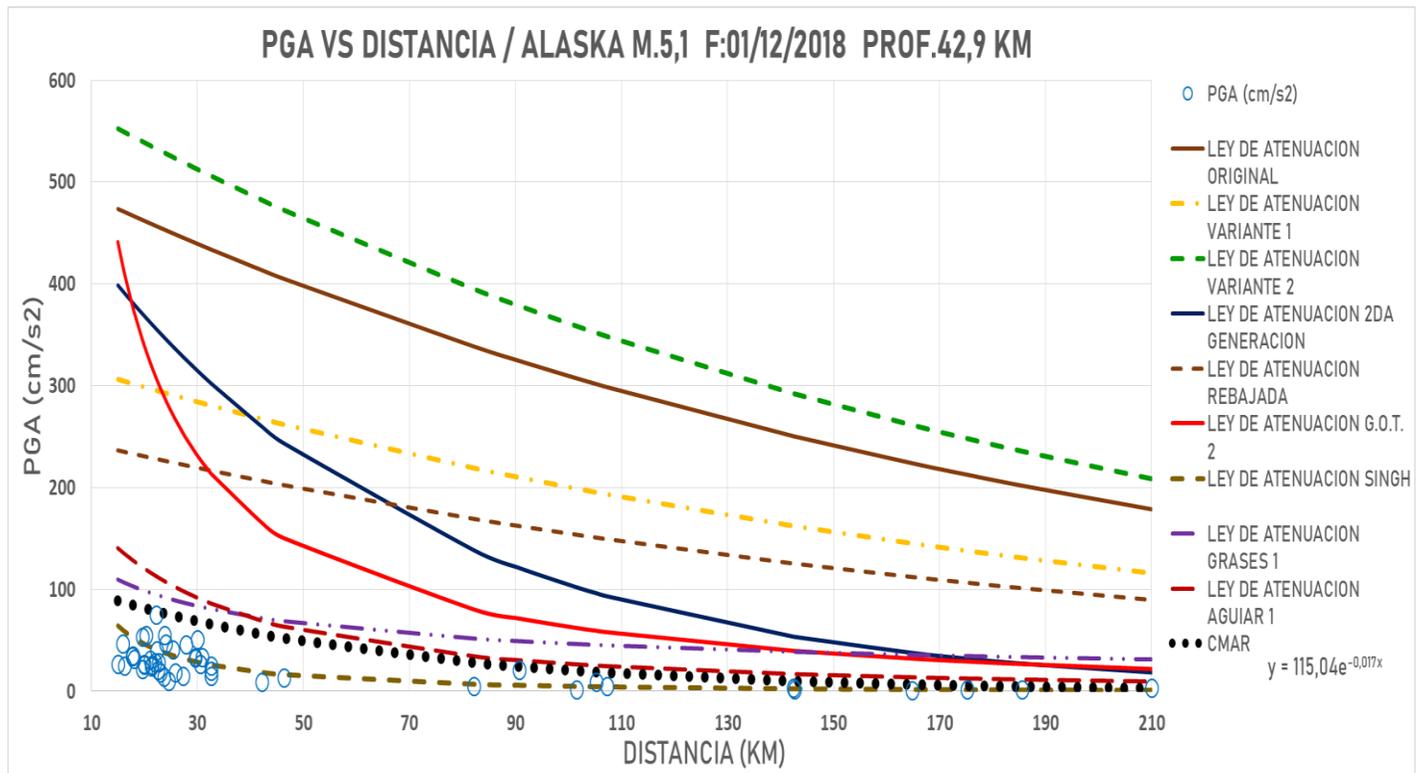
FRANCIA M.4,4 F: 22/03/2023 PROF. 11,80KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	2	3	3	2	3	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	3	1	2	2	3	4	3	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	1	1	2	1	2	2
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	1	1	2	1	2	4
PROMEDIO	2,00	2,40	2,00	2,40	2,40	2,80	2,00	2,80	3,20

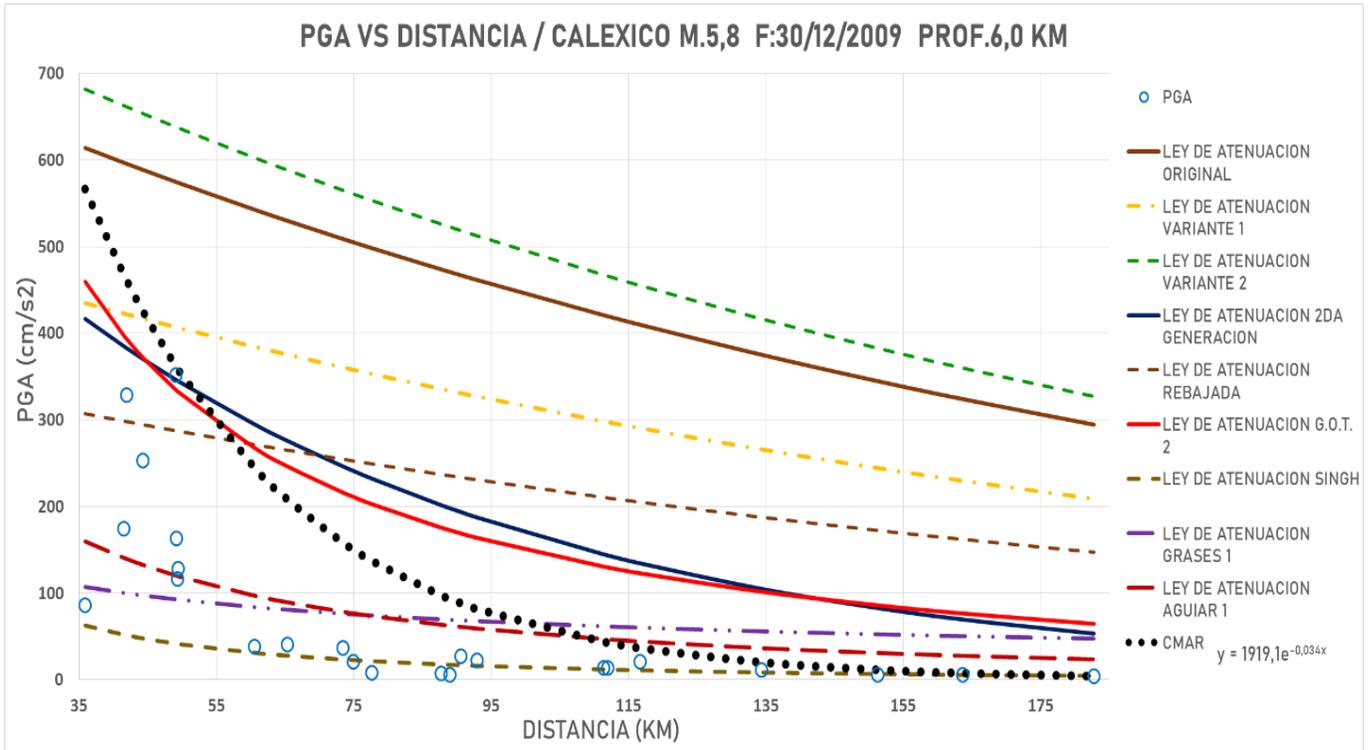
ALASKA M.5,1 F:01/12/2018 PROF.42,9 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	5	2	3	5	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	3	3	3	3	4	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	3	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	2	1	2	2	1	5	4	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	2	1	2	2	2	1	4	4
PROMEDIO	2,60	3,20	2,60	3,20	3,40	2,60	3,00	4,40	3,80

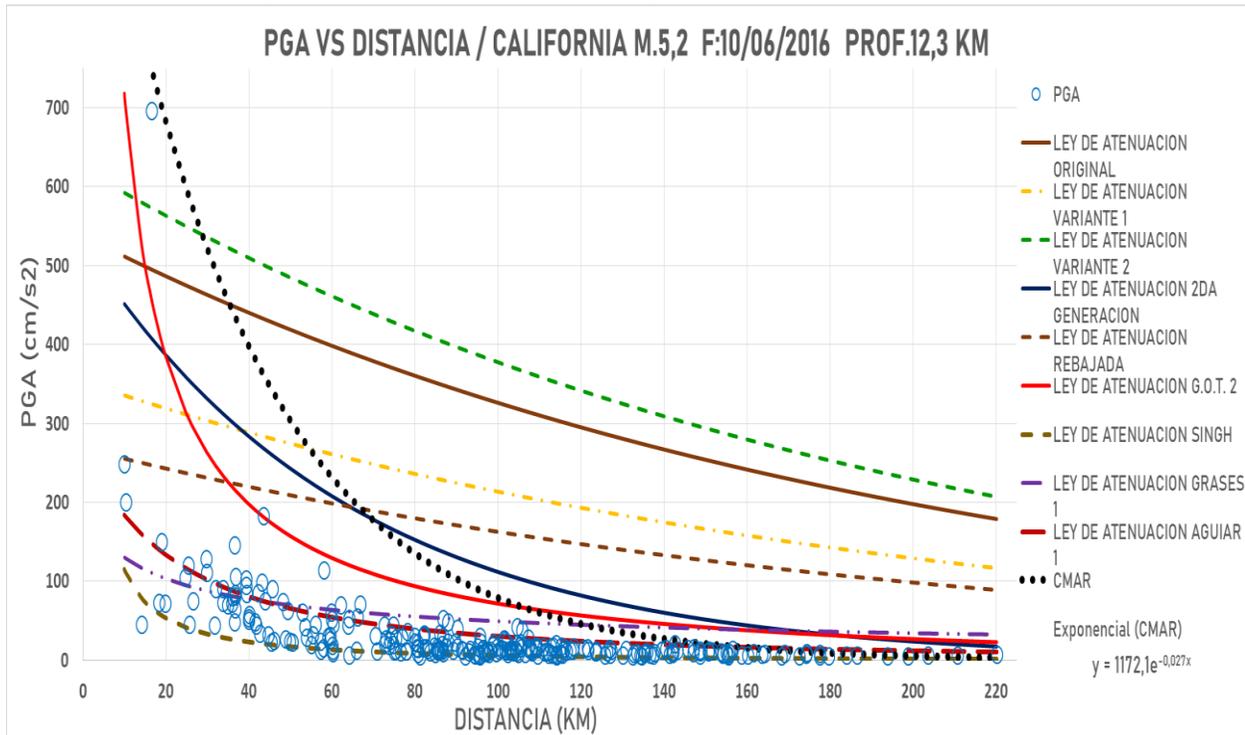
CALEXICO M.5,8 F:30/12/2009 PROF.6,0 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	2	4	2	3	2	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	1	4	2	4	3	3	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	4	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	5	3	5	4	5	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	3	2	3	3	3	1	1	1
PROMEDIO	3,00	3,60	2,60	4,20	3,20	4,00	1,60	2,20	2,20

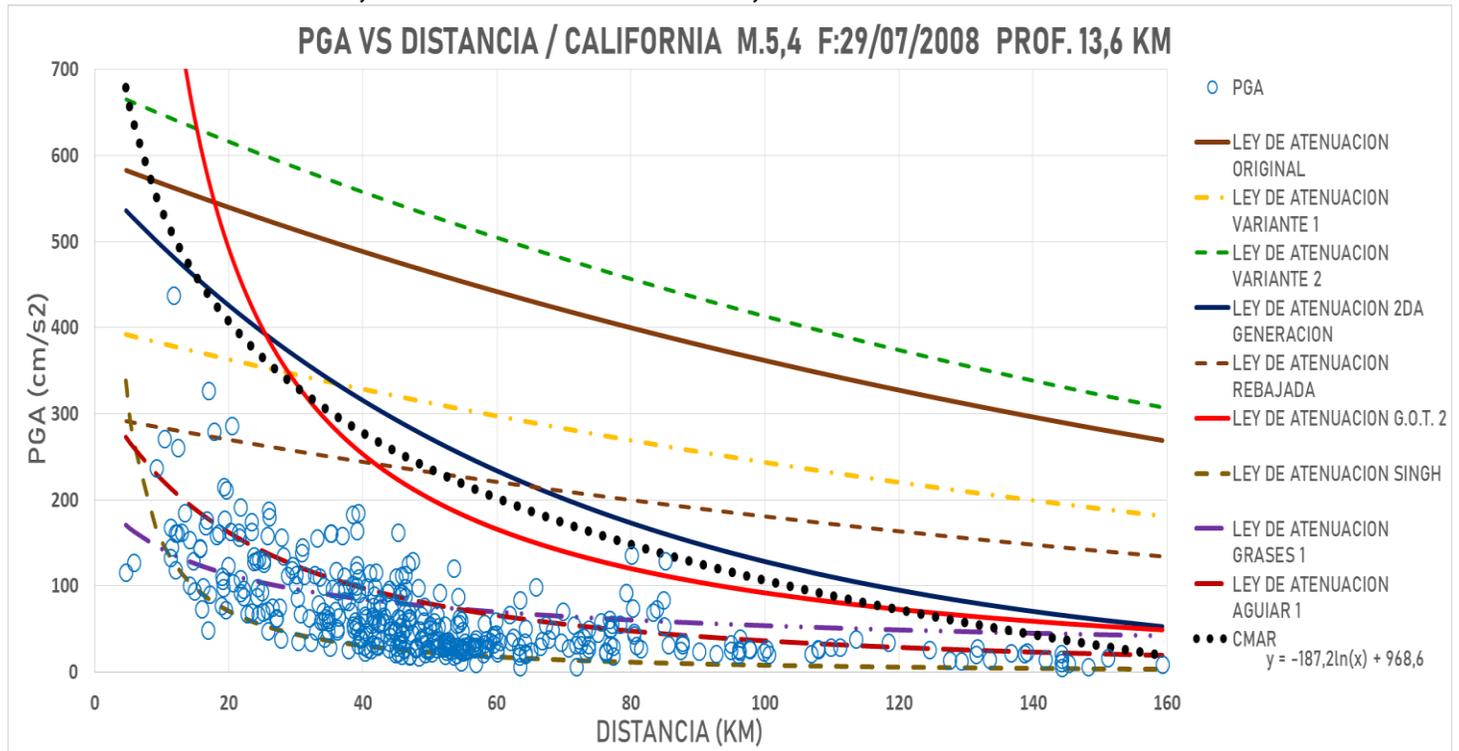
CALIFORNIA M.5,2 F:10/06/2016 PROF.12,3 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	2	4	2	4	2	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	2	5	3	4	1	1	1
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	0	4	2
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	1	4	2	1	3	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	2	2	4	2	3	1	1	1
PROMEDIO	3,00	2,60	3,00	4,00	2,60	3,80	1,00	1,80	1,40

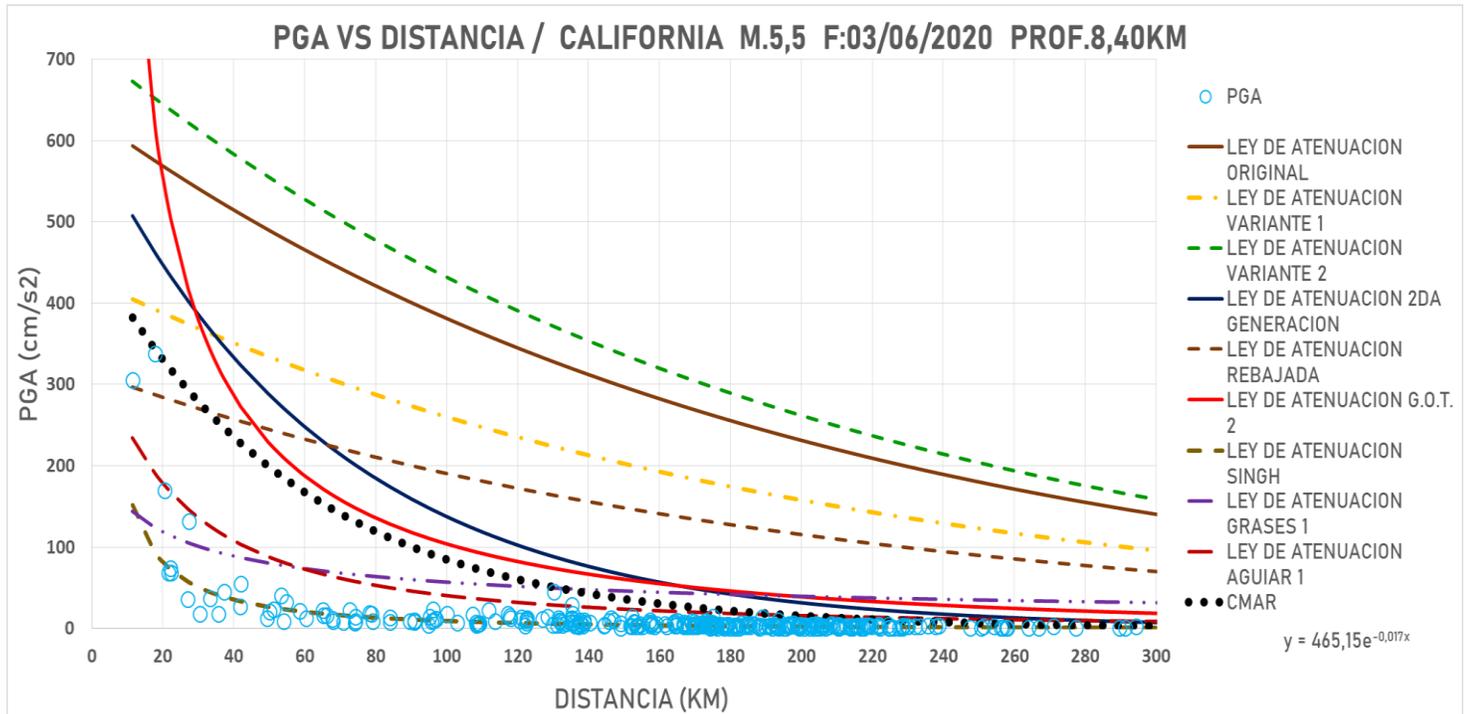
CALIFORNIA M.5,4 F:29/07/2008 PROF. 13,6 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	2	4	2	4	3	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	2	5	2	4	2	1	1
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	3	2
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	5	4	5	3	3	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	3	4	3	5	4	5	1	1	1
PROMEDIO	3,20	3,80	3,20	4,80	3,20	4,20	1,60	1,60	1,40

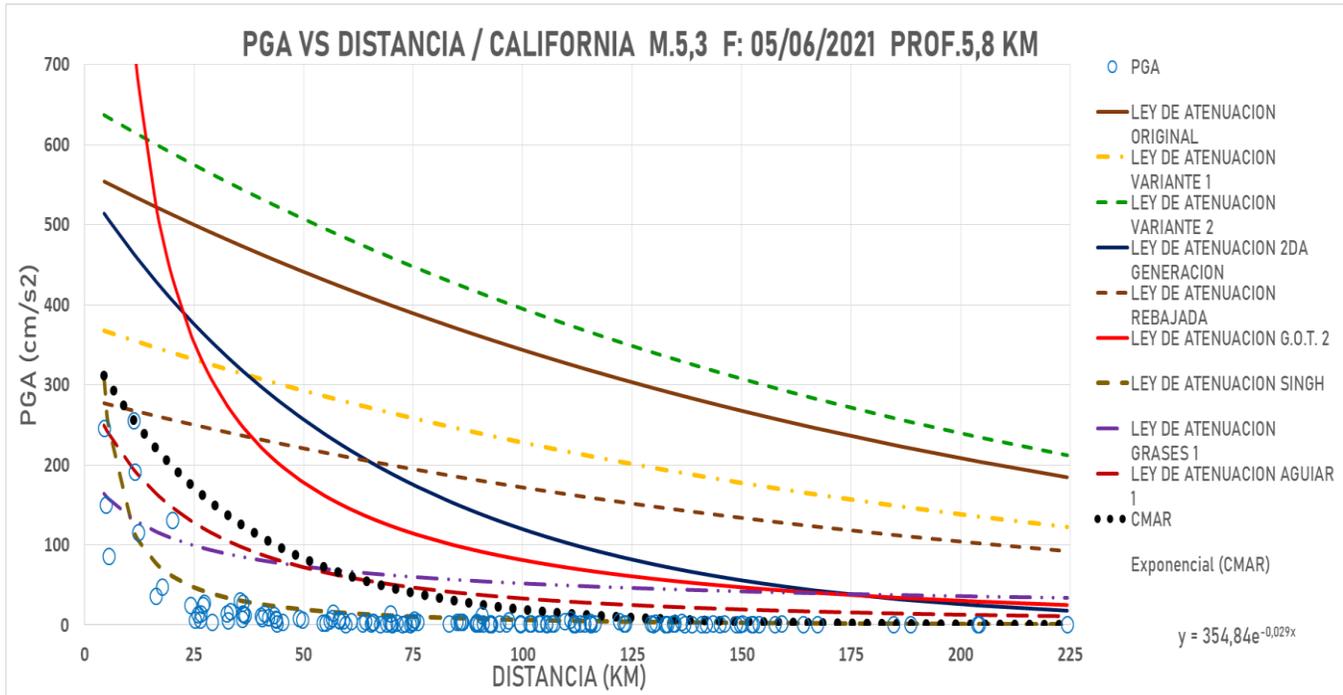
CALIFORNIA M.5,5 F:03/06/2020 PROF.8,40KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	5	3	4	3	1	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	3	1	4	2	4	2	2	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	3	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	5	3	4	5	3	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	3	2	3	1	3	3
PROMEDIO	2,60	3,40	2,60	4,20	3,40	3,80	2,00	2,40	2,60

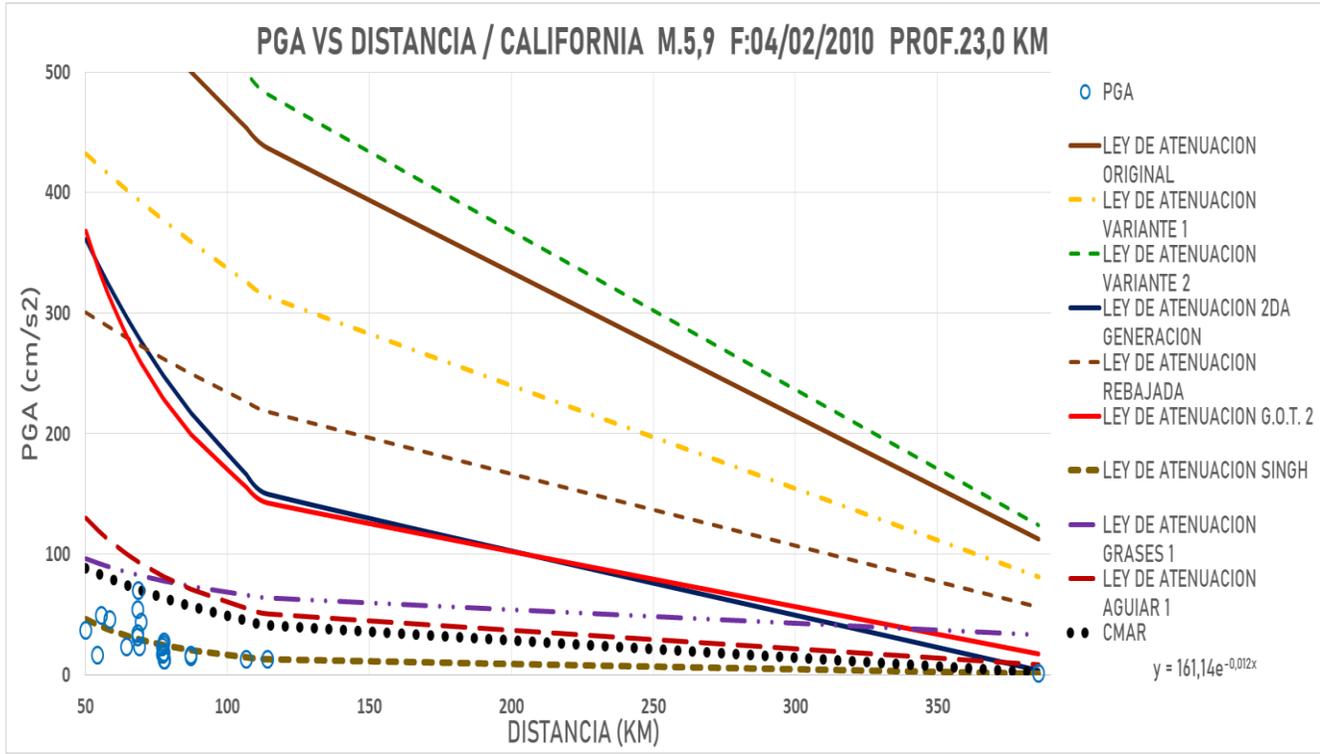
CALIFORNIA M.5,3 F: 05/06/2021 PROF.5,8 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	2	5	2	4	2	1	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	1	3	3	3	3	3	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	4	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	4	2	3	5	2	1	1	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	1	1	1	1	2	3
PROMEDIO	2,40	3,00	2,20	3,40	3,20	3,00	2,20	2,40	3,20

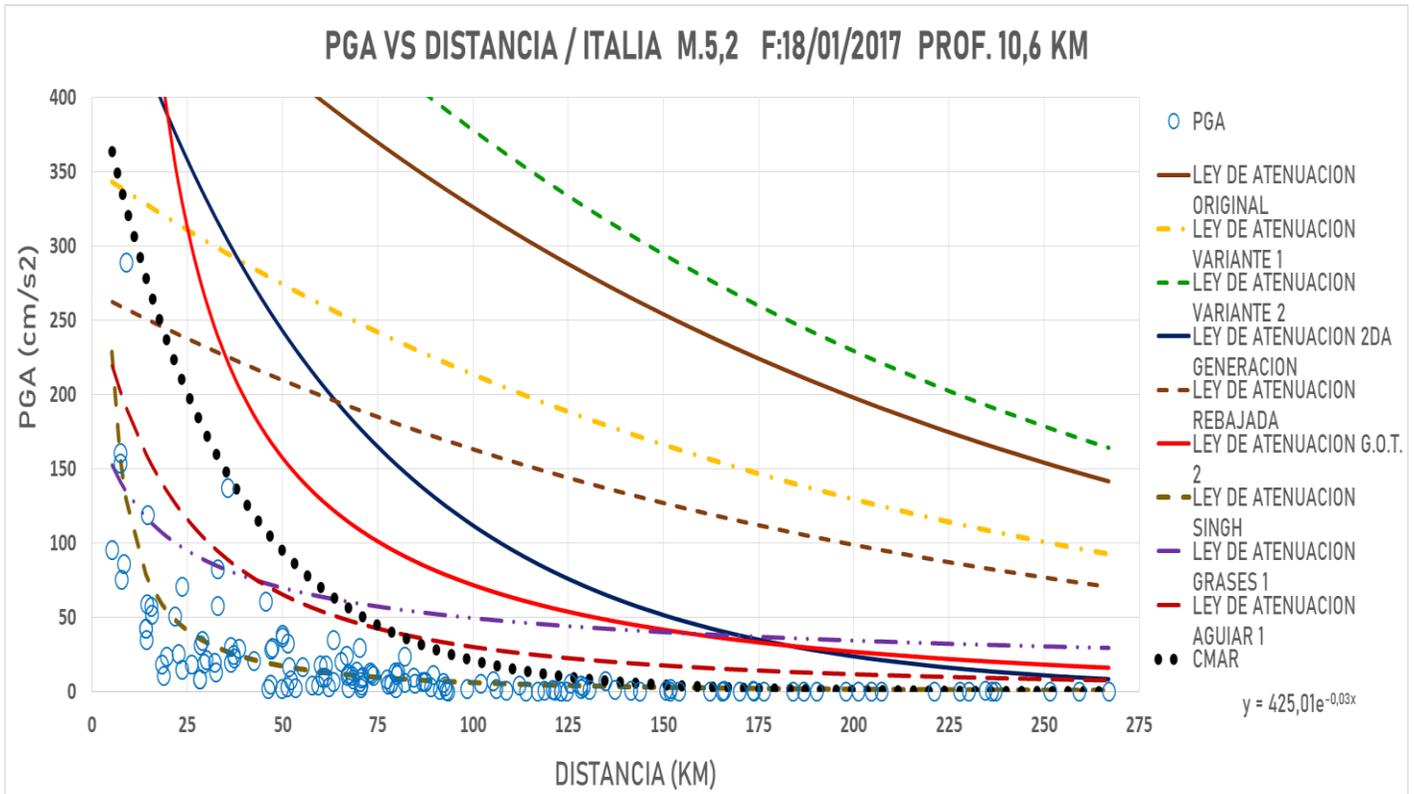
CALIFORNIA M.5,9 F:04/02/2010 PROF.23,0 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	2	3	3	2	3	3	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	3	3	3	4	4	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	3	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	2	2	2	1	5	4
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	2	2	1	4	4
PROMEDIO	2,00	2,20	2,00	3,00	3,00	2,80	2,40	4,20	3,80

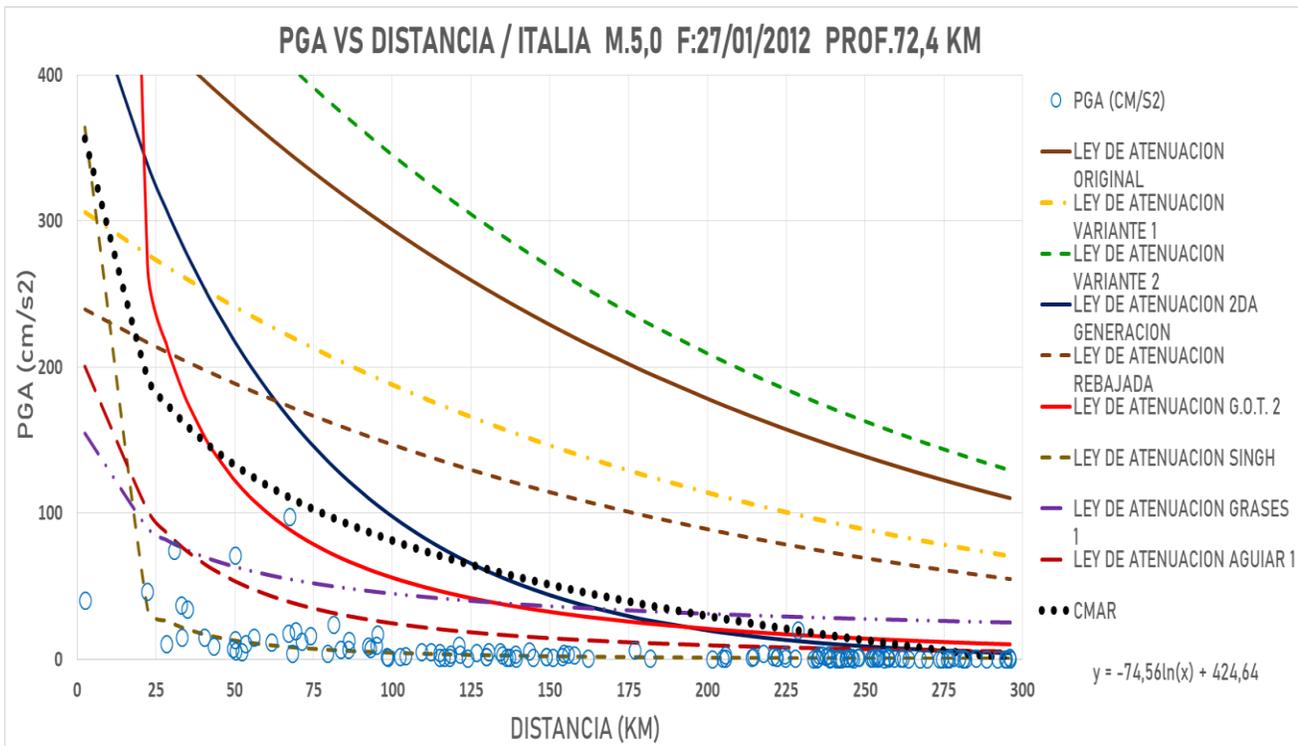
ITALIA M.5,2 F:18/01/2017 PROF. 10,6 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	5	3	5	3	2	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	3	4	3	4	3	3	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	2	4	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	5	3	4	5	2	1	1	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	2	1	2	2	2	1	2	3
PROMEDIO	3,00	3,80	3,20	4,00	3,60	3,60	2,00	2,40	3,20

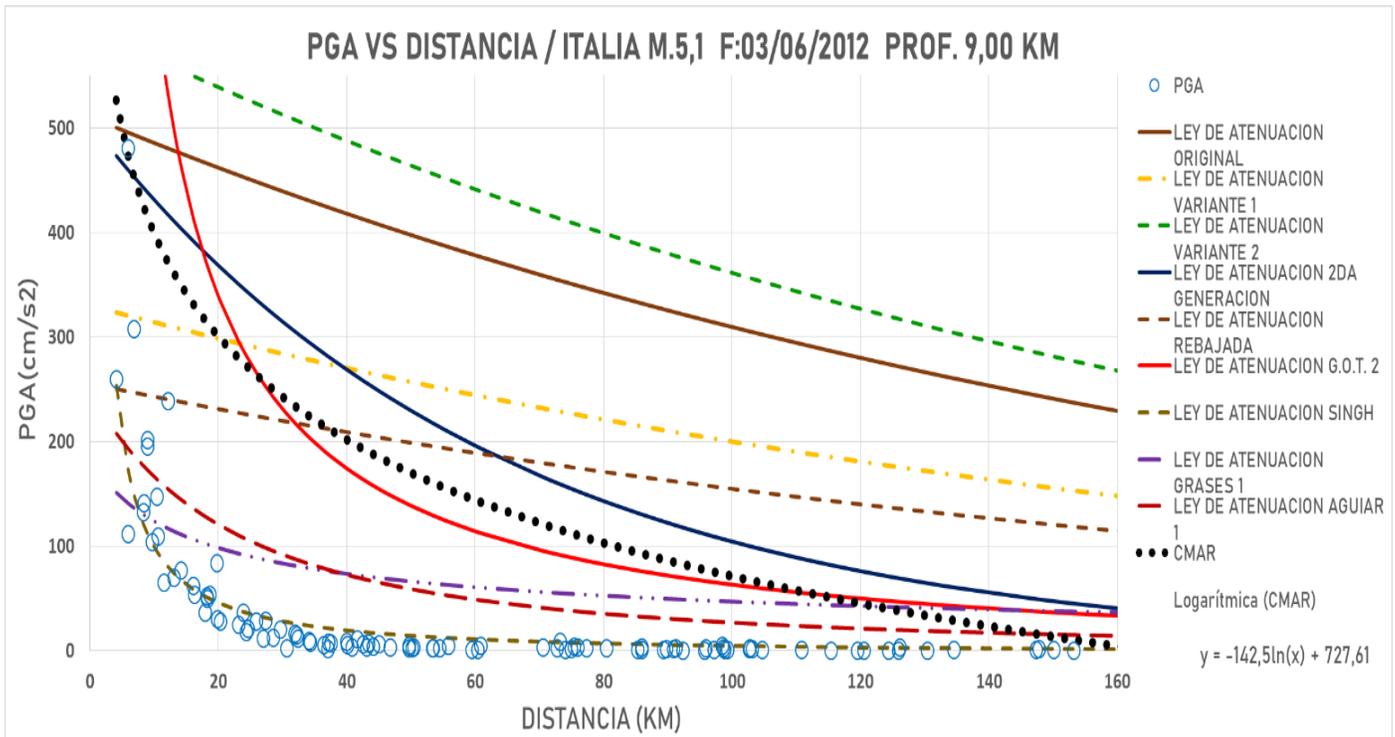
ITALIA M.5,0 F:27/01/2012 PROF.72,4 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	4	2	3	3	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	4	3	5	3	2	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	4	1	5	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	3	2	3	3	5	1	2	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	2	1	4	2	4	1	2	1
PROMEDIO	2,60	3,00	2,60	4,00	3,00	4,20	1,80	2,60	2,00

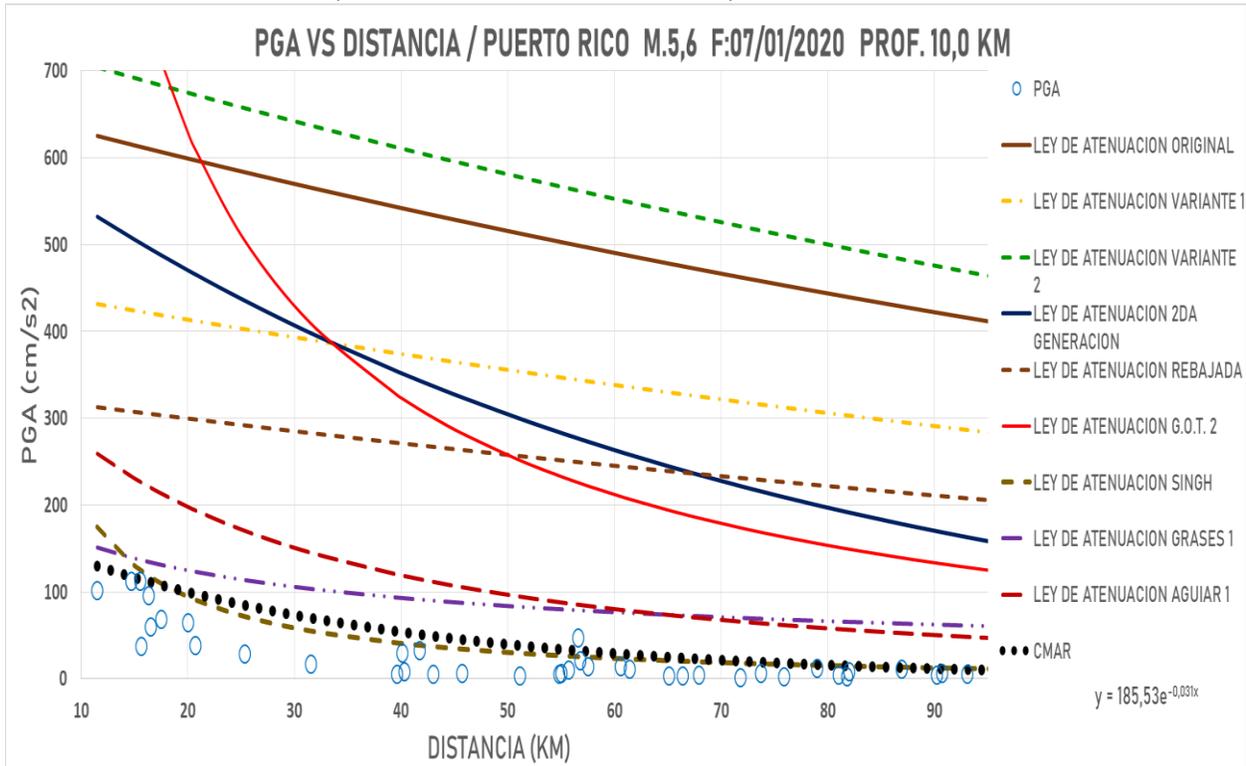
ITALIA M.5,1 F:03/06/2012 PROF. 9,00 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	5	3	5	4	2	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	2	3	5	3	5	3	3	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	4	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	5	3	5	5	1	3	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	3	3	2	4	4	4	1	1	1
PROMEDIO	4,00	3,40	3,80	4,80	3,20	4,40	2,60	2,40	2,40

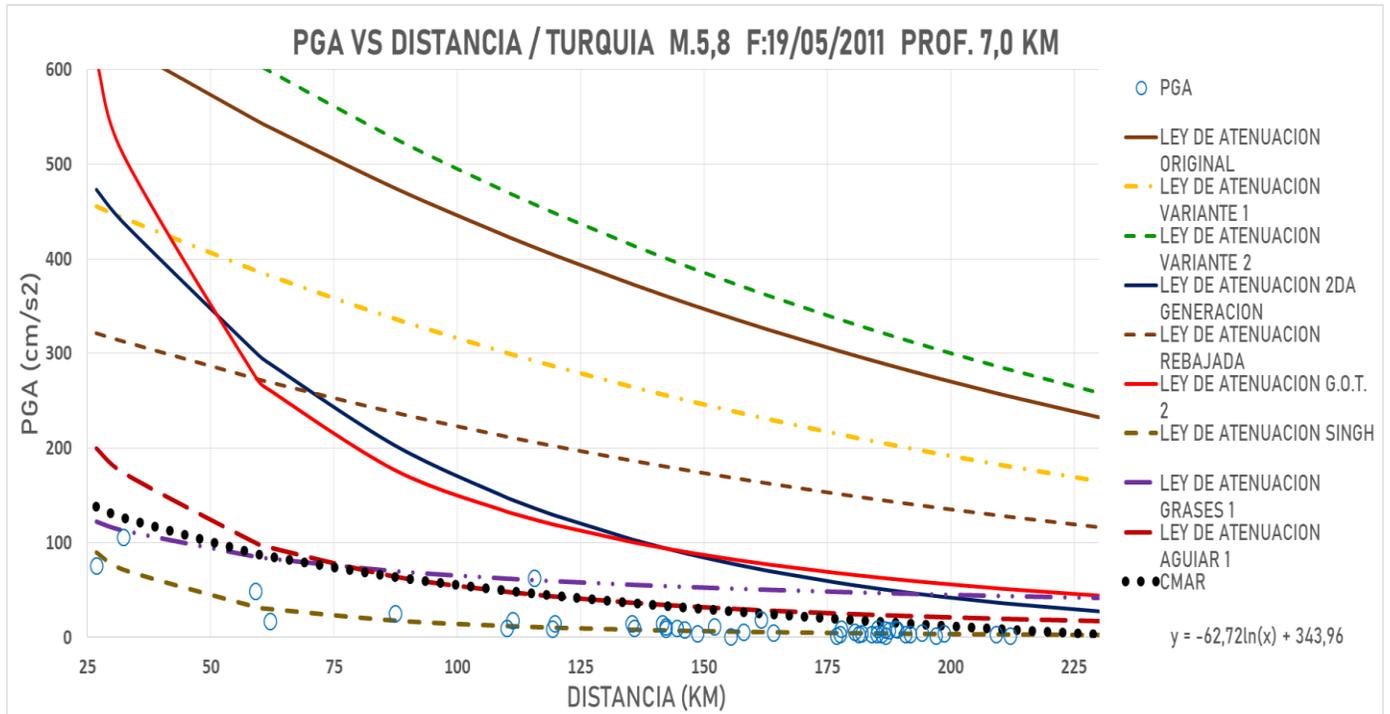
PUERTO RICO M.5,6 F:07/01/2020 PROF. 10,0 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	3	3	4	2	4	4	4	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	2	2	2	4	4	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	5	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	2	1	2	2	1	5	5	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	1	1	1	5	3	2
PROMEDIO	2,60	2,60	2,40	2,80	2,40	2,60	4,60	4,20	3,20

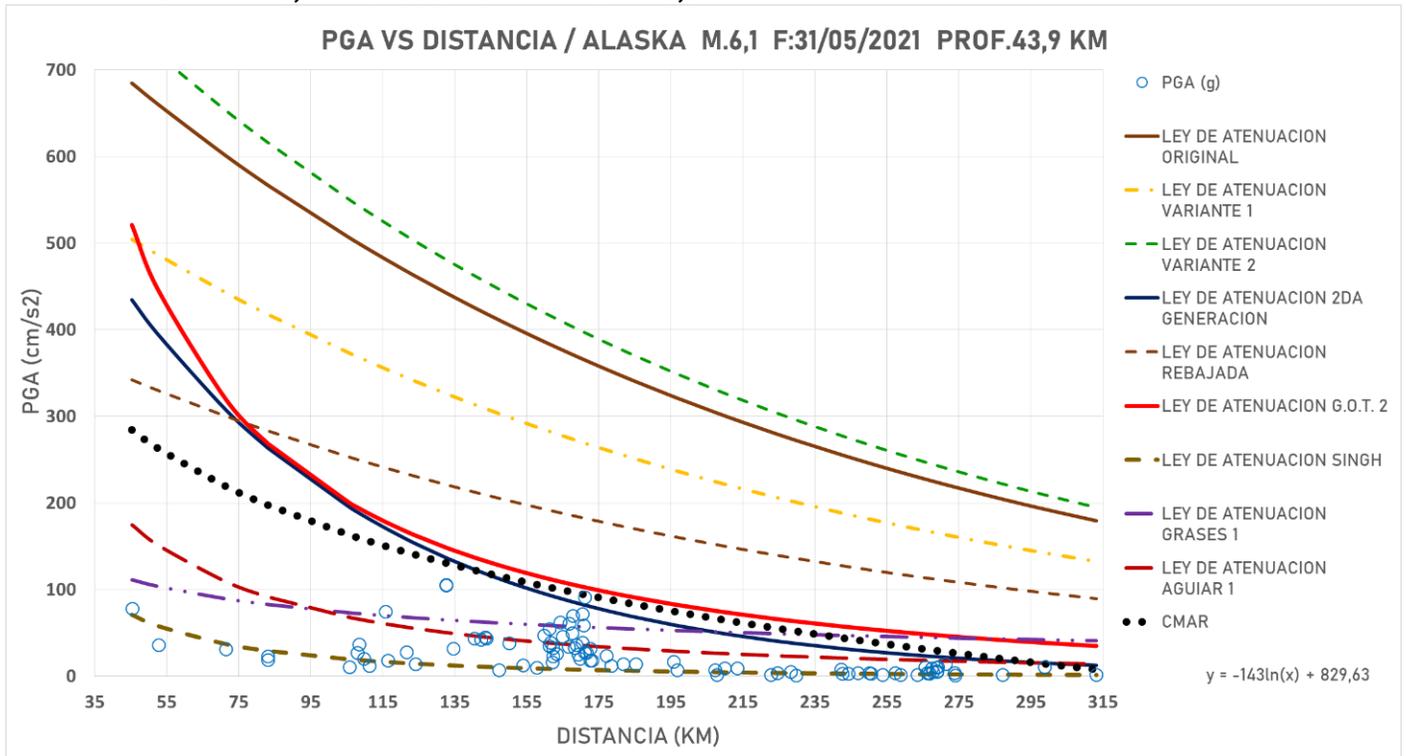
TURQUIA M.5,8 F:19/05/2011 PROF. 7,0 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	5	3	5	4	3	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	4	2	4	4	3	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	2	1	2	2	2	3	5	4
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	1	2	1	3	4
PROMEDIO	2,40	2,60	2,40	3,60	2,60	3,60	2,60	3,80	3,80

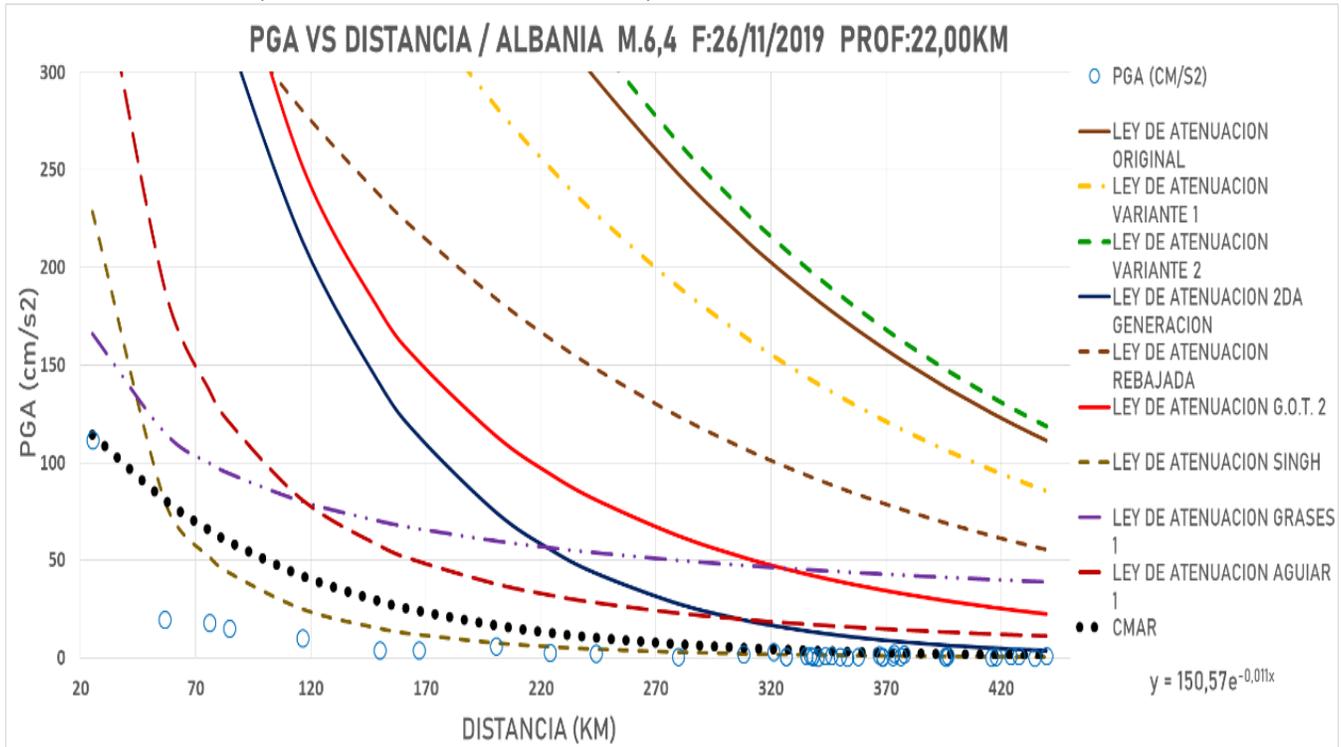
ALASKA M.6,1 F:31/05/2021 PROF.43,9 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	3	5	3	4	3	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	2	4	5	4	1	2	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	2	2	4	3	4	1	2	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	2	2	4	3	5	1	2	1
PROMEDIO	3,20	3,40	3,20	4,00	4,20	4,20	1,60	2,80	2,40

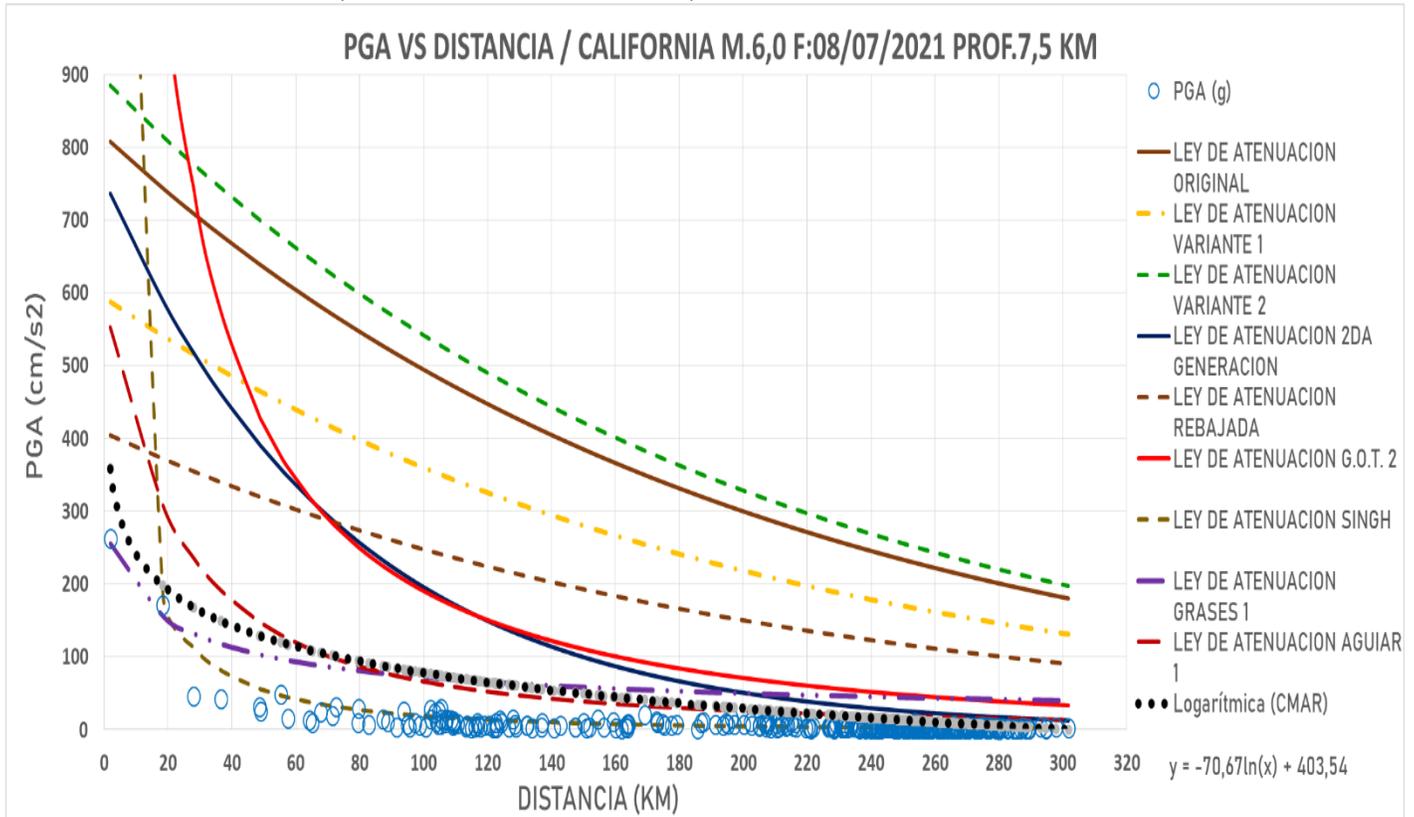
ALBANIA M.6,4 F:26/11/2019 PROF:22,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION N G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION N SINGH	LEY DE ATENUACION N GRASES 1	LEY DE ATENUACION N AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	4	3	4	2	3	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	4	3	3	3	3	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	4	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	1	2	1	3	4	2
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	1	1	1	1	2
PROMEDIO	2,60	2,60	2,60	3,20	2,80	2,80	2,60	3,20	3,40

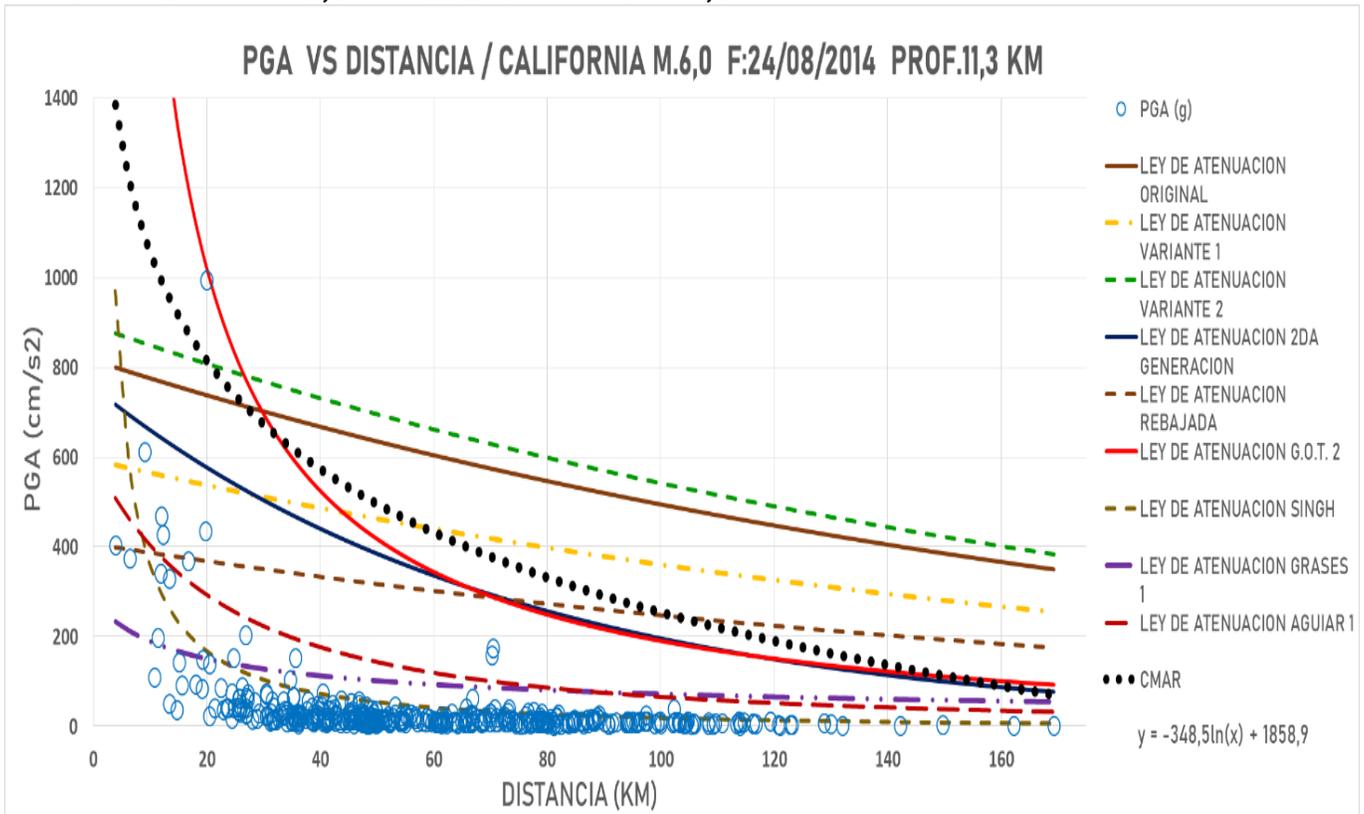
CALIFORNIA M.6,0 F:08/07/2021 PROF.7,5 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	5	4	3	1	4	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	3	4	4	3	5	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	3	2	2	4	1	1	5	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	3	1	2	1	3	3
PROMEDIO	2,80	3,00	2,80	3,60	3,60	3,00	1,40	4,40	3,80

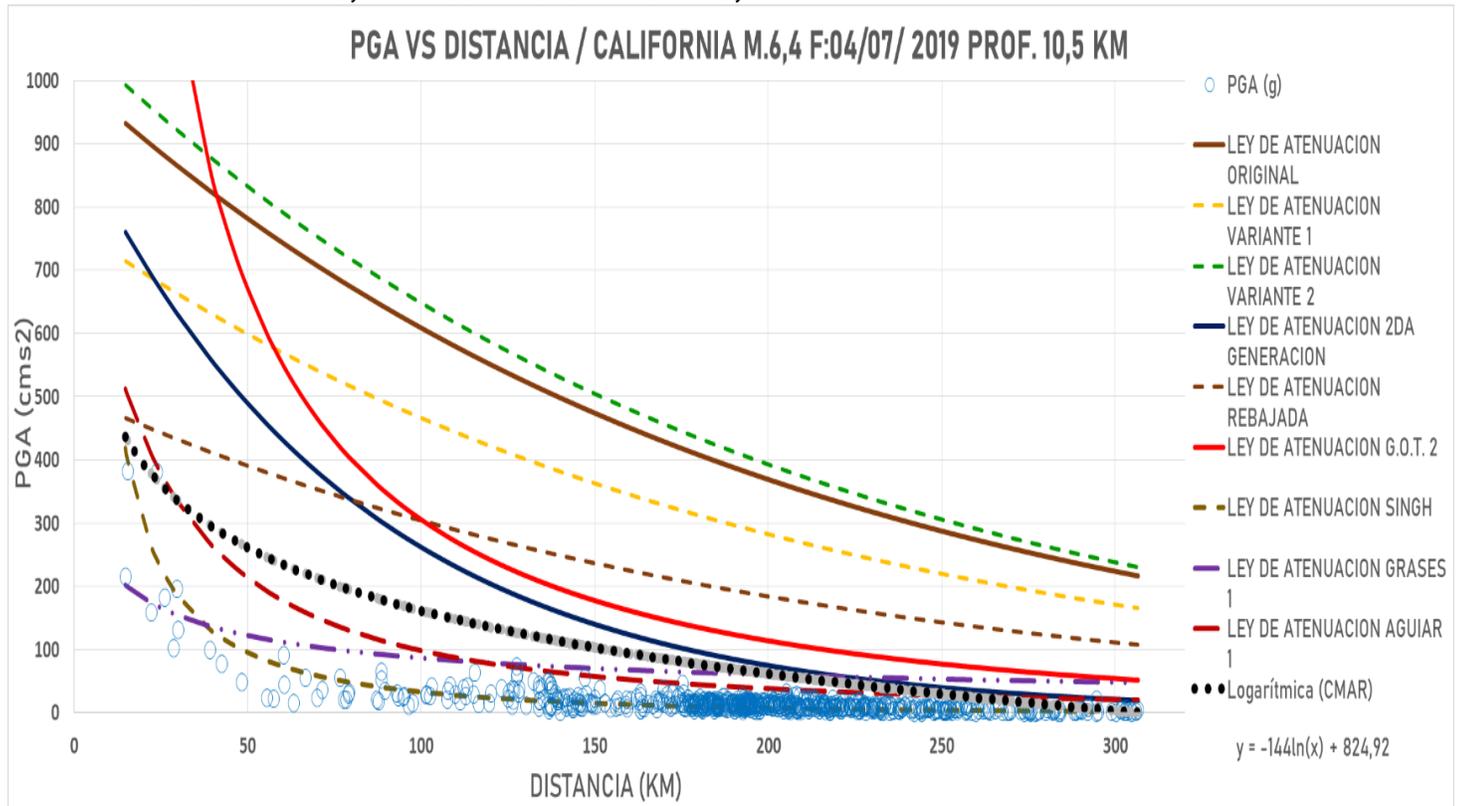
CALIFORNIA M.6,0 F:24/08/2014 PROF.11,3 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	2	3	2	5	5	3	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	2	4	2	4	1	1	1
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	4	5	2	3	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	1	4	2	1	5	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	4	4	4	4	3	4	1	1	1
PROMEDIO	3,40	3,00	3,40	3,60	2,40	4,60	2,00	1,80	1,80

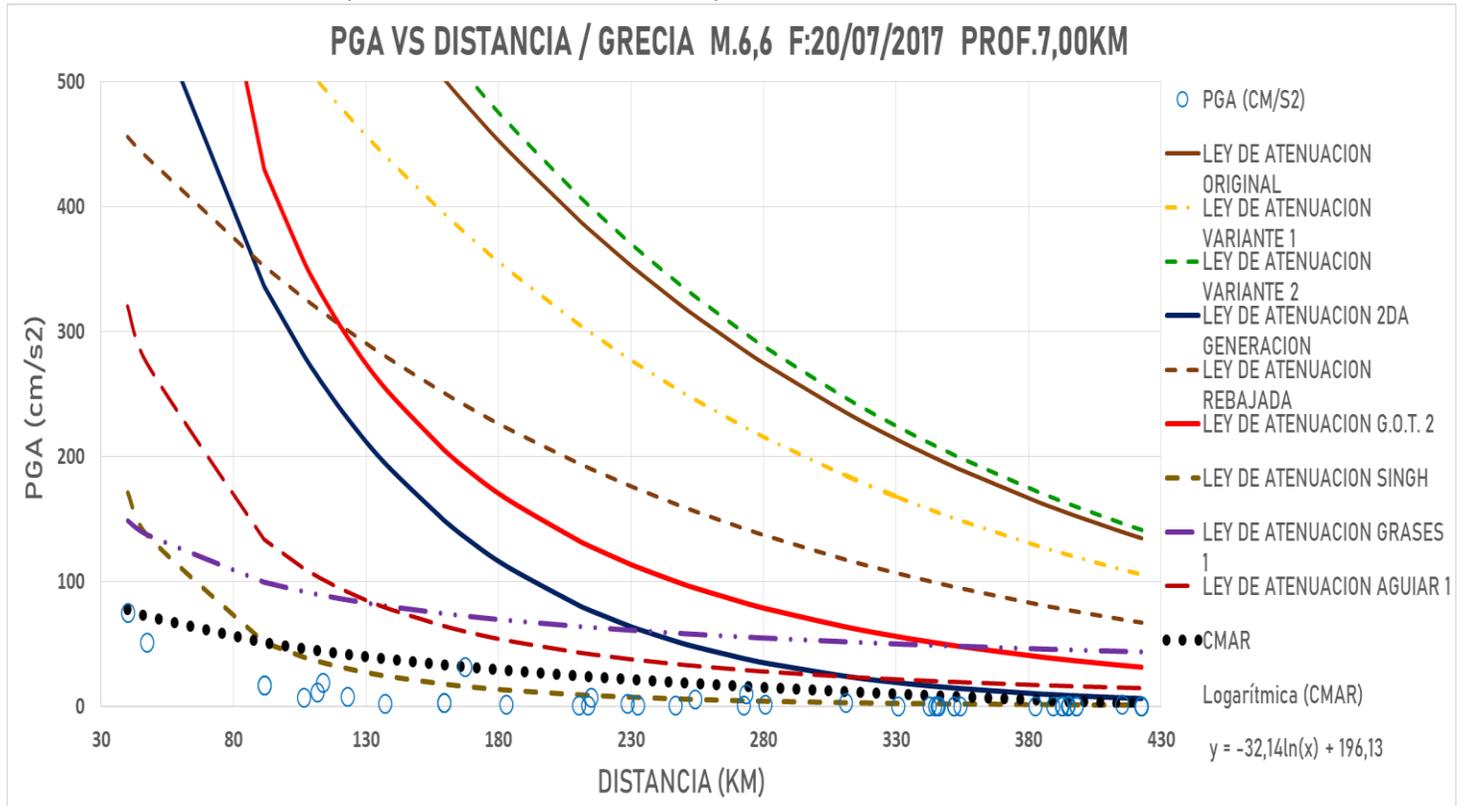
CALIFORNIA M.6,4 F:04/07/ 2019 PROF. 10,5 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	4	4	3	3	4	4	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	3	2	5	4	4	4	3	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	2	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	2	2	2	3	1	3	5	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	2	1	4	2	3	1	4	3
PROMEDIO	3,00	3,40	2,80	4,00	3,40	3,20	2,80	4,20	3,80

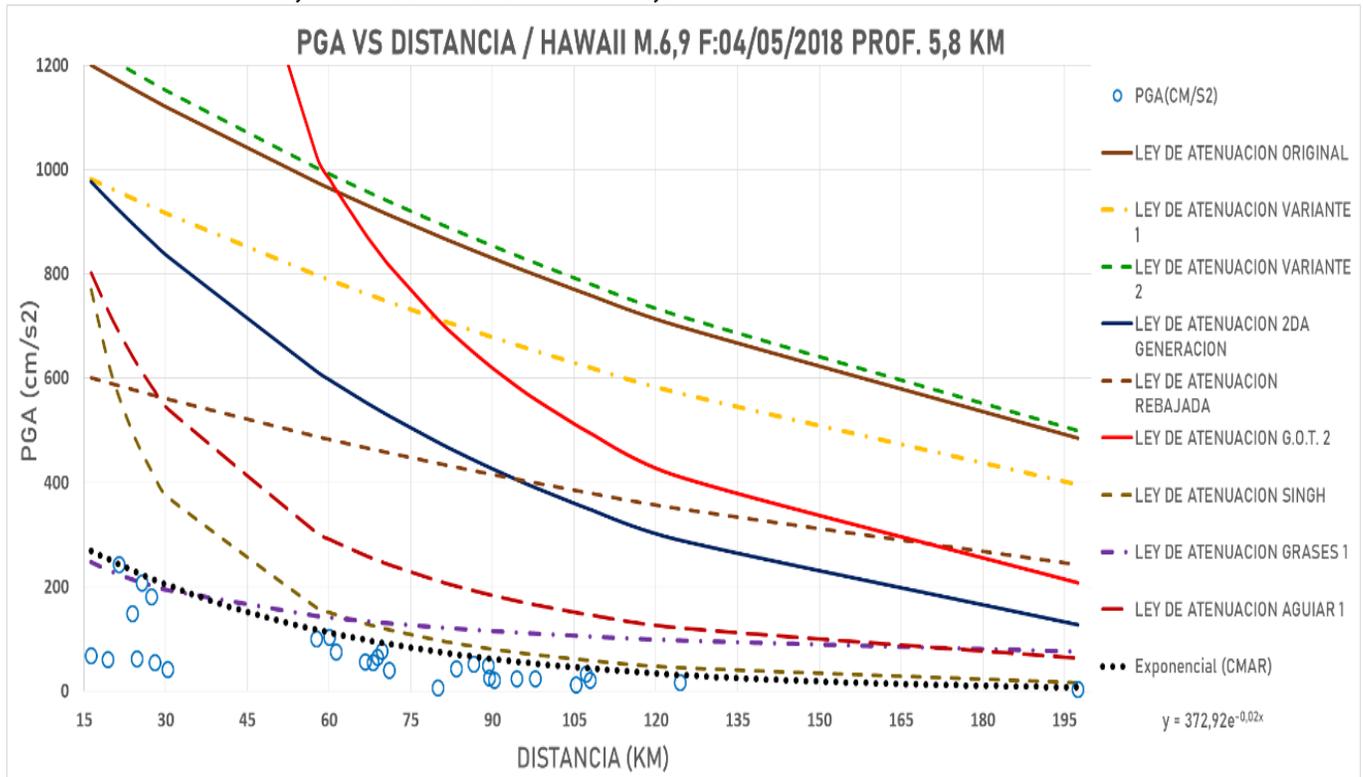
GRECIA M.6,6 F:20/07/2017 PROF.7,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	3	3	3	2	5	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	3	2	3	5	4	5
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	3	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	1	1	1	3	3	2
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	1	1	1	2	3
PROMEDIO	2,40	2,40	2,40	2,80	2,40	2,60	2,80	3,80	3,80

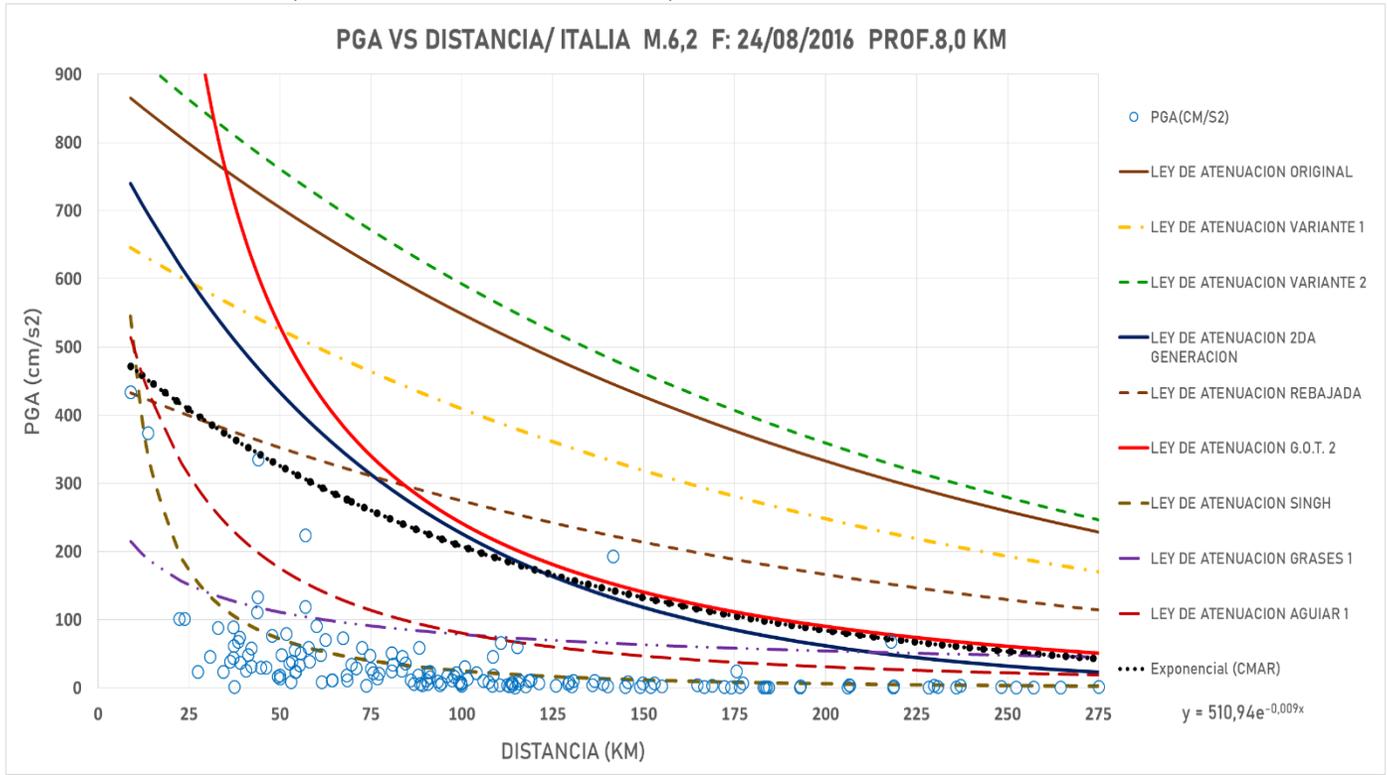
HAWAII M.6,9 F:04/05/2018 PROF. 5,8 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	3	4	2	1	4	1
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	1	5	4	3	3	2	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	5	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	2	2	2	3	1	3	5	2
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	1	2	1	4	4	2
PROMEDIO	3,20	3,20	2,80	3,20	3,60	2,40	3,20	4,00	2,60

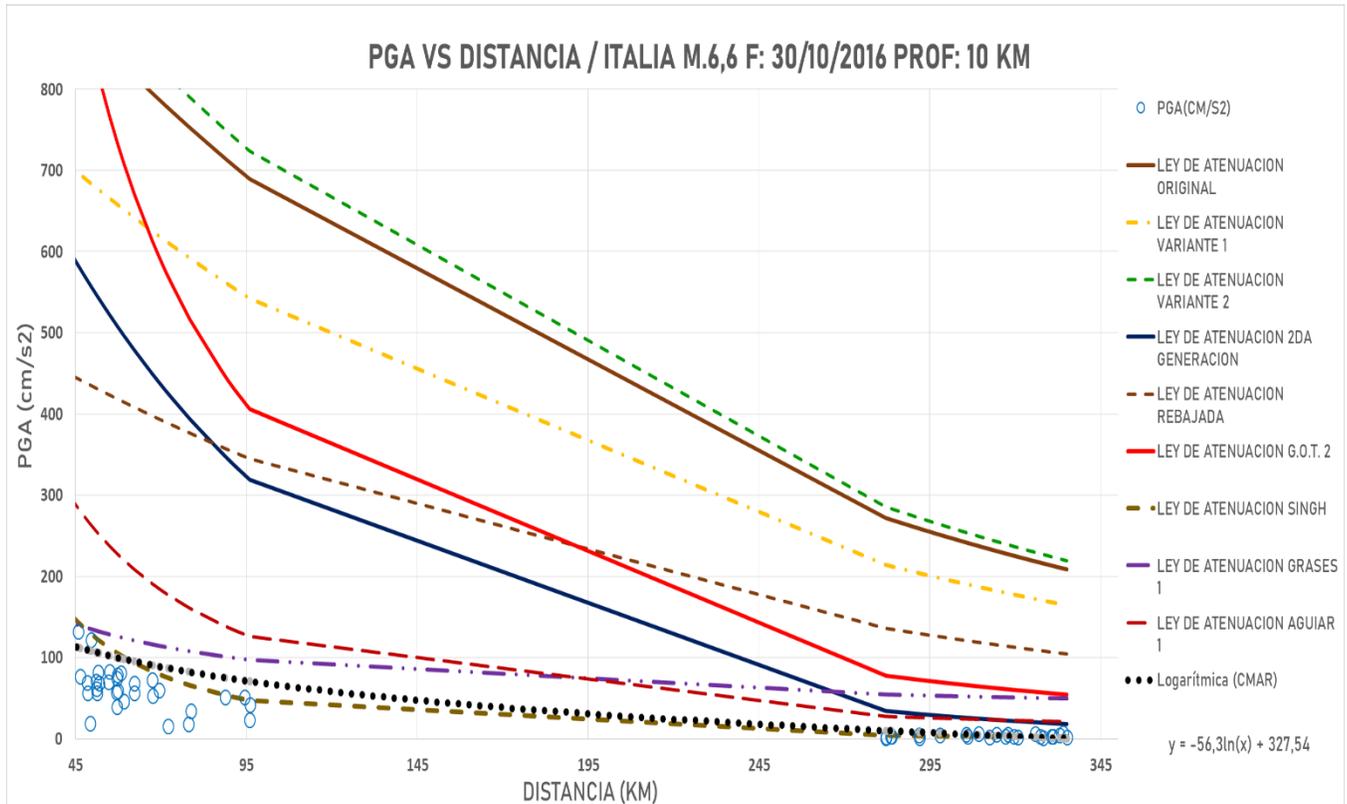
ITALIA M.6,2 F: 24/08/2016 PROF.8,0 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	5	2	2	4	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	3	4	2	2	1	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	4	4	4	2	2	3
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	4	3	3	5	1	4	1	5
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	3	2	4	4	4	1	1	1
PROMEDIO	3,20	3,80	3,20	3,60	4,40	2,60	2,20	1,80	2,60

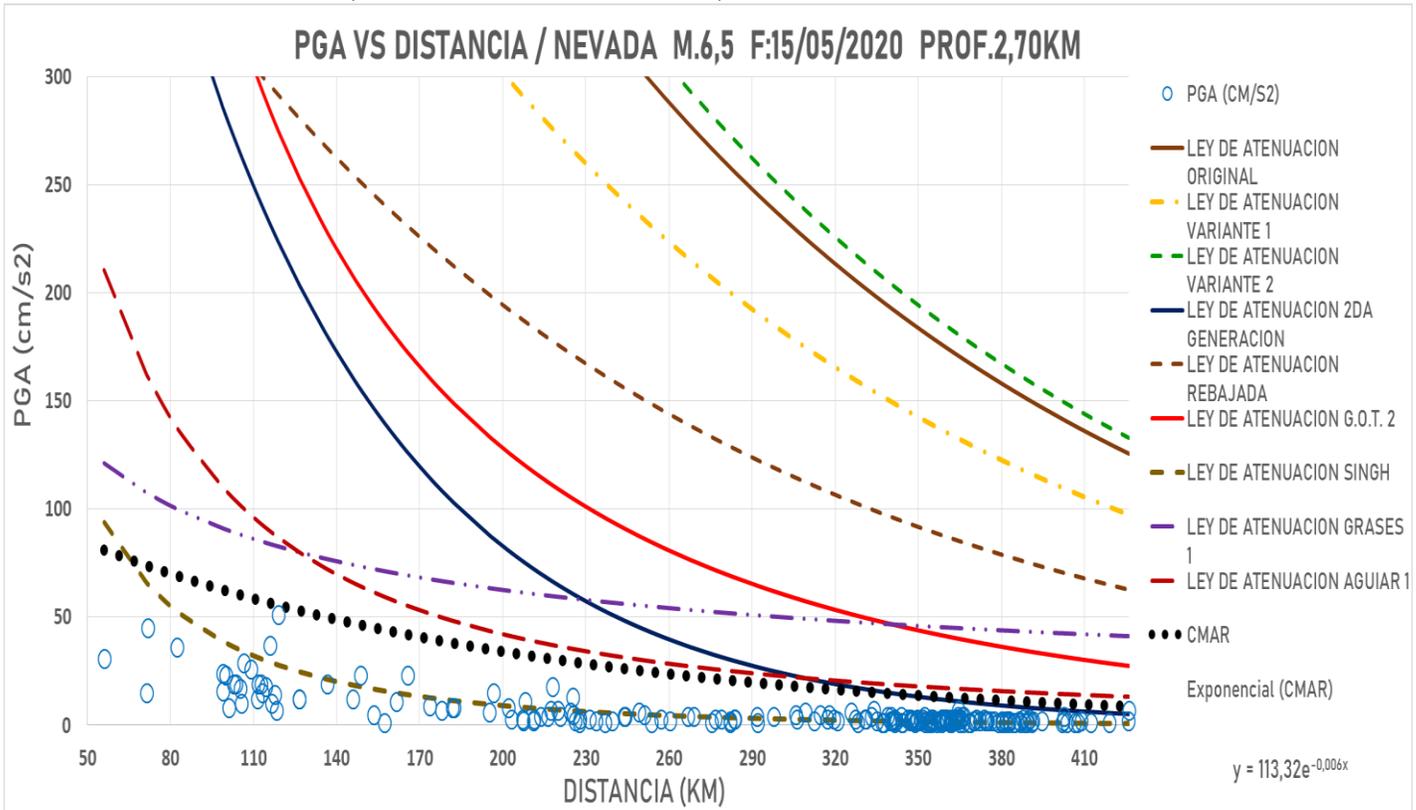
ITALIA M.6,6 F: 30/10/2016 PROF: 10 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	4	3	3	4	2	4	4	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	4	4	2	5	5	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	5	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	2	1	1	2	2	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	2	2	2	3	1	3	4	2
PROMEDIO	2,40	2,80	2,40	3,20	3,40	2,20	3,80	4,00	2,80

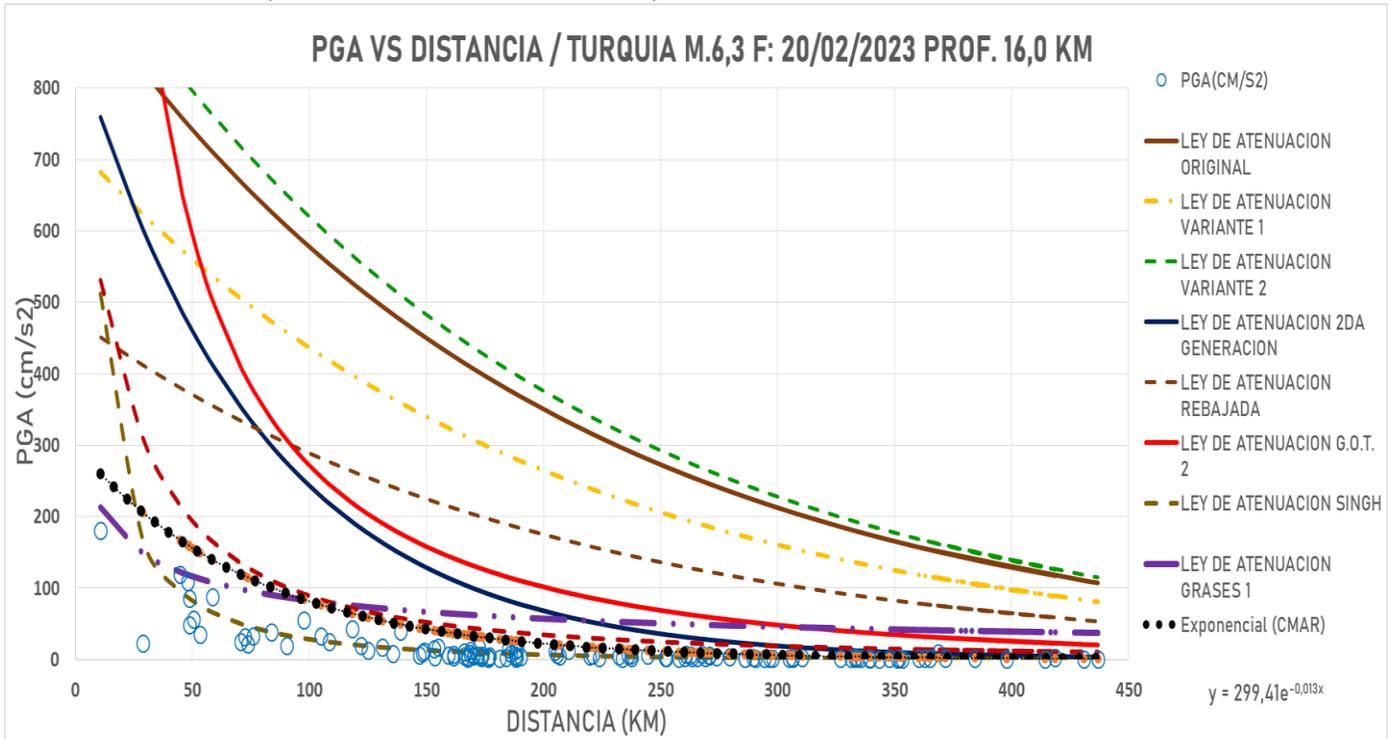
NEVADA M.6,5 F:15/05/2020 PROF.2,70KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	4	5	4	3	5	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	1	1	4	1	2	4	4	5
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	2	1	1	1	4	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	4	1	2	1	2	4
PROMEDIO	2,40	2,40	2,40	3,80	2,60	2,80	2,00	4,00	4,00

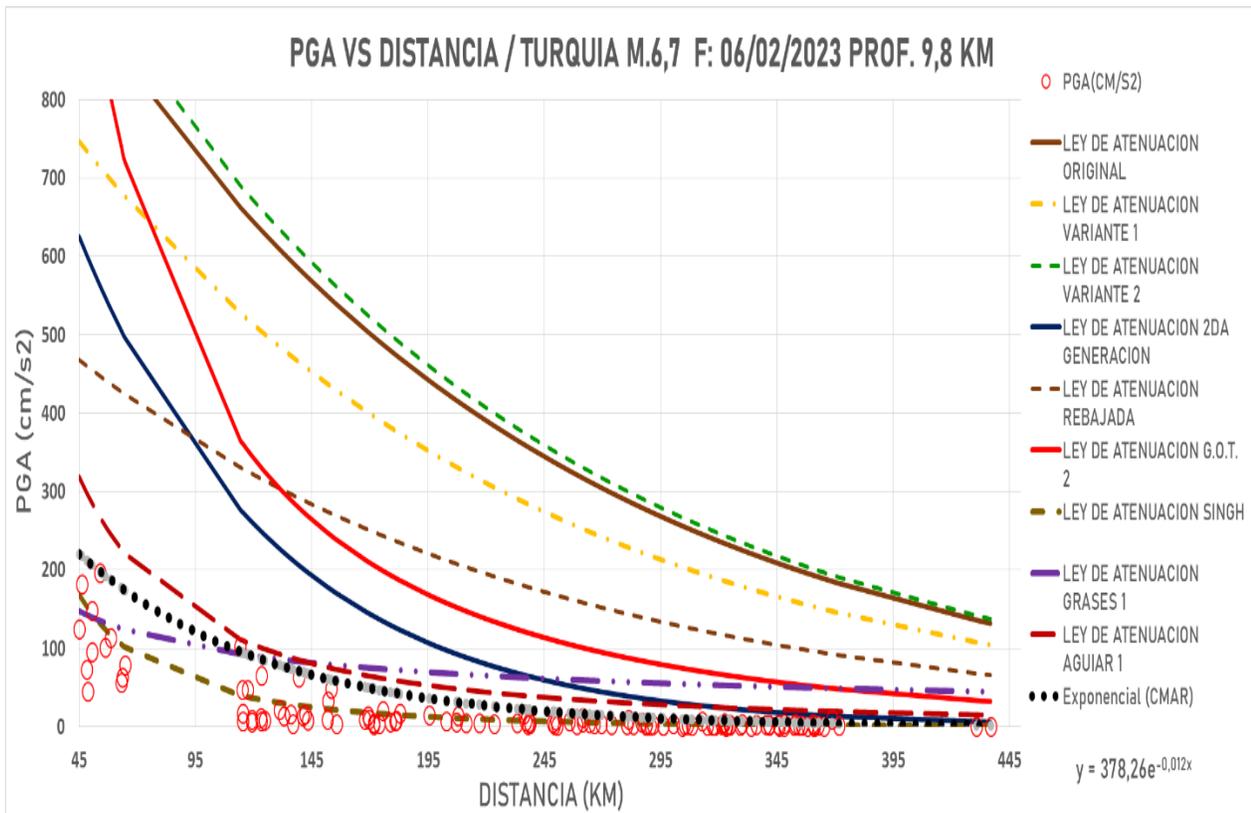
TURQUIA M.6,3 F: 20/02/2023 PROF. 16,0 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	5	3	2	5	5
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	1	1	4	3	4	5	5	5
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	2	1	2	3	1	2	5	2
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	1	1	1	2	3
PROMEDIO	2,80	2,80	2,60	3,40	3,40	2,80	2,20	4,40	4,00

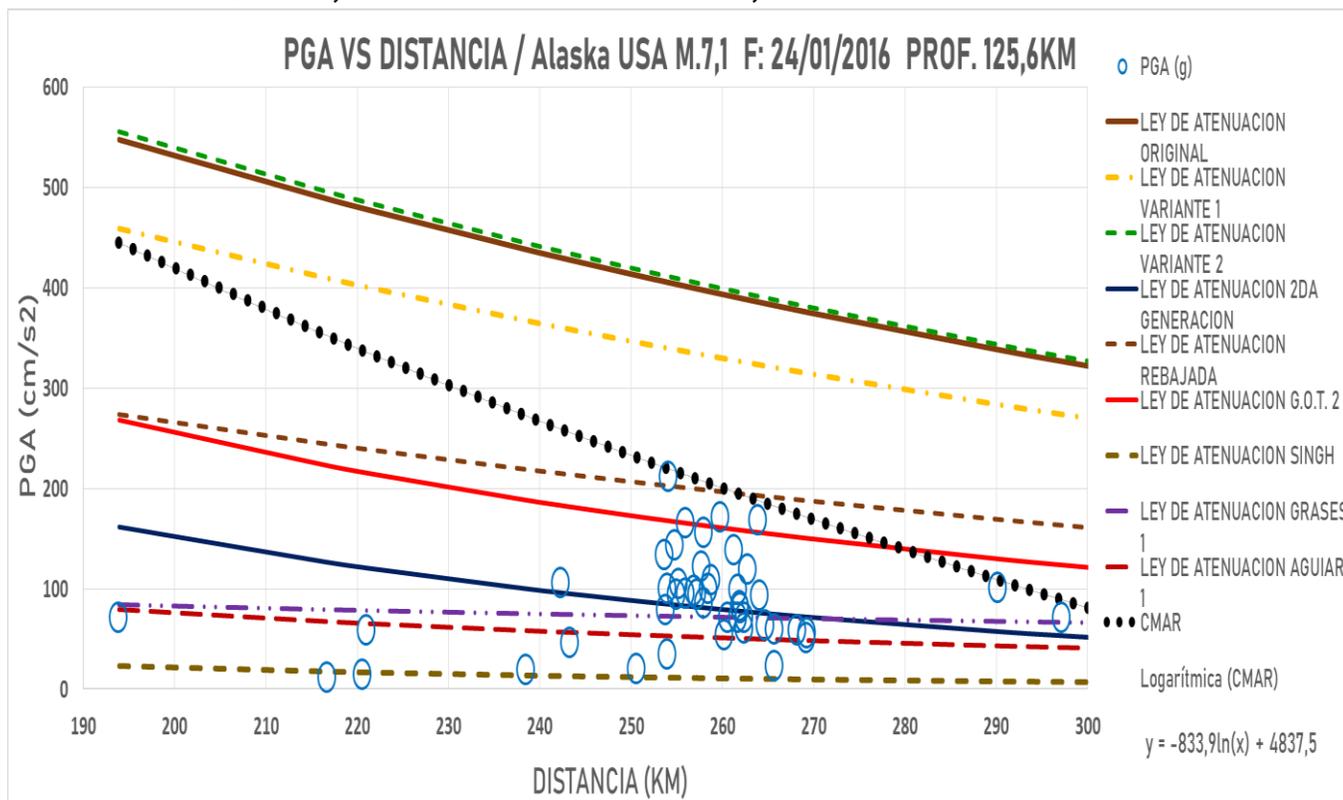
TURQUIA M.6,7 F: 06/02/2023 PROF. 9,8 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION N G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION N SINGH	LEY DE ATENUACION N GRASES 1	LEY DE ATENUACION N AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	5	5	3	5	4	5
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	4	2	4	5	5	5
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	2	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	2	2	2	3	2	3	3	4
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	1	1	3	1	1
PROMEDIO	2,60	2,80	2,60	3,60	3,20	3,00	3,60	3,60	4,00

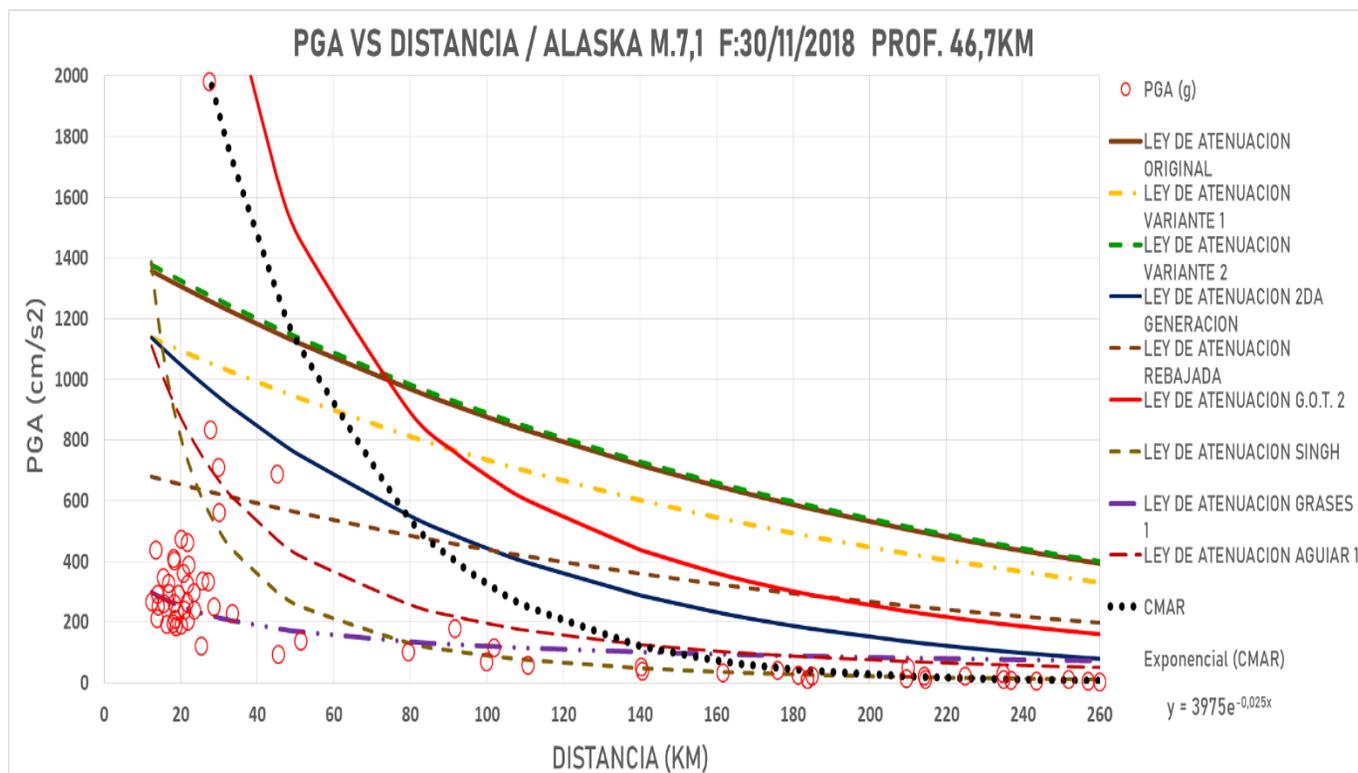
Alaska USA M.7,1 F: 24/01/2016 PROF. 125,6KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	5	4	5	3	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	4	3	2	4	3	1	2	1
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	1	5	3	1	2	1
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	4	3	1	5	4	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	3	4	3	1	5	4	1	1	1
PROMEDIO	3,80	4,40	3,80	2,00	4,60	3,80	1,40	1,60	1,20

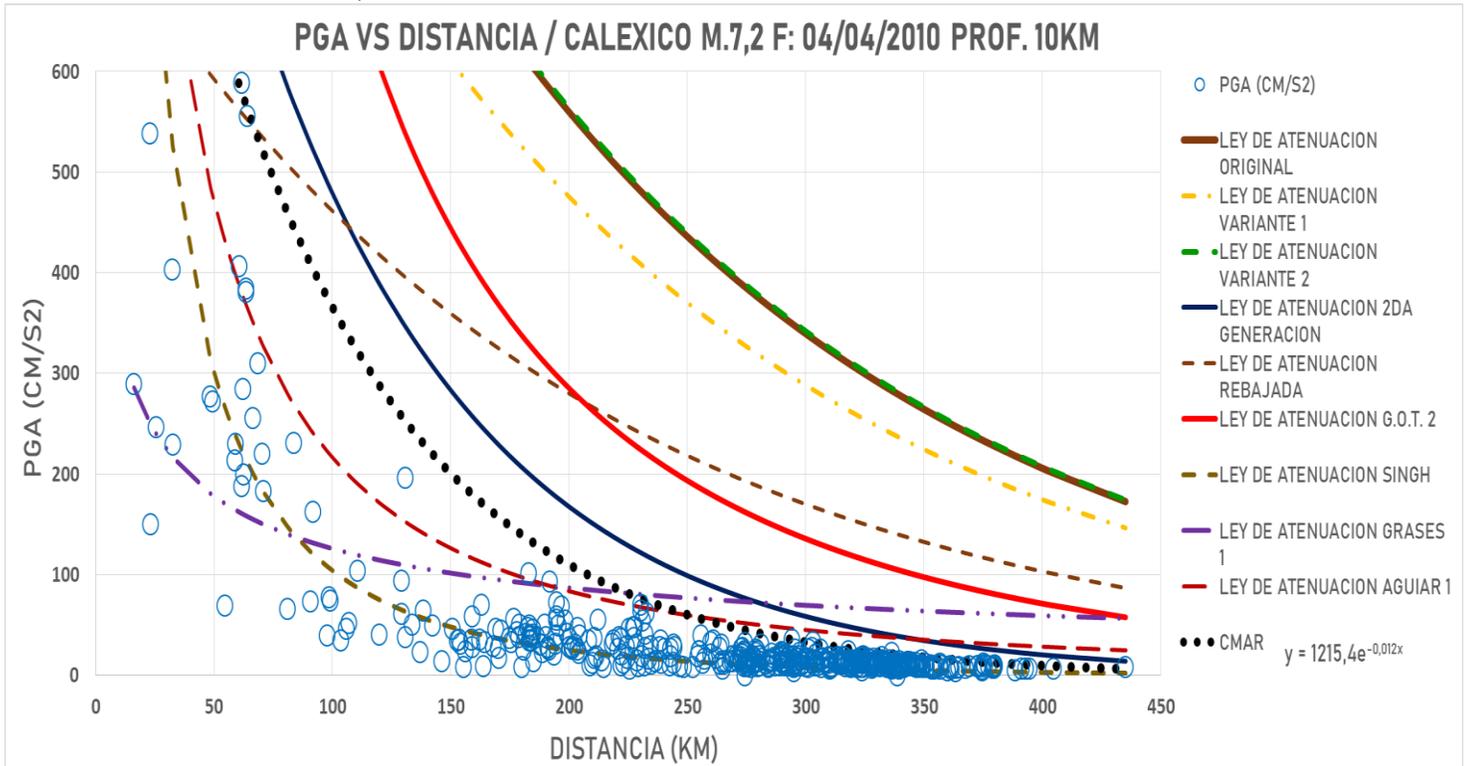
ALASKA M.7,1 F:30/11/2018 PROF. 46,7KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	2	2	2	4	2	4	3	1	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	2	5	4	3	1	1	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	4	5	2	4	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	1	3	1	1	4	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	2	1	1	3	1	1	1
PROMEDIO	2,80	2,40	2,80	3,20	2,40	3,80	1,60	1,60	2,20

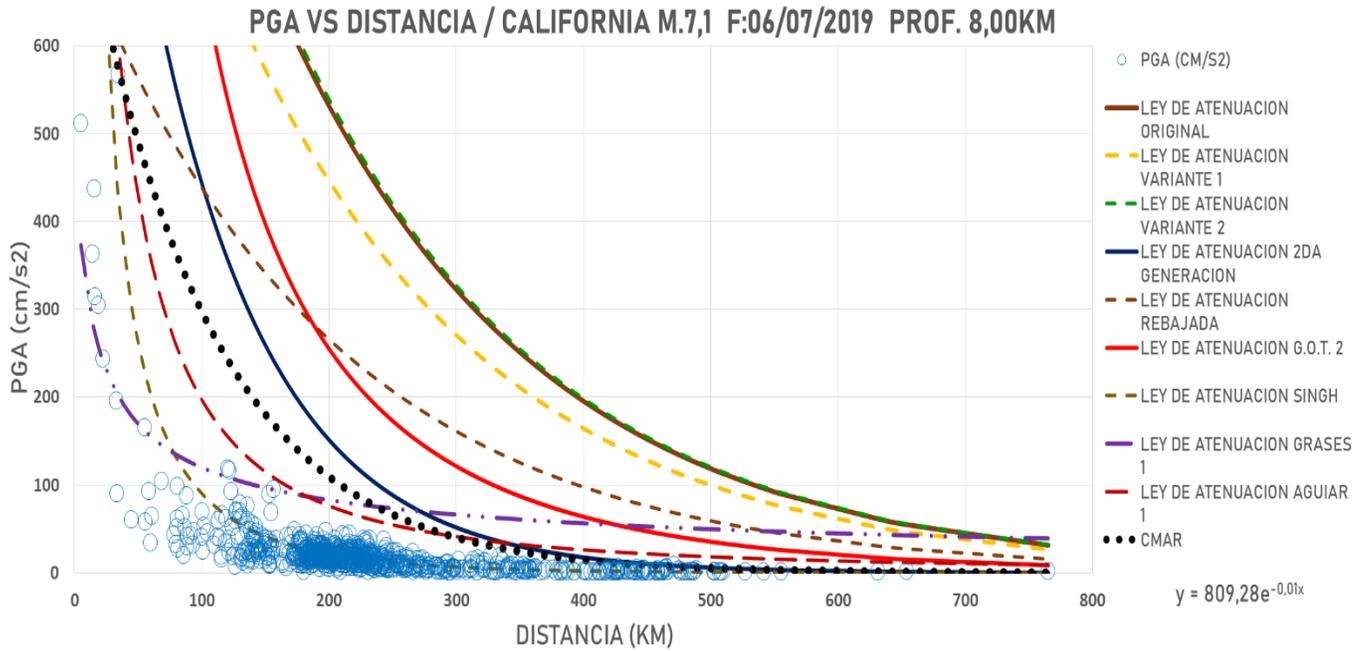
CALEXICO M.7,2 F: 04/04/2010 PROF. 10KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	5	3	5	4	2	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	5	3	3	3	3	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	4	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	4	3	5	5	3	1	1	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	3	2	2	1	2	4
PROMEDIO	3,00	3,20	3,00	4,60	3,60	3,60	2,00	2,40	4,00

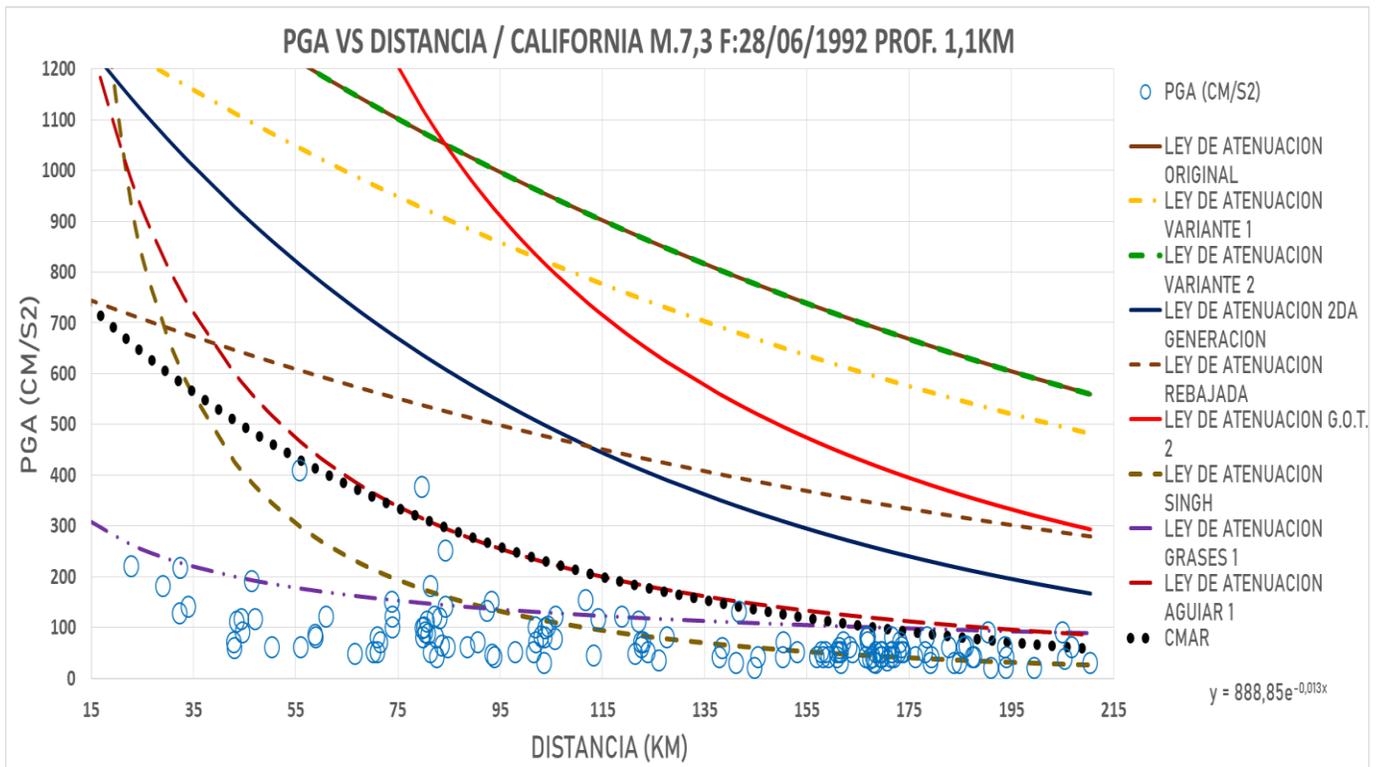
CALIFORNIA M.7,1 F:06/07/2019 PROF. 8,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	5	4	5	4	3	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	4	3	4	4	2	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	3	3	4	5	2	4	1	5
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	2	1	4	2	2	1	3	4
PROMEDIO	3,00	3,20	3,00	4,40	3,80	3,60	2,80	2,80	4,40

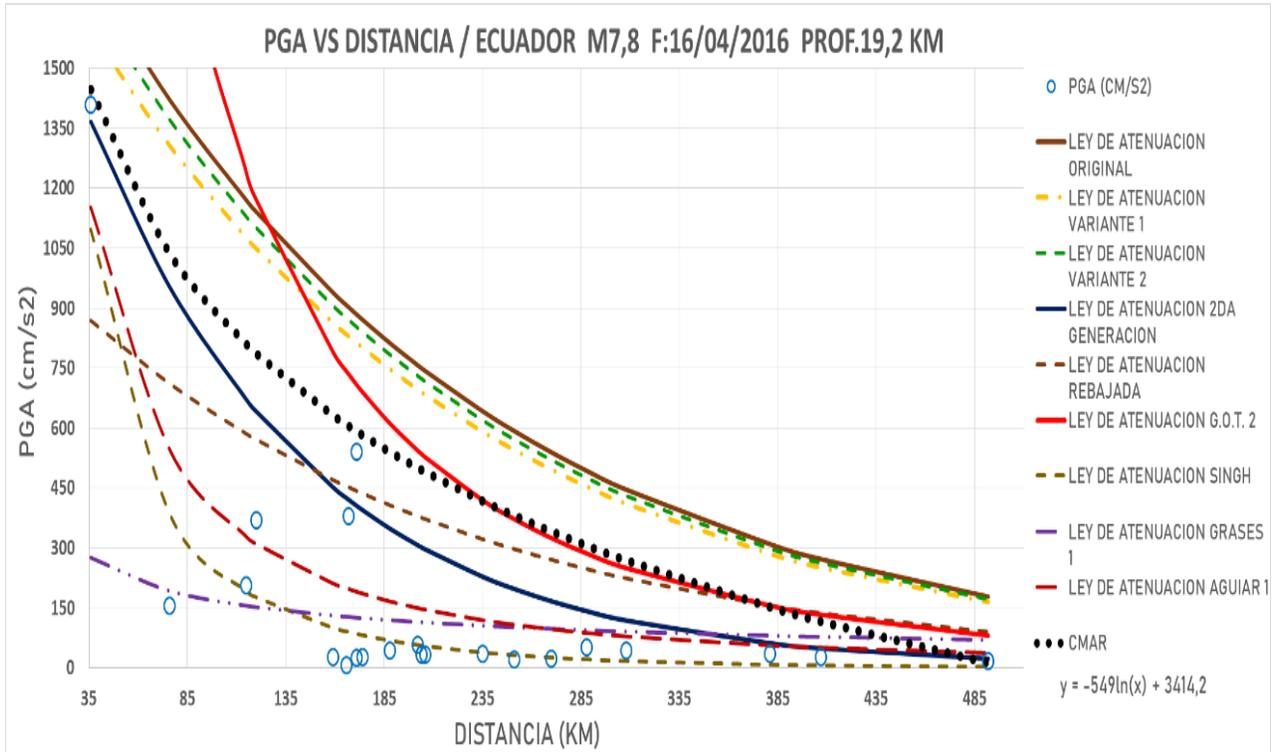
CALIFORNIA M.7,3 F:28/06/1992 PROF. 1,1KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION N G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION N GRASES 1	LEY DE ATENUACION N AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	5	3	3	2	3	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	1	2	1	3	3	3	3	3	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	3	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	2	2	2	3	4	2	4	1	5
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	2	2	3	3	2	1	3	5
PROMEDIO	2,60	2,80	2,60	3,80	3,60	3,00	2,20	2,60	4,40

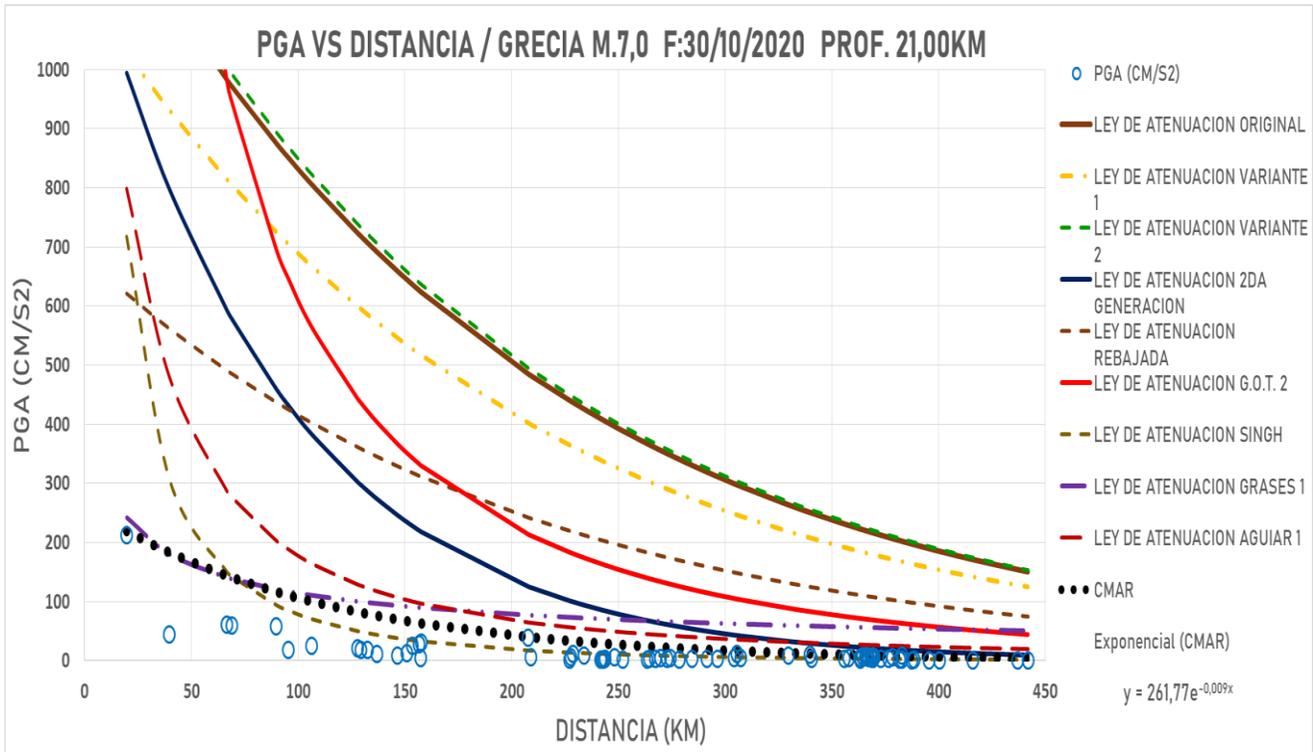
ECUADOR M7,8 F:16/04/2016 PROF.19,2 KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	4	3	2	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	3	4	3	3	2	1	1
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	4	4	5	1	4	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	5	5	5	5	2	2	4	1	4
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	4	4	4	2	4	4	1	1	1
PROMEDIO	4,40	4,40	4,40	3,80	3,40	3,40	2,00	1,80	2,40

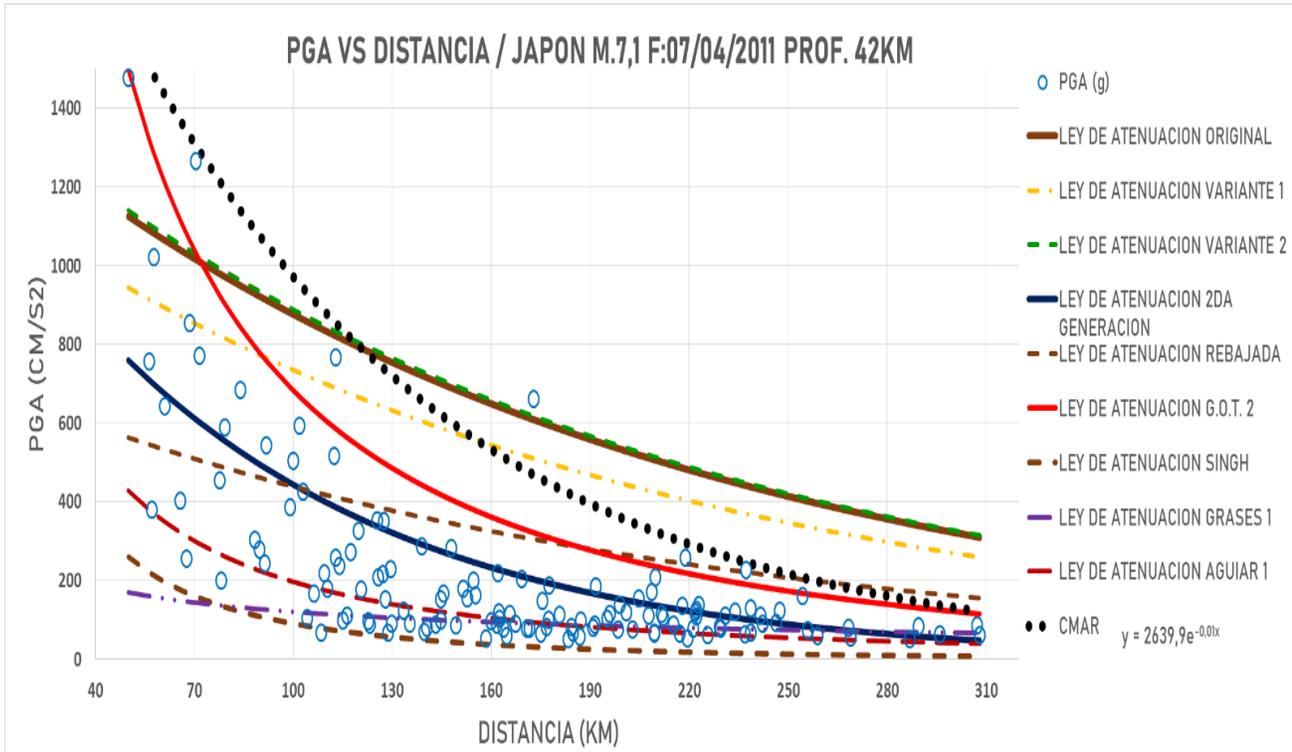
GRECIA M.7,0 F:30/10/2020 PROF. 21,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	4	4	3	2	5
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	2	2	2	3	2	3	3	3	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	4	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	2	1	2	2	1	2	5	2
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	1	1	1	2	1	1	1	2	3
PROMEDIO	2,80	3,00	2,80	3,20	2,80	2,80	2,60	3,40	3,80

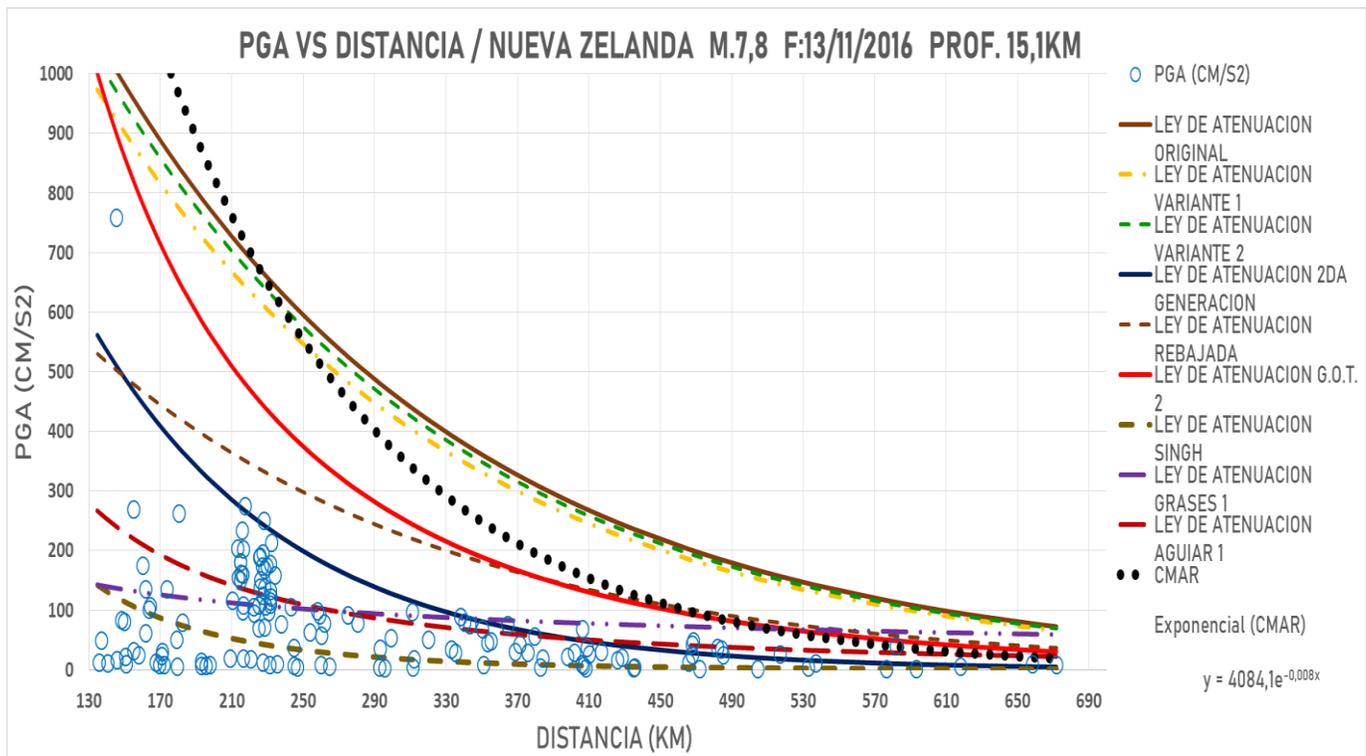
JAPON M.7,1 F:07/04/2011 PROF. 42KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	4	3	4	2	1	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	4	5	5	4	3	5	1	1	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	4	3	4	1	2	3	1	1	1
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	3	4	1	1	5	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	4	4	4	1	2	4	1	1	1
PROMEDIO	3,80	3,60	4,00	2,20	2,20	4,20	1,20	1,00	1,40

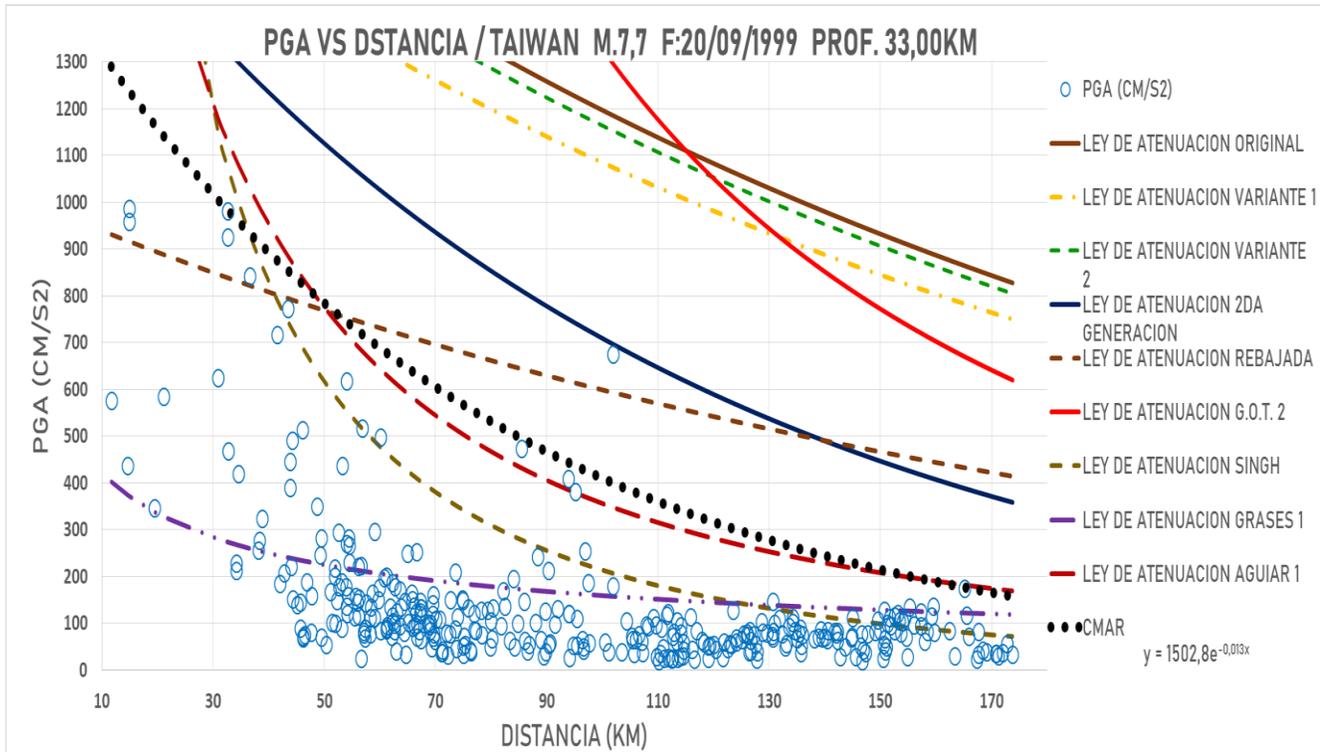
NUEVA ZELANDA M.7,8 F:13/11/2016 PROF. 15,1KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	4	3	3	1	1	1
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	5	5	5	4	3	5	1	1	1
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	3	5	5	1	3	2
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	4	4	1	1	4	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	4	4	4	1	1	4	1	1	1
PROMEDIO	4,40	4,40	4,40	2,60	2,60	4,20	1,00	1,40	1,20

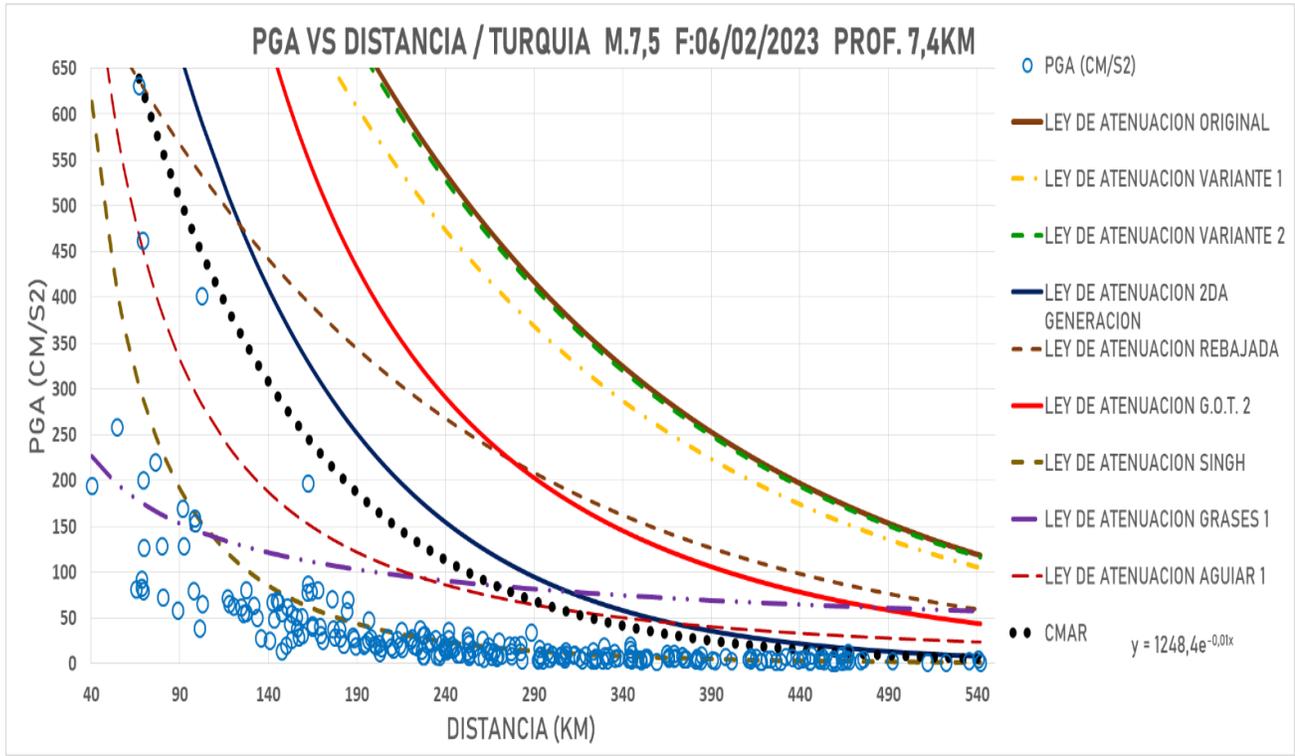
TAIWAN M.7,7 F:20/09/1999 PROF. 33,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	4	4	4	4	3	4	3	3	3
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	3	4	4	3	5	1	5
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	4	5	4	2	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	3	3	4	5	1	2	1	3
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	3	2	3	4	2	2	1	5
PROMEDIO	3,40	3,60	3,40	4,00	4,00	3,00	3,20	1,60	4,20

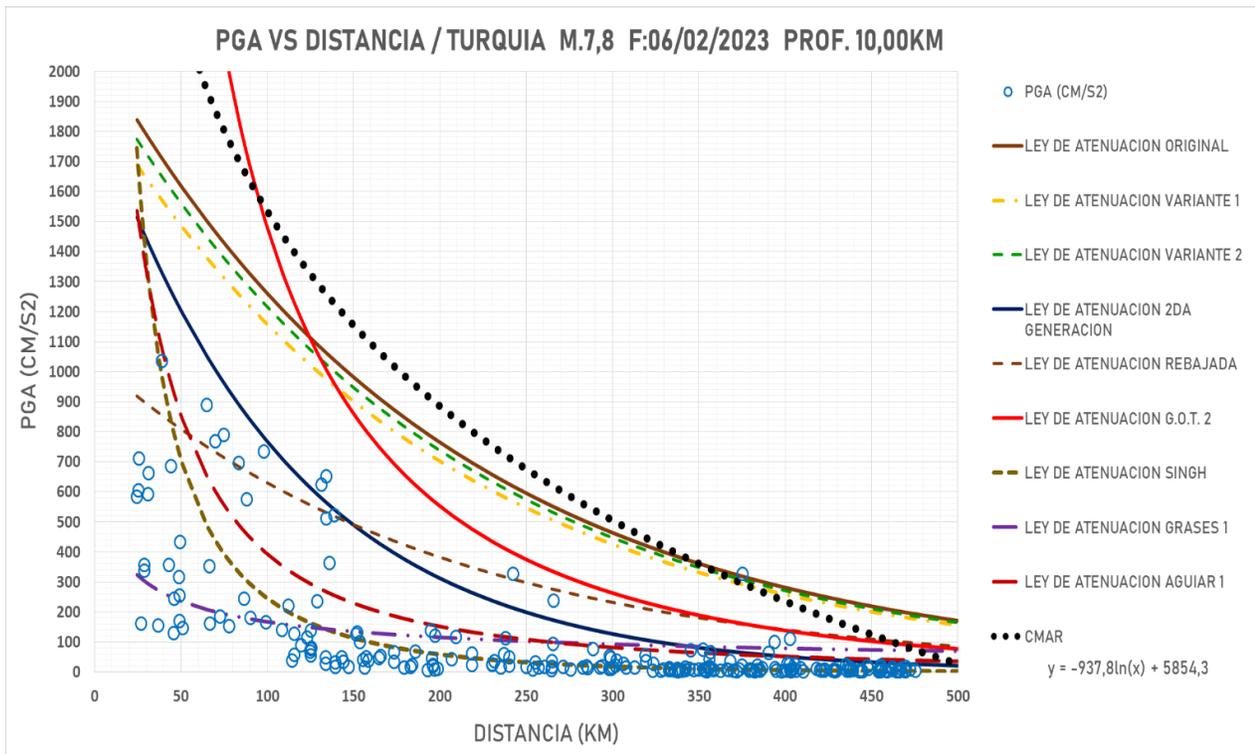
TURQUIA M.7,5 F:06/02/2023 PROF. 7,4KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	5	4	5	4	2	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	3	5	4	4	3	4	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	5	5	5	1	4	4
% ERROR DEL PGA MAXIMO	3	3	3	4	5	2	1	1	4
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	2	2	2	4	3	4	1	2	4
PROMEDIO	3,60	3,60	3,60	4,60	4,20	4,00	2,00	2,60	4,00

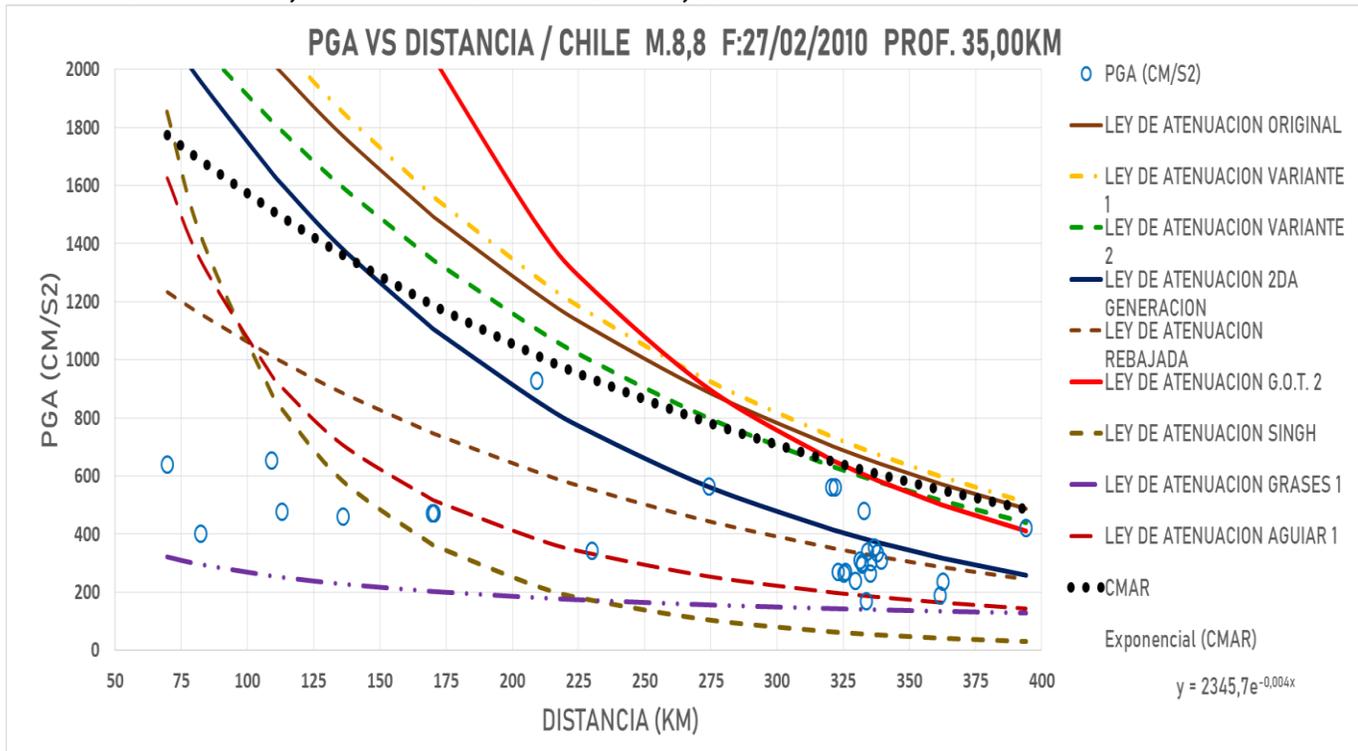
TURQUIA M.7,8 F:06/02/2023 PROF. 10,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	5	3	4	3	1	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	4	4	4	3	3	4	2	1	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	4	3	5	1	2	2
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	4	4	2	1	3	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	4	4	4	1	1	3	1	1	1
PROMEDIO	4,40	4,40	4,40	3,00	2,20	3,80	1,60	1,20	2,20

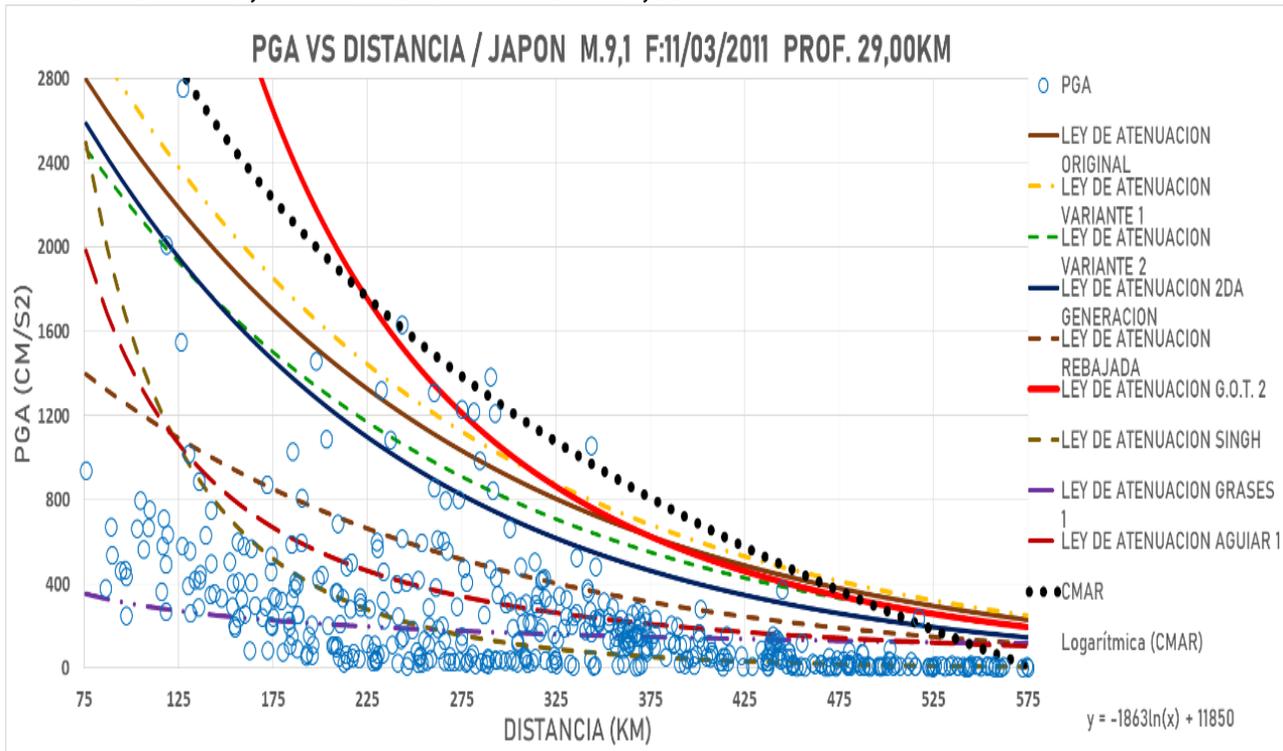
CHILE M.8,8 F:27/02/2010 PROF. 35,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION N G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION N SINGH	LEY DE ATENUACION N GRASES 1	LEY DE ATENUACION N AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	4	5	3	2	1	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	3	4	2	3	3	1	3
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	3	2	5	1	1	1
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	4	5	5	3	4	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	5	5	5	3	2	5	1	1	1
PROMEDIO	4,40	4,40	4,60	3,80	2,80	4,00	1,60	1,00	1,60

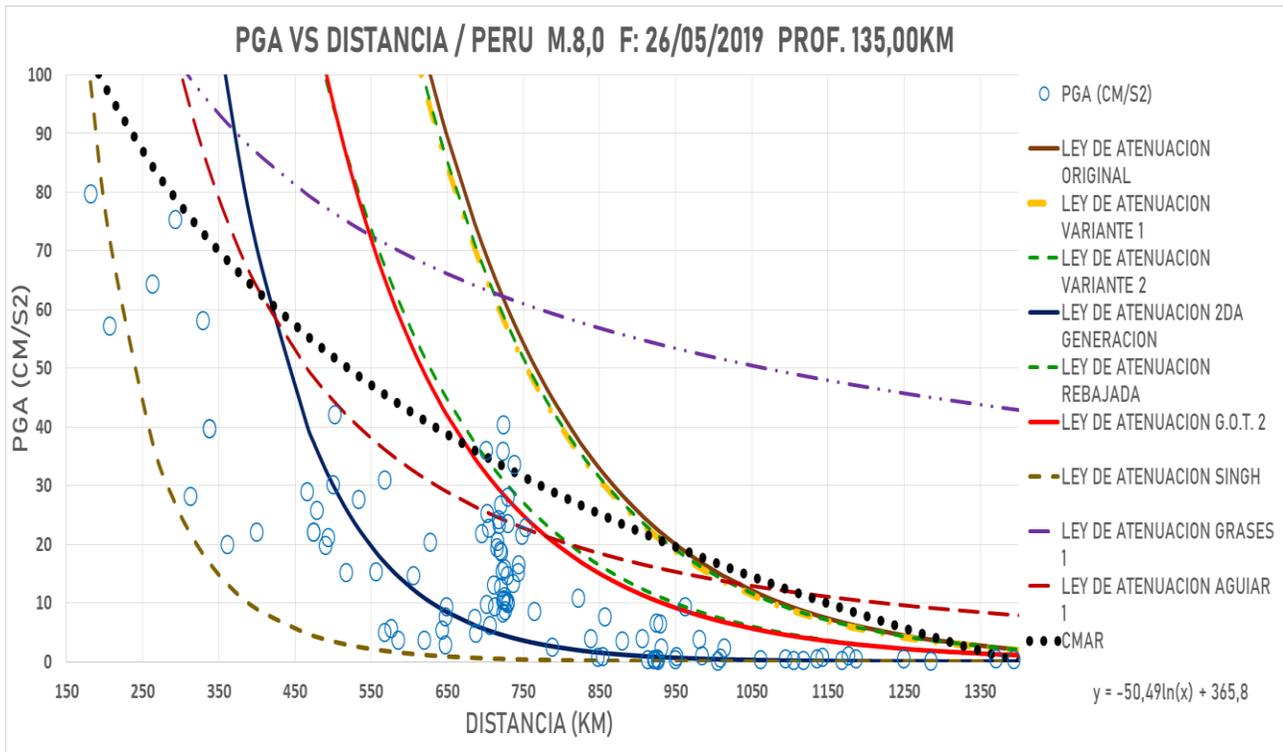
JAPON M.9,1 F:11/03/2011 PROF. 29,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION SINGH	LEY DE ATENUACION GRASES 1	LEY DE ATENUACION AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	5	5	5	5	4	5	3	1	4
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	4	4	3	3	2	4	2	1	2
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	4	5	4	4	3	4	1	3	3
% ERROR DEL PGA MAXIMO	4	5	3	3	1	4	1	1	1
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	4	4	3	3	1	4	1	1	1
PROMEDIO	4,20	4,60	3,60	3,60	2,20	4,20	1,60	1,40	2,20

PERU M.8,0 F: 26/05/2019 PROF. 135,00KM



MATRIZ DE DECISION

PARAMETRO A EVALUAR	LEY DE ATENUACION ORIGINAL	LEY DE ATENUACION VARIANTE 1	LEY DE ATENUACION VARIANTE 2	LEY DE ATENUACION 2DA GENERACION	LEY DE ATENUACION REBAJADA	LEY DE ATENUACION N G.O.T. 2	LEY DE ATENUACION N SINGH	LEY DE ATENUACION N GRASES 1	LEY DE ATENUACION N AGUIAR 1
FORMA DE LA CURVA	3	3	3	3	3	3	2	2	2
ACERCAMIENTO DE LA CURVA	3	3	3	3	3	3	2	3	4
COBERTURA DE LOS VALORES MAXIMOS	5	5	5	1	5	5	1	5	5
% ERROR DEL PGA MAXIMO	1	1	1	1	1	1	5	3	2
% DE ERROR CON RESPECTO A LA CURVA CMAR	3	3	3	1	3	3	1	3	4
PROMEDIO	3,00	3,00	3,00	1,80	3,00	3,00	2,20	3,20	3,40



FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Contrastación de la Eficiencia de Nuevas Leyes De Atenuación Frente a Sismos Reales	
AUTOR(ES)	Ramón Casquete Adriana Lisette Zamora Morocho Ingrid Anabel	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Lenin Marcelo Moncayo Theurer, M.Sc. (Tutor) Ing. Carlos Cusme Vera , M.Sc. (Revisor)	
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil	
UNIDAD/FACULTAD:	Ciencias Matemáticas y Físicas	
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:	No	
GRADO OBTENIDO:	Ingeniero Civil	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	Septiembre 2023	No. DE PÁGINAS: 90
ÁREAS TEMÁTICAS:	Contrastación de la Eficiencia de Nuevas Leyes De Atenuación	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	SISMOS – ATENUACIÓN - NUEVAS - LEYES - CONTRASTACION	
RESUMEN/ABSTRACT:		
<p>En este trabajo de investigación, se enfocó en la precisión matemática de las aceleraciones, contrastando nuevas leyes de atenuación con valores de PGA. Por lo que se tuvieron que tabular datos de cincuenta sismos de control, graficar curvas de aceleraciones máximas, utilizar métodos matemáticos exactos como el porcentaje del error relativo y la cobertura de valores máximos. Finalmente, se empleó una matriz de decisión para evaluar y seleccionar la mejor opción entre las alternativas, usando parámetros de criterios en el proceso de toma de decisiones. La propuesta de las cinco nuevas leyes de atenuación se las presenta como alternativa en ese camino de diseño, necesarias para efectuar estudios de riesgo sísmico, y que se ajustan a los registros actuales de algunos de los terremotos más severos registrados en el mundo.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0992238153 0989900301	E-mail: adriana1999-7@hotmail.com ingrid.anabel22@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS	
	Teléfono: 2-283348	
	E-mail: fmatematicas@ug.edu.ec	