

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PARÁMETROS DEL
MODELO DE LA FUERZA SOCIAL Y MICRO SIMULACIÓN
PEATONAL EN EL JR. DE LA UNIÓN**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

ALEX KEVIN HUALLPA BARZOLA

Asesor: Ing. Félix Israel Cabrera Vega

Lima, 2016

RESUMEN

En la actualidad los diseños viales que se realizan para la planificación urbana, están netamente enfocados en disminuir el tráfico vehicular, dejando en segundo plano el comportamiento de los peatones. Es por ello que para dar énfasis en lo último se realiza estudios de microsimulación peatonal, los cuales se basan en modelos que asemejan el comportamiento de las personas. El modelo con el que trabaja el software VisWalk 8.0 es el de la Fuerza Social, en el cual se emplean los parámetros que se analizarán en la siguiente investigación: tiempo de relajación (τ), factor de anisotropía (λ) y factor de aleatoriedad (Noise), que regulan el comportamiento peatonal. El siguiente proyecto de investigación determinará cuál de los parámetros influye más en el desplazamiento peatonal, para ello se tomaron datos de flujos peatonales en el jirón de la Unión.

La metodología que se empleó se dividió por etapas. La primera etapa consistió en recolectar los flujos peatonales de manera manual; la segunda etapa consistió en construir el modelo en el software VisWalk 8.0 con las condiciones que se encontraron en campo; la tercera etapa consiste en corroborar si los datos que brinda la simulación se ajustan a lo que sucede en la realidad, esto se obtiene mediante la calibración y validación de datos; lo siguiente es variar los parámetros de manera metódica, ya que en primer lugar se variará un parámetro y los otros dos permanecerán constante, para posteriormente dejar dos parámetros variables y uno constante; y finalmente se analizará los resultados que se obtienen de la variación de estos parámetros.

Los resultados de la investigación señalan que el parámetro más con mayor sensibilidad es el tiempo de relajación (τ). Esto debido a que cuando se realiza la prueba ANOVA, el valor de $F_{cal} = 1247.85$ es mucho mayor $F_{crítico} = 1.88$; también porque se aprecia que cuando el valor de τ es constante y las otras dos variables, la varianza de datos es 0.138% lo que significa que λ y Noise no cambian de manera relevante la media de velocidades, lo que demuestra la gran variedad que produce el parámetro τ . Para una correcta muestra de resultados, se recomienda introducir muy cuidadosamente los datos al software para evitar incongruencias en los resultados.

DEDICATORIA:

Agradezco infinitamente a mis padres, Fermin y Elizabeth, y a mi hermana, Massiel, quienes siempre me han apoyado en todos los aspectos de la vida, mi mayor amor y respeto para mi familia.

A mi asesor, Israel Cabrera, quien siempre estuvo pendiente de que pudiera concluir esta investigación. A mi compañero Rafael Quispe, quien gentilmente me asesoró y apoyo con mi modelo de simulación.

A Patricia Ordoñez, quien siempre estuvo apoyándome en las buenas y en las malas. Así como también a Alina Palomares, que siempre me alentó a seguir adelante.

Finalmente, a mi querido HORMIGÓN ARMADO, a la ADEIC, a ANCLA FC y a todos mis amigos con quienes compartí esta hermosa etapa de mi vida.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivos generales.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Hipótesis	2
1.4. Alcances y limitaciones de la investigación.....	3
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
2.1. El espacio público	5
2.1.1 Definición.....	5
2.1.2 Características del Entorno.....	7
2.1.2.1 Tipos de espacio público	7
2.1.2.2 Usos de espacio público.....	8
2.1.2.3 Condiciones climatológicas en el ambiente	9
2.1.3 Las dimensiones en el espacio público	10
2.1.3.1 La dimensión físico-territorial.....	10
2.1.3.2 La dimensión política.....	10
2.1.3.3 La dimensión social	10
2.1.3.4 La dimensión económica.....	11
2.1.3.5 La dimensión cultural.....	11
2.2 Modelos de simulación peatonal	11
2.2.1 Introducción	11
2.2.3 Modelo Macroscópico	14
2.2.4 Modelo microscópico	17
2.2.4.1 Peatones en la Microsimulación	17
2.2.4.1 Modelo de la Fuerza Social	19
2.2.4.2 Modelo de la Fuerza Magnética.....	28
2.2.4.3 Modelos relacionados a la formación de colas peatonales	30
2.2.4.4 Modelo Automata Celular	31
2.2.4.5 Modelos basados en la dinámica de gases	33
2.2.3.6 Modelo basado en agentes.	35

2.3	VisWalk 8, uso y parámetros.....	36
2.3.1	Descripción.....	36
2.3.2	Área de Aplicación.....	37
2.3.3	Parámetros de VisWalk.....	38
2.3.3.1	Distribución de velocidad deseada.....	38
2.3.3.2	Parámetros por tipo de peatones.....	39
2.3.3.3	Parámetros Globales.....	49
	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	51
3.1	Revisión de la información.....	52
3.2	Registro de los datos de campo.....	52
3.1.1	Datos para la construcción del modelo.....	53
3.1.2	Datos para la calibración y validación del modelo.....	54
	CAPÍTULO 4: CONSTRUCCIÓN, CALIBRACIÓN y VALIDACIÓN DEL MODELO	56
4.1	Construcción del Modelo.....	56
4.1.1	Configuración de simulación y evaluación.....	56
4.1.2	Construcción de las áreas.....	58
4.1.3	Creación de los datos de entrada y las rutas a seguir.....	58
4.1.4	Creación de la Distribución de la Velocidad Deseada.....	59
4.2	Calibración del modelo.....	61
4.2.1	Prueba de Calibración.....	63
4.3	Validación del Modelo.....	65
4.3.1	Prueba de Validación.....	67
	CAPÍTULO 5: RESULTADOS.....	69
5.1	Análisis de Sensibilidad.....	69
5.1.1	Un parámetro variable y dos parámetros constantes.....	69
5.1.1.1	Primer caso: Tau (τ) variable, λ y <i>Noise</i> variables.....	70
5.1.1.2	Segundo caso: Lambda (λ) variable, τ y <i>Noise</i> variables.....	72
5.1.1.3	Tercer caso: <i>Noise</i> variable, λ y τ variables.....	73
5.1.1.1	Análisis de sensibilidad.....	75
5.1.2	Un parámetro constante y dos parámetros variables.....	76
5.1.2.1	Primer caso: $\tau=0.4$, λ y <i>Noise</i> variables.....	76
5.1.2.2	Segundo Caso: $\lambda = 0.716$, τ y <i>Noise</i> variables.....	78
5.1.2.3	Tercer Caso: <i>Noise</i> = 1.2, λ y τ variables.....	80
	CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84

6.1 Conclusiones	84
6.2 Recomendaciones	85
BIBLIOGRAFÍA.....	86



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de Densidad vs. Flujo de peatones (PTV, 2014)	17
Figura 2. Gráfico de factores que influyen en la velocidad del peatón (PTV, 2014)	18
Figura 3. Desplazamiento del peatón a su destino (Weiliang et al., 2014)	21
Figura 4. Descripción de la Fuerza Social Isotrópica. Fuente: Propia.	22
Figura 5. Distancia entre dos peatones interactuando (Weiliang, 2014)	23
Figura 6. Esquema donde solo se consideran peatones en la parte delantera del peatón (Propia).	24
Figura 7. Distancia entre un peatón y un obstáculo simulado (Propia).	26
Figura 8. Representación de la Fuerza Magnética (Propia)	30
Figura 9. Estructura espacial representada por un tablero de ajedrez. Fuente: Adaptación de Poznan University of Technology.	31
Figura 10. Diversos grados de interacción, modelo autómatas celulares. Fuente: Adaptación de Poznan University of Technology.	32
Figura 11. (a) Dirección de cómo se dirigen los peatones. (b) Coordenadas de desplazamiento de acuerdo a la dirección tomada.	32
Figura 12. Bosquejo de un edificio en autómatas celulares.	33
Figura 13. Área de visión de peatón	33
Figura 14. Representación de un peatón como molécula	34
Figura 15. Simulación cuando un peatón tiene el camino libre.	34
Figura 16. Simulación cuando un peatón encuentra obstáculos en su camino.	35
Figura 17. Áreas de influencia.	36
Figura 18. Zonas de conflicto.	37
Figura 19. Comparación de Tau respecto a las fuerzas de impulso y social (Propia)	39
Figura 20. Variación de la aceleración respecto al cambio de Tau (Viswalk 8.0, 2016)	40
Figura 21. Variación de la densidad respecto al cambio de Tau (Viswalk 8.0, 2016)	41
Figura 22. Variación del radio de giro respecto al cambio de Tau (Viswalk 8.0, 2016)	41
Figura 23. Efecto del parámetro lambda, según los valores asignados (Viswalk 8.0, 2016)	42
Figura 24. Interacción de peatones cuando se varía el valor de lambda (Viswalk 8.0, 2016)	43
Figura 25. Lambda variable en un tiempo igual a 10 min (Viswalk 8.0, 2016)	44
Figura 26. Lambda variable en un tiempo igual a 40 min (Viswalk 8.0, 2016)	44
Figura 27. Lambda variable en un cuello de botella, se ajustará de acuerdo al paso (Viswalk	

8.0, 2016).....	45
Figura 28. Lambda variable y su efecto cuando se empujan (Viswalk 8.0, 2016)	45
Figura 29. Modelo de ejemplo para observar la variación del parámetro Noise (Viswalk 8.0, 2016).....	46
Figura 30. Peatones varados debido a que el valor de Noise es cero (Viswalk 8.0, 2016) ..	47
Figura 31. Esquema de parámetros que forman la Fuerza Repulsiva (Propia).....	48
Figura 32. Etapas de la investigación (Propia).....	51
Figura 33. Ubicación para la toma de datos (Google Maps, 2016)	53
Figura 34. Distribución de flujos peatonales en la zona de estudio (Propia)	54
Figura 35. Desplazamiento de peatones de A hacia B y viceversa (Google Maps, 2016)....	55
Figura 36. Configuración inicial del modelo (Vissim 8.0, 2016).....	57
Figura 37. Escalado de imagen y creación de áreas (Vissim 8.0, 2016)	58
Figura 38. Flujo de datos según los intervalos en los que se realizó la medición (Vissim 8.0, 2016).....	58
Figura 39. Porcentaje de las rutas seleccionadas (Vissim 8.0, 2016)	59
Figura 40. Curva de velocidades deseadas (Viswalk 8.0, 2016).....	61
Figura 41. Sección donde se analizarán las velocidades (Vissim 8.0, 2016)	62
Figura 42. Histograma que representa una gráfica de distribución normal para la calibración (Propia).	62
Figura 43. Prueba de normalidad según Anderson-Darling (Minitab, 2016).....	63
Figura 44. Verificación de la calibración usando el software StatKey (StatKey, 2016)	64
Figura 45. Verificación del p-value para la calibración (StatKey, 2016)	65
Figura 46. Histograma de distribución normal para la validación.	66
Figura 47. Prueba de normalidad según Kolmogorov - Smirnov (Minitab, 2016)	66
Figura 48. Verificación de la validación usando el software StatKey (StatKey, 2016)	67
Figura 49. Verificación del p-value para la validación (StatKey, 2016).....	68
Figura 50. Gráfico en 3D para Tau cte., Lambda y Noise variable de vista frontal.....	77
Figura 51. Gráfico en 3D para Tau cte., Lambda y Noise variable de vista lateral.	78
Figura 52. Gráfico en 3D para Lambda cte., Tau y Noise variable de vista frontal.....	79
Figura 53. Gráfico en 3D para Lambda cte., Tau y Noise variable de vista lateral.	80
Figura 54. Gráfico en 3D para Noise cte., Tau y Lambda variable.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Característica de los parámetros.	50
Tabla 2. Datos de muestreo	53
Tabla 3. Datos para la curva de velocidad deseada.	59
Tabla 4. Intervalos mediante Sturges.	60
Tabla 5. Valores para la creación de la curva de velocidad deseada.....	60
Tabla 6. Velocidades medias para Tau variable.	70
Tabla 7. Resultados de Minitab cuando el parámetro Tau es variable.....	71
Tabla 8. Velocidades medias para Lambda variable.....	72
Tabla 9. Resultados de Minitab cuando el parámetro Lambda es variable.	73
Tabla 10. Velocidades medias para Noise variable.	74
Tabla 11. Resultados de Minitab cuando el parámetro Noise es variable.....	75
Tabla 12. Resultados de un parámetro constante y dos variables.	76
Tabla 13. Velocidades para combinaciones con Tau constante.	77
Tabla 14. Velocidades para combinaciones con Lambda constante.....	79
Tabla 15. Velocidades para combinaciones con Noise constante.....	81
Tabla 16. Resultados de dos parámetros constante y uno variable.	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Modelo de la Fuerza Social.....	20
Ecuación 2. Dirección del peatón relacionada a la fuerza de impulso.....	20
Ecuación 3. Fuerza de impulso.	20
Ecuación 4. Fuerza de interacción entre los peatones.....	21
Ecuación 5. Fuerza socio-psicológica.....	21
Ecuación 6. Factor de forma para la fuerza socio-psicológica.	22
Ecuación 7. Variante de la fuerza socio-psicológica.	23
Ecuación 8. Fuerza corporal.....	24
Ecuación 9. Fuerza de fricción por deslizamiento.....	24
Ecuación 10. Fuerza de interacción física.	25
Ecuación 11. Distancia entre peatones y su variabilidad.	26
Ecuación 12. Fuerza producida por la interacción con obstáculos y límites de paso.	26
Ecuación 13. Fuerza producida por interacciones atractivas.	27
Ecuación 14. Fuerza producida por el comportamiento en conjunto.....	27
Ecuación 15. Fuerza producida por la individualidad del peatón no sistemática.....	28
Ecuación 16. Fuerza magnética.	28
Ecuación 17. Constante de Coulomb.	29
Ecuación 18. Fuerza magnética vectorizada.	29
Ecuación 19. Aceleración generada por una fuerza de repulsión.	29
Ecuación 20. Distancia media de peatones.	47
Ecuación 21. parámetros en conjunto con VD forman la fuerza.	48
Ecuación 22. Número mínimo de simulaciones	57

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

En la actualidad se observa, con preocupación, que en la ciudad de Lima, y en general en todo el Perú, la cantidad de vehículos se ha incrementado en un 7.2% a Febrero del 2015 respecto al índice obtenido en Febrero del año anterior (INEI, 2015). Esto genera que en la ciudad se diseñe en función de los automóviles, lo cual deja a los peatones en un segundo plano.

Como menciona Almenara (2016), el hecho de solicitar un puente peatonal en la ciudad es un ejemplo de cómo Lima da preferencia al automóvil, ya que estas estructuras permiten que los autos transiten con mayor facilidad. También menciona que solo el 10% de limeños se trasladan en movilidad particular o en taxis, lo cual parece contradictorio cuando se observa un gran congestionamiento vehicular y cuellos de botella. Estos problemas pueden ser contrarrestados si se implementa un sistema inteligente de semaforización, si se reduce el uso del automóvil y sobre todo si se impulsa la idea de otorgarle privilegio al peatón.

Por ello es necesario analizar y mejorar las herramientas para analizar el desplazamiento peatonal. Por tal motivo, el proyecto se enfocará en analizar las características de desplazamiento y estancia de los transeúntes en un tramo del Jirón de la Unión, para luego modelarlas en el software VISWALK 8, y realizar un análisis de sensibilidad de los principales parámetros del modelo de la Fuerza Social.

De esta manera, se podrá conocer, de forma eficiente, la aplicabilidad de esta herramienta de ingeniería para plantear un diseño del espacio público que favorezca las condiciones de desplazamiento de todos los usuarios, sobretodo de los peatones.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Lima es una ciudad que está creciendo demográficamente tanto en el centro como en la periferia. Sin embargo, en el momento de realizar los diseños de la ciudad, no se ha tomado en cuenta el desplazamiento de este gran número de personas. Los peatones no fueron correctamente analizados y se les ha considerado como si fueran gases o fluidos que se mueve de un lugar a otro sin tomar en cuenta su entorno ni sus necesidades (Burneo, 2010).

Pero hasta ahora el análisis de los modelos peatonales no ha sido extensamente documentado por lo que se requiere un análisis cuantitativo para conocer su estado y relación de sus principales parámetros. De esta manera la microsimulación será más eficiente y se podrá diseñar espacios públicos con un enfoque donde se beneficien todos los tipos de transeúntes en cualquier lugar que se encuentren o se dirijan.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos generales

Realizar un análisis de sensibilidad de los principales parámetros del Modelo de Fuerza Social, los cuales ajustan el modelo a la realidad. De manera similar comprender y modelar el comportamiento de las personas que circulan en el Jirón de la Unión, empleando el software VisWalk 8.

1.2.2. Objetivos específicos

Analizar la influencia de los parámetros que intervienen en el cálculo de las fuerzas de atracción y repulsión entre peatones y en el entorno, principalmente el efecto del tiempo de reacción (τ), el factor de anisotropía (λ) y el factor de aleatoriedad (Noise). Además, analizar el desplazamiento de las personas que circulan por el Jirón de la Unión. De acuerdo a las características de desplazamiento que presentan los peatones: personas que caminan individualmente, personas que caminan en grupo, personas sin autonomía, género de las personas y edad de estas.

1.3. HIPÓTESIS

En la ejecución de la simulación peatonal en el Jirón de la Unión, se ajustan parámetros de comportamiento peatonal para obtener un modelo similar a lo que sucede en la realidad. Por lo que se plantea que el parámetro tiempo de relajación (τ) es el más relevante en el proceso de modelado. Puesto que, al alterar este valor, el comportamiento de los peatones cambiará de manera notoria y se podrá observar dicho cambio en el software.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis se desarrollará en un tramo del Jirón de la Unión, entre el Jr. Ucayali y el Jr. Miro Quesada, la toma de datos se realizaron en diferentes días para asegurar que el modelo funcione en cualquier hora del día. Por otro lado, solo se considerará el género y la edad de las personas para tomar las proporciones correspondientes e introducirlas al software, no se tomará en consideración el aspecto psicológico.

En cuanto a los parámetros los rangos del tiempo de relajación (τ) y el factor de anisotropía (λ) solo se pueden modificar en un rango de 0-1; mientras que los valores del factor de aleatoriedad tienen un rango más finito y solo se considerará valores de 0 a 5. Respecto al modelo del software este solo presenta un flujo bidireccional que considera como puntos de partida el Jirón Ucayali y el Jirón Miro Quesada. En ese recorrido los peatones tendrán cuatro puntos de acceso.



CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

El transitar libremente por la ciudad es un privilegio que todo ser humano posee; no obstante, hoy en día se ve limitada por el uso inadecuado del espacio público para los vehículos. En el Perú ha ocurrido un proceso de cambio negativo en cuanto al espacio público, las tradiciones y costumbres se van perdiendo poco a poco. Estos cambios son producidos por los efectos de la tecnología y la globalización, lo cual antes no existían y los espacios se utilizaban de forma correcta. En la época incaica se diseñaban las ciudades teniendo en cuenta cómo se desplazarían los pobladores ya sea para fines comerciales, sociales, religiosos, etc. Se consideraba la comodidad y facilidad al momento de trasladarse.

A medida que pasaron los años, los medios de transporte fueron evolucionando, desde la movilidad que podían ofrecer los animales (llamas, caballos, mulas) hasta la aparición de las carretas. Estos medios de transporte solo se utilizaban para algunos fines específicos como el acarreo de mercancías, la movilización de personas de élite y para hacer viajes muy largos de una ciudad a otra (Vega Centeno, 2006).

En el siglo XX la industrialización provocó cambios en diversos aspectos de la sociedad. El sector económico creció paulatinamente, lo que originó que la construcción masiva crezca y se vea reflejada en las ciudades. Esto conlleva a que la migración de personas de lo rural a lo urbano empiece a ser más frecuente. Este último factor trajo consigo que ciudades importantes, principalmente de Europa y América, empiecen a poblarse sin un orden adecuado ni supervisado ya que las personas buscaban una mejor condición económica pues les brindaría beneficios a sus familias. Cuando un individuo migraba, su estilo de vida cambiaba debido a que perdía sus tradiciones y costumbres. Ya no interactuaba de la misma manera como lo hacía con la gente que vivía (Gehl, 2014).

En la ciudad, los edificios fueron una solución a la creciente expansión urbana. Este tipo de vivienda se creó sin el interés de extinguir la vida pública, pero se realizó sin un estudio adecuado. Ello dio lugar a que solo cumpla la función de brindar un lugar cómodo y salubre donde vivir (Gehl & Svarre, 2013).

Tal como menciona Herce (2009) la movilidad de las personas hoy en día ha adquirido

mayor relevancia respecto a años anteriores. Lo cual se explica debido a que ya no solo se utiliza dicho término en el plan urbanístico y medioambiental de la ciudad. Sino también adquirió importancia en los planes de infraestructuras de transporte.

A pesar que, se incrementaban los edificios y la densidad poblacional de la ciudad; los vehículos tomaron un rol importante dentro de la sociedad porque permitía un desplazamiento más rápido, seguro y cómodo. Lo cual a su vez originó un incremento del tráfico automotor y se planteó la idea de segregar ciclovías y veredas para poder diseñar un mayor número de autopistas. Esto ciertamente soluciona el congestionamiento vehicular, pero solo en un corto plazo. En cuanto a la parte académica, debido al boom de construcción que se daba en ese momento, los profesionales solo se encargaban de hacer lo que su trabajo indicaba: los arquitectos diseñaban las viviendas y los planes urbanísticos; y los ingenieros, construían lo que encontraban en los planos o solicitudes técnicas. Todo esto en base al automóvil; sin tener en consideración el espacio público, la vida pública y la interacción que hay entre estas (Gehl, 2013).

Por ello, como indica Gehl (2013), aparecieron diversos autores que tomaron conciencia acerca de la extinción de la vida pública y propusieron medidas para que la multitud tome conciencia de tal problema. También, la idea de diseñar el espacio público pensando en las personas y no en los automóviles ni en los edificios, teniendo en cuenta que las personas que ocuparan el espacio público no solo son jóvenes, sino que de igual forma se debe tener en consideración a las niños, mujeres, ancianos y discapacitados. Que los espacios sean lugares de juego, con historia y donde también se respete la flora y ornato de la ciudad. La nueva idea de formar espacios públicos no solo incrementa la relación de los individuos con el medio que los rodea, sino también los ayuda en cuanto a la salud de cada uno.

2.1. EL ESPACIO PÚBLICO

2.1.1 Definición

Según la RAE (2015), la definición de cada palabra es la siguiente: espacio, es la parte que ocupa un objeto sensible; y público, aquello que pertenece a toda la sociedad y es común del pueblo. Por lo que se podrá entender, en términos de significado, como un lugar que

ocupa un espacio dentro de la sociedad y que es propio de ella.

El espacio público nació básicamente de la comunicación entre lugares, y con las actividades que se daban en este campo. Se debe entender que no es solamente el sitio entre lo público y lo privado, y tampoco es el libertinaje que se pueda producir dentro de él, de esa manera se podrá observar qué necesidades requiere, y de qué manera, los habitantes podrán interactuar de mejor manera (Navarro, 2014).

Borja (2003) señala que cualquier persona puede usar el espacio de la ciudad ya que esta es considerada de dominio público. Por lo que se señala que los ambientes públicos pueden cumplir diferentes funciones, sin alterar el ornato público, ya sea políticos, recreacionales, culturales o de protesta. También se menciona que es de uso individual y colectivo.

También se debe comprender que el espacio público es el que permite al peatón caminar libremente y sin ningún tipo de restricción (Remy & Voyé, 1981); por ello, en la ciudad de Lima el Parque de la Reserva o Parque Mágico de las Aguas no es un espacio público ya que se cobra una cantidad de dinero para poder ingresar y además está supeditado a un horario de ingreso y salida. Ello impide al usuario poder transitar libremente por dicho espacio y, consecuentemente, margina a los sectores de la población que tienen escasos recursos.

Por otro lado, se puede observar que los espacios públicos reflejan las necesidades sociales y de seguridad, como querer estar aislado, tener un punto de encuentro, de comunicación y de queja o protesta (Lefebvre, 1978).

Asimismo, cumple roles económicos, sociales y culturales. Siempre la acumulación de personas en algún lugar de la urbe genera actividades económicas (ambulantes o transporte público). Hace que las costumbres de las ciudades no se pierdan y prevalezcan para las futuras generaciones. Finalmente, concentran masas con diversos objetivos como mítines, asambleas, conferencias, entre otros. De esta manera, el espacio se hace provechoso ya que suscita la interacción entre personas, que pueden formar amistades nuevas o quizás simplemente será para el goce del espacio público.

Desde otro punto de vista, se señala que los espacios públicos permiten asegurar un futuro sostenible para las aglomeraciones urbanas, en medida que aseguran la pluralidad de encuentros y actividades de los grupos humanos que dan vida a la ciudad de forma placentera. No se necesitan inversiones espectaculares para tener lugares con gran calidad de vida (Vega Centeno, 2006).

Por lo tanto, el espacio público, es la base para que cualquier ciudad pueda ofrecer a sus ciudadanos lugares de encuentro y confluencia agradables, caminables y que atiendan a sus necesidades y deseos. Se debe comprender que el espacio público no es propiedad de nadie y tampoco puede ser restringido. Sin embargo, se debe respetar los derechos de los demás y comportarse cívicamente. Cabe mencionar que todos los ambientes libres para el peatón no son seguros, ya sean playas, pampas o acantilados; y, tampoco, no solo sirven para la recreación (mercados, bibliotecas).

2.1.2 Características del Entorno

Los espacios públicos obligan a las personas a cumplir ciertas pautas de convivencia o a seguir normas para conservar el medio por donde transitan. El entorno, al cumplir un rol secundario dentro del enfoque del peatón, también debe ser analizado para conocer los factores que condicionan su funcionamiento.

2.1.2.1 Tipos de espacio público

En el día a día, las personas reconocen diversos espacios ya sea por su uso cotidiano, por un uso particular, por la realización de eventos públicos, entre otros. Dentro de los diversos espacios se encuentran:

- *Plazas*

Para la RAE (2016) el concepto es el siguiente “Lugar ancho y espacios de formas diversas dentro de un poblado, al que suelen afluir varias calles” y también es el espacio representativo de cada ciudad. Esta definición exacta, concuerda con la idea de que son las personas las que poblarán dicho espacio para darle un significado esencial y vital. Variarán de acuerdo a la forma y accesibilidad que presentan, de acuerdo al lugar en donde se encuentren, por la forma del diseño. Generalmente son el núcleo o centro de interés principal de cualquier ciudad. En ellas se conservan legados de generaciones, costumbres

y el día a día de la urbe; ya que concentran un sinnúmero de actividades comerciales, sociales, políticas y culturales.

- *Calles*

Vía pública, ubicada entre edificios o casas dentro de una ciudad, se caracterizan por contar con una disposición longitudinal indefinida interrumpidas por otras calles. Las calles generalmente zonifican los espacios y los distribuyen por manzanas o urbanizaciones. En este espacio urbano se permite el tránsito peatonal y vehicular, correspondiendo aceras al peatón y pistas a los vehículos.

García Vilanova & Serón de la Torre (2015) mencionan que el urbanista Gustavo Giovannoni, define la calle como fajas de terreno utilizadas por automóviles y peatones; y como ambiente donde todos los que transite por ella tienen derecho de acceder. De lo cual él concluye, que el transporte vehicular organiza la ciudad y el transporte peatonal la estructura.

- *Parques*

Según la RAE (2015), dentro una población, espacio que se dedica a praderas, jardines y árboles, con diversos adornos para la recreación de los peatones. En este ambiente predominan los paisajes, por lo que su uso es más recreativo y deportivo.

También se define como un elemento protector del ambiente, que posibilita la sana convivencia y las relaciones sociales entre miembros de una comunidad o vecindad. Son considerados también como espacios vacíos, logra un balance entre el área construida y las no construidas dentro de una ciudad.

2.1.2.2 Usos de espacio público

Según Gehl & Gemzøe (2002), clasifican el uso de los espacios de la siguiente manera. La primera sirve básicamente para el encuentro e interacción de personas, En segundo lugar, es un área comercial, de intercambio de bienes e informaciones. Por último, sirve como ruta de acceso de un punto determinado hacia otro.

Estas características harán que el peatón organice sus rutas de viaje como lo señala González Aróstico (2011), las cuales las divide en tres niveles: estratégico, táctico y

operativo. Señala que es estratégico porque las personas planean una lista de actividades que deben realizar; es táctico ya que, señalado los planes, se proyecta a darle importancia a cada actividad para poder realizarla y con ello planificar las ruta que se deberá seguir; y finalmente señala que es operativo porque se lleva a cabo lo planificado, los resultados quizás resulten como se planificó o quizás no, pero eso ya dependerá de cómo y que suceda en el trayecto del peatón.

2.1.2.3 Condiciones climatológicas en el ambiente

El peatón, al momento de salir del hogar hacia su destino, percibe un cambio. Las condiciones internas como la temperatura y la humedad varían, siendo en ocasiones más severas y en otras de menor intensidad.

El clima cumple un papel importante dentro del desplazamiento del peatón, ya que según esto podrá desplazarse libremente. En el verano y la primavera, se contempla espacios más concurridos de personas, debido a que un cielo despejado con sol radiante inspira a las personas a querer estar más tiempo en el lugar y contemplar más el espacio. Se produce mayor interacción y mayor diálogo. Cabe señalar que si los espacios no están bien diseñados resultarán incómodos para los usuarios porque estos ya no disfrutarán del lugar; por el contrario, estarán más estresados y preferirán acudir a otro sitio a divertirse (Gehl, 2014).

En el invierno y otoño, las condiciones no favorecen a pasar mucho tiempo en las calles y la velocidad de los desplazamientos se incrementa. Al ocurrir lloviznas, la gente buscará refugio de ella; los días completamente nublados y las sensaciones de frío por las corrientes de aire producen un “rechazo” del peatón por permanecer en el ambiente.

Por dichos motivos, se aprecia que las personas detectan con facilidad aquello que los incomoda y son apreciados como entes que reaccionarán ante las dificultades climáticas, sobre todo si encuentran en un espacio abierto. Con lo cual buscarán adaptarse de manera rápida a situaciones donde sus condiciones físicas y fisiológicas no resulten limitadas (Perico-Agudelo, 2009).

2.1.3 Las dimensiones en el espacio público

Según Takano & Tokeshi (2007), las dimensiones se clasifican de la siguiente manera:

2.1.3.1 La dimensión físico-territorial

Dentro de este panorama, el territorio se caracteriza por ser un espacio integral. Que es reconocido por un grupo finito o indeterminado de personas. Esta zona siempre se encontrará a disposición del usuario, la cual está destinada para su uso absoluto, en cualquier parte de la vida cotidiana sin tener ningún inconveniente. La idea de esta zona es que sea vea reflejada como un lugar que pueda servir de refugio y que brinde protección.

2.1.3.2 La dimensión política

Esta dimensión da lugar a que todo ciudadano tiene derecho al acceso a un espacio público de calidad. Desde esta perspectiva, se observa que la administración pública tiene relación con la población, ya que esta como dueña jurídica del espacio le da derechos sobre el territorio para su debido uso. Un espacio será calificado de óptimo o deficiente, de acuerdo a cómo los usuarios se desenvuelven dentro de este ambiente y no por cómo está diseñada.

El municipio como ente encargado de velar por las necesidades básicas de los ambientes, tendrá el deber de escuchar los comentarios, quejas o sugerencias de la población, por eso también se denomina espacios de la concertación y el conflicto.

2.1.3.3 La dimensión social

Lo que define al espacio como parte de la sociedad, es la forma incógnita que presenta a cada uno de los usuarios, llamado escenario del anonimato. ¿Cómo explicar ello? Cuando un individuo es participe en un ambiente público, formará parte de la misma condición social, origen, idiosincrasia, entre otros. No habrá situación en la que importe alguna de las condiciones escritas antes. Lo cual genera un estado de igualdad entre todos los concurrentes a dicho espacio.

En el espacio en sí, las condiciones equitativas del cómo usar las instalaciones o la disputa por el control de estas, dependerá básicamente del género o edad, la importancia de las

actividades a desarrollarse ya sea comercia, deportiva, recreativa, etc.

2.1.3.4 La dimensión económica

Esta dimensión se ha visto distorsionada por ejemplo en la ciudad de Lima, donde el espacio no está siendo utilizado como su fin lo amerita. El rol principal es el de disfrutar el ambiente y que la interacción de las personas sea más amena y fluida. Sin embargo, el panorama es completamente distinto, se utilizan los espacios para el comercio y el trabajo ambulatorio. Estos oficios son el sostén económico para centenar de personas que viven en la capital. Las acciones o consecuencias que estas conllevan se verán afectadas, ineludiblemente, dentro del espacio público.

2.3.1.5 La dimensión cultural

El espacio público guarda en sí vivencias del pasado, hechos realizados en el presente y los que quizás se realizarán en el futuro. Toda esta gama de eventos servirá para denominar al espacio como área de historia, de identificación simbólica, de expresión e integración cultural, de relación social. Donde la riqueza cultura estará basada únicamente en el espacio y con la gente con la cual haya interactuado.

Una vez descrita las dimensiones señaladas, se puede comprender que el espacio es el entorno alrededor de la gente, las variantes o eventos que se den estarán ligadas única y exclusivamente al comportamiento que las personas desarrollen en la calle, en los parques, en las plazas, en los mercados y demás zonas públicas.

2.2 MODELOS DE SIMULACIÓN PEATONAL

2.2.1 Introducción

En la actualidad, los espacios públicos son principales lugares de tránsito peatonal en el mundo, que cumplen diversas funciones de acuerdo al lugar donde se encuentren ubicadas. En algunas fechas, estos espacios tendrán gran afluencia peatonal lo que producirá una congestión al momento de trasladarse, lo cual en ciertas ocasiones pondrá en riesgo la vida de los peatones. Esto generara que las personas se muevan como flujos en diferentes

direcciones y es así que la simulación del flujo de peatones es considerablemente importante en áreas donde la seguridad de las personas podría estar en peligro (Zeng, Nakamura, & Chen, 2014).

Es por ello que surgieron estudios de análisis de tráfico peatonal para la planificación de las vías urbanas, con lo cual se obtuvieron mejorar condiciones de transporte y el movimiento de personas. Mediante la microsimulación se elabora un modelo de un sistema real para poder llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de replicar el comportamiento del peatón (Shannon, 1988). Con esta lógica los softwares considerarán al peatón como una partícula, el cual direccionará su traslado de acuerdo a las características que se le asignen.

Helbing & Molnar (1995) señalan que el comportamiento peatonal da comienzo con una estimulación, la cual será seguida por un proceso mental para finalmente culminar con una reacción. Un ejemplo práctico de esta situación se da cuando un peatón comienza su recorrido rumbo a un destino; el estímulo es llegar al destino, el proceso mental es planificar como se llegará a dicha meta; y finalmente la reacción es empezar a caminar.

En términos sencillos, se puede explicar la estimulación con una actividad cotidiana que será la de ir a comprar enseres para el desayuno, el proceso mental será el cómo y por donde ir al lugar de compra y la reacción sería el comenzar a caminar hacia el destino. Con estas percepciones es posible comprender y de manera seguida modelar el comportamiento de los peatones. Por ende, existen modelos que plasman el movimiento de los peatones.

Las características de los peatones se clasifican de la siguiente manera:

- Microscópicas, se analiza la edad, el sexo y la velocidad individuales de cada peatón. En estos casos el peatón puede ser analizado como si fuera una partícula.
- Macroscópicas, se analiza un conjunto de personas en movimiento, la que dependerá de la velocidad en conjunto, la densidad promedio, cantidad de personas, etc. El desplazamiento de los peatones se analiza como si fueran fluidos líquidos o gaseosos, solo se interpreta de este modo si la cantidad de peatones es significativa.
- Mesoscópica, se analiza a personas que caminan en grupo, las que siguen una

trayectoria parecida y tienen el mismo destino (Gonzalez, 2011).

Ya analizado el comportamiento peatonal se podrán desarrollar modelos que reproduzcan el movimiento de los peatones, entre los principales se tienen los siguientes:

a) Continuos, se dan cuando solo se busca conocer valores en todos los instantes en un intervalo de tiempo o dicho de otra manera cuando cambian de forma continua con el paso del tiempo.

b) Discretos, se dan cuando solo se busca conocer los valores de salida en un conjunto finito de instantes de tiempo o de cualquier otra variable. Siempre que se modela en una computadora han de ser necesariamente discretos, ya que solo cuenta con un número finito de estados posibles. (Esquembre, 2013)

c) Determinísticos, modelo donde los datos de entrada producirán invariablemente las mismas salidas, no se toma en consideración ningún tipo de incertidumbre, se toman en consideración hipótesis planteadas.

d) Probabilístico o estocástico, modelo con mayor grado de incertidumbre, en el cual se toman variables reales sin ninguna reducción ni aproximación.

e) Pasivos, método basado en las características esenciales del peatón, las cuales solo servirán para ver cómo influyen dichas características en el desplazamiento de este sujeto. Un ejemplo de este modelo es el autómata celular.

f) Activos, método basado en las repercusiones que puede causar un peatón sobre el medio por donde se desplaza. Un ejemplo de este modelo es la de fuerza social.

g) Precisos o aproximados, de acuerdo a la veracidad de los resultados de los modelos se pueden clasificar tanto como precisos o aproximados. Los modelos precisos, desarrollaran de manera minuciosa el movimiento de las personas. Por otro lado, los

aproximados tomaran valores medios o estándares de movimiento para el análisis donde el peatón no tendrá la capacidad de decisión, por ende, serán considerados métodos más simples.

Una de las herramientas más utilizadas por los especialistas que analizan el comportamiento de peatones son los modelos de microsimulación, en donde se simulará los movimientos y el comportamiento de peatones utilizando el Modelo de Fuerza Social. Este modelo consiste en una serie de ecuaciones que describen los efectos de las diversas fuerzas las cuales dependerán básicamente en parámetros que describirán la elección de rutas, la velocidad peatonal, etc. Estos modelos de simulación de peatones se han desarrollado progresivamente desde 1990, así como las computadoras cada día se vuelven más potentes (Fujiyama & Tyler, 2010). El programa que desarrolla esta idea es el software llamado VisWalk 8.0, el cual fue desarrollado y comercializado por Planing Transport Verkehr PTV-AG.

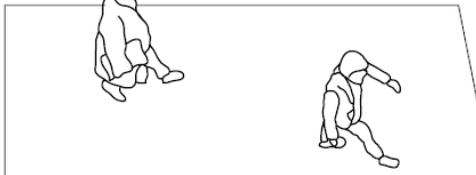
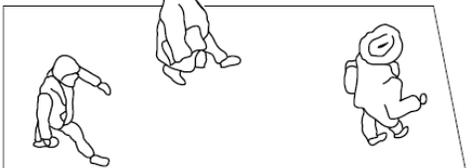
2.2.3 Modelo Macroscópico

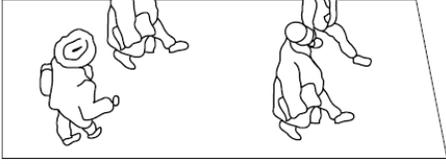
Los modelos macroscópicos estudian a los individuos a grandes escalas, dentro de estas escalas cada peatón puede tener diferentes finalidades y como consecuencia caminarán en diferentes direcciones. Estas conglomeraciones serán representadas como fluidos continuos lo cual matemáticamente se definirá en ecuaciones diferenciales que provienen de la mecánica y dinámica de fluidos. (Appert-Rolland et al., 2012).

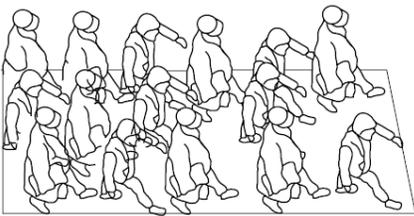
El inconveniente de utilizar modelos macroscópicos es que no permite analizar de manera eficiente el comportamiento individual, ya que no permite considerar los efectos sociales y psicológicos de cada peatón ni tampoco las interacciones que tiene con su entorno. Estos modelos están diseñados básicamente para evacuaciones de personas en estadios, centros comerciales, coliseos y demás (Marno, 2012).

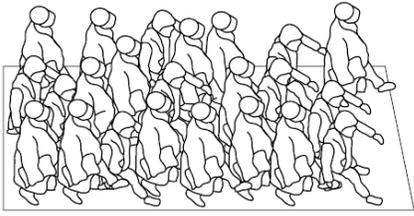
En niveles macroscópicos se evalúan cantidades elevadas de peatones, por ello estos deberán ser clasificados de acuerdo a la densidad y velocidad. Esta medición se realizará con mapas de densidad, los cuales mostrarán gráficamente la densidad peatonal sobre un área especificada, la cual será representada por diversos colores que representará estándares de niveles de servicio (National Academy of Sciences, 2000).

Los niveles de servicio, es un concepto de comodidad para los transeúntes, lo cual fue desarrollado por (Fruin, 1971). Las cuales se descompone en 6 niveles:

Nivel de Servicio – Categoría A		
	Área de desplazamiento	Más de 5.6 m ² .
	Velocidad de flujo	16 peat/min/ml
<p>En el nivel A los peatones caminan libremente ya que no tienen en frente obstáculos que les impida el avance y cruzan o pasan a otras personas sin ningún problema.</p>		
Nivel de Servicio – Categoría B		
	Área de desplazamiento	3.7 a 5.6 m ² .
	Velocidad de flujo	16 a 23 peat/min/ml
<p>El nivel B ya los peatones no caminan tan libremente, empezarán a tomar en cuenta a los demás peatones y estar alertas a los movimientos que realicen.</p>		
Nivel de Servicio – Categoría C		
	Área de desplazamiento	2.2 a 3.7 m ² .
	Velocidad de flujo	23 a 33 peat/min/ml
<p>En el nivel C el espacio para desplazarse es suficientemente amplio para no incomodar a los demás peatones, pero ya se disminuye la velocidad para evitar pequeños apuros al desplazarse.</p>		

Nivel de Servicio – Categoría D		
	Área de desplazamiento	1.4 a 2.2 m ² .
	Velocidad de flujo	33 a 49 peat/min/ml
<p>En el nivel D ya el espacio se redujo, un peatón para poder pasar a otro tendrá que tener mayor cuidado. Ya se presentarán roces entre peatones, esto de cierta manera se deberá a que ya la caminata no solamente será individual porque aparecerán pareja o algunos grupos de peatones.</p>		

Nivel de Servicio – Categoría E		
	Área de desplazamiento	0.75 a 1.4 m ² .
	Velocidad de flujo	49 a 75 peat/min/ml
<p>En el nivel E la mayoría de peatones ya avanzarán con un ritmo pausado. Será muy difícil acelerar el paso o correr como también caminar en diagonales. Probablemente en estas condiciones la marcha se dará con pasos muy lentos.</p>		

Nivel de Servicio – Categoría F		
	Área de desplazamiento	Menos de 0.75 m ² .
	Velocidad de flujo	Variable peat/min/ml
<p>En el nivel F los peatones solo podrán caminar lentamente en la dirección en la que se encuentra y será muy complicado pasar a otra persona o avanzar en diagonal.</p>		

Estos estándares de Niveles de Servicio (en sus siglas en inglés, LOS), fueron desarrollados por Fruin, de cierta manera menciona que las normas de diseños no son universales en todos los entornos y que los valores que se arrojan son subjetivos, los cuales fueron obtenidos de una gran cantidad de evidencia observada (NYC DCP • Transportation Division, 2006). Otros autores afirman que estos niveles de servicio son más útiles y más representativos cuando se analiza el comportamiento vehicular.

La velocidad también se relaciona con la cantidad de personas que se encuentren en un lugar determinado, es por ellos que diversos autores llegan a la misma idea que a más personas se encuentren en un espacio, la velocidad disminuirá notablemente. En la Figura 2, se observa los resultados de estudios realizados por diversos autores.

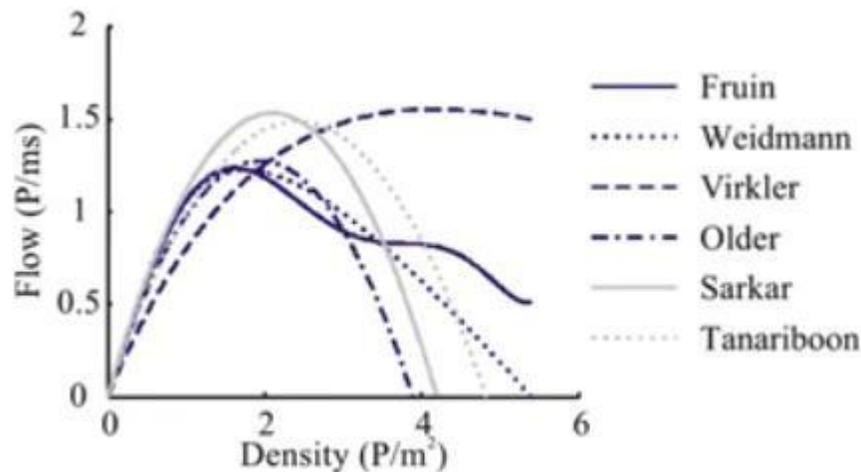


Figura 1. Gráfico de Densidad vs. Flujo de peatones (PTV, 2014)

2.2.4 Modelo microscópico

Como menciona Johansson (2013), estos modelos analizan el desplazamiento de los peatones individualmente y cómo la edad, el clima, el género, la velocidad y demás factores influyen en su desplazamiento. También analiza como las personas actúan cuando se desplazan solas, cuando interactúan con otras personas y cuando interactúan con el medio que los rodea.

2.2.4.1 Peatones en la Microsimulación

Los peatones y los vehículos tienen líneas de deseo diferentes. Los automóviles tienen senderos ya trazados por las pistas que fueron diseñadas en la ciudad; mientras que los peatones, a pesar de tener vías por donde transitar, tienen desplazamientos dispares y seguirán por la ruta más rápida y más corta. (Echeverry, et al., 2005).

Como menciona Suh et al. (2013) los peatones son más impredecibles y la gran parte de la población hace caso omiso a la señalización, lo que dificulta la simulación en el tráfico peatonal y vial; para ello se debe tener en cuenta aspectos como accesibilidad, seguridad y orden en el ornato público.

Hay diversos factores que influirán en la variación de la velocidad de los peatones (PTV, 2014).

- La pendiente, en zonas peatonales cuando esta es muy alta o muy baja la velocidad del peatón se reducirá tanto por cansancio como por seguridad respectivamente.
- La edad, las personas más jóvenes son las que tienen mayor velocidad eso se debe a las características físicas que presentan.
- La hora del día, será muy diferente el flujo que se encuentre en días laborales a hora punta que un día particular por la madrugada, las diferencias serán muy notorias.
- La temperatura, las condiciones climáticas más severas sea calor o frío producirá que la velocidad del peatón se reduzca.

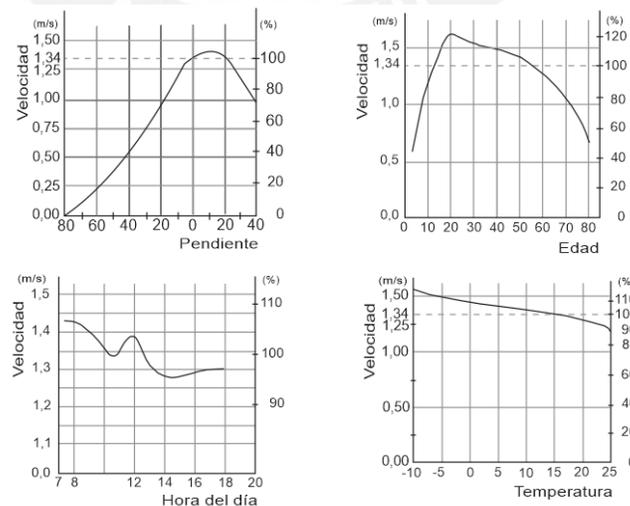


Figura 2. Gráfico de factores que influyen en la velocidad del peatón (PTV, 2014)

2.2.4.1 Modelo de la Fuerza Social

En la década de los 80 empezó a surgir el interés por estudiar el movimiento del flujo de peatones y poder desarrollar ecuaciones o teorías que representen el modelo correctamente. Con estos antecedentes, surge un modelo que fue introducido por Dirk Helbing and Peter Molnar, los cuales se basaron las leyes de Newton: principio de acción y reacción, principio fundamental de la dinámica y ley de la inercia.

Este modelo será capaz de reconocer diferentes condiciones y características del peatón al momento de caminar, en términos de fuerza. Por ello se considerará que los peatones normalmente eligen el camino más rápido, se mueven con velocidad propia teniendo en cuenta la situación, el sexo, la edad, la discapacidad, el entorno, etc. De la misma manera es importante considerar que los peatones mantienen distancia una de la otra, lo cual dependerá de la cantidad de personas y de la velocidad a la que se desplazan.

En este nivel microscópico también se debe considerar cómo la densidad del flujo de peatones es alta influye en el comportamiento peatonal individual. Esto se evidencia en la velocidad que tiene cada peatón, la cual variara de acuerdo a la cantidad de personas que encuentre alrededor; esto genera que un peatón siga al que tiene adelante para abrirse paso y también para evitar la fricción con los peatones de sentido opuesto (PTV, 2014).

A partir de estas observaciones, se afirma que la fuerza social es aquella que representa el efecto que produce el espacio público en el desplazamiento del peatón, pero no de manera directa. Autores como Zeng et al. (2014) consideran a la fuerza social como una reacción a la información que el usuario capta, lo que producirá que se genere una fuerza de respuesta.

El modelo está compuesto por fuerzas social, fuerza psicológica y fuerza física, estas regirán de acuerdo a cinco factores, tales como: fuerza de impulso hacia el destino \vec{F}_D , fuerza de interacción entre los peatones $\vec{F}_{\alpha\beta}$, fuerza producida por la interacción con obstáculos \vec{F}_B , fuerza producida por interacciones atractivas \vec{F}_{ai} , fuerza producida por el comportamiento en conjunto $\vec{F}_{\alpha\beta}^{att}$ y por una individualidad no sistemática del peatón ξ . La

fuerza total \vec{F}_T se puede expresar de la siguiente manera:

$$\boxed{\vec{F}_T = \vec{F}_D + \vec{F}_{a\beta} + \vec{F}_B + \vec{F}_{ai} + \vec{F}_{\alpha\beta}^{att} + \xi} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dependiendo del sistema simulado, no todas las fuerzas pueden ser consideradas. Este modelo describe muchos fenómenos que ocurren durante el movimiento de peatones de manera muy realista.

- Fuerza de impulso (\vec{F}_D)

La fuerza de impulso se suscita cuando el peatón se dirige a su destino. Para ello la manera más eficiente que el usuario tendrá en cuenta será ir a su destino por la ruta más corta, esta dirección es representada por el vector (\vec{e}_α^o), la cual se define por la posición actual (\vec{x}_α) y el destino deseado (\vec{p}).

$$\boxed{\vec{e}_\alpha^o = \frac{\vec{p} - \vec{x}_\alpha}{\|\vec{p} - \vec{x}_\alpha\|}} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Ecuación 2. Dirección del vector unitario dirigida a la fuerza de impulso.

El peatón detectará la ruta más corta hacia su punto de llegada, la cual deberá realizar con una velocidad deseada que se representa con el vector V_α^o . Sin embargo, en el recorrido real la velocidad deseada no es igual a la velocidad real \vec{V}_α y no será constante en todo el trayecto por lo que afectará a la fuerza de impulso.

La fuerza de impulso establece un movimiento sistemático en la dirección de la velocidad deseada V_α^o . En este contexto, el tiempo de relajación (τ) se puede interpretar como el tiempo de reacción y el que establece la fuerza general de la aceleración. Por lo tanto, la fuerza se representará de la siguiente manera:

$$\boxed{\vec{F}_D = \frac{V_\alpha^o \cdot \vec{e}_\alpha^o}{\tau_\alpha} - \frac{\vec{V}_\alpha}{\tau_\alpha}} \quad \text{Ecuación 3.}$$

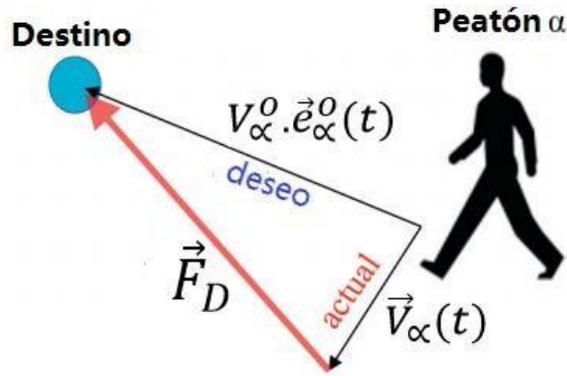


Figura 3. Desplazamiento del peatón a su destino (Weiliang et al., 2014)

- Fuerza de interacción entre los peatones ($\vec{F}_{\alpha\beta}$)

Las interacciones entre los peatones también se describen como fuerzas y se componen en fuerza socio-psicológica e interacciones físicas:

$$\vec{F}_{\alpha\beta} = \vec{F}_{\alpha\beta}^{\text{socio-psicológico}} + \vec{F}_{\alpha\beta}^{\text{interacción física}} \quad \text{Ecuación 4.}$$

- Fuerza socio-psicológica ($\vec{F}_{\alpha\beta}^{\text{socio-psicológico}}$)

La interacción más importante entre los peatones es la acción de mantener cierta distancia con otros peatones. Para describir este comportamiento, una fuerza socio-psicológica repulsiva se implementa en el modelo de fuerza social. La fuerza será más intensa cuando un peatón se encuentra más cerca a otro y se representa de manera exponencial de la siguiente manera:

$$\vec{F}_{\alpha\beta}^{\text{socio-psicológica}} = w(\lambda_{\alpha}, \phi) \times \sum_{\beta=1}^{\text{rect.to.n}} A_{\alpha} \times e^{-\frac{d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}}} \hat{d}_{\alpha\beta} \frac{1}{b^2 + c^2} \quad \text{Ecuación 5.}$$

$d_{\alpha\beta}$: Distancia entre peatones

$\hat{d}_{\alpha\beta}$: Vector unitario de distancia

ϕ : Ángulo entre la última dirección de movimiento de α y la posición del

peatón β .

A_α : Parámetro A_{soc_isoc} para el peatón α que indica la fuerza de interacción.

B_α : Parámetro B_{soc_isoc} para el peatón β que indica el rango de la interacción.

$w(\lambda_\alpha, \phi)$: Factor de forma determinada de la siguiente manera:

$$w(\lambda_\alpha, \phi) = \lambda_\alpha + \frac{(1-\lambda_\alpha) \times (1 + \cos \phi)}{2} \quad \text{Ecuación 6.}$$

λ_α : Factor de anisotropía del peatón α .

En la siguiente figura se mostrará el esquema de todas las variables.

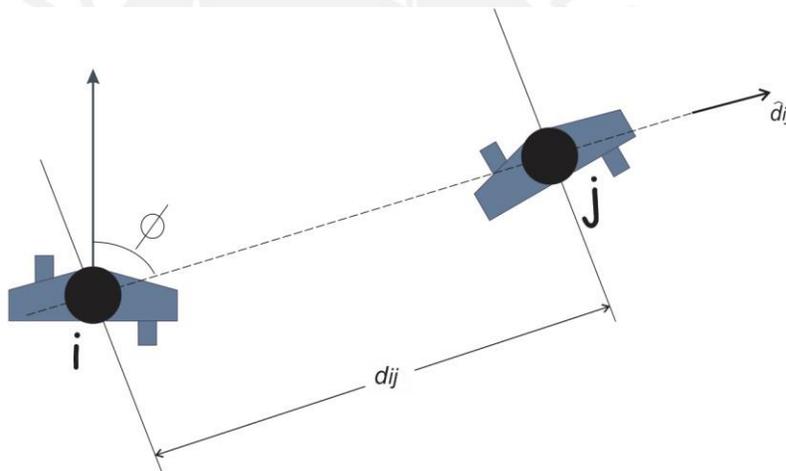


Figura 4. Descripción de la Fuerza Social Isotrópica. Fuente: Propia.

Cuando el ángulo es cero es decir que cuando el peatón i tiene al frente al peatón j , el valor de $w = 1$; mientras que cuando el valor del ángulo es 180° la fuerza dependerá netamente del parámetro lambda ya que el valor de $w = \lambda_1$.

Con lo expuesto anteriormente, se aprecia que el movimiento de los peatones varía según la dirección en la que se desplacen. Por ello es más importante para el peatón los hechos que sucedan delante de ellos en su rango de visión, comparada a las acciones que ocurran

detrás de él; por ello si sucede algo fuera de lo común el peatón reaccionará de inmediato.

Para añadir esta característica al modelo de la fuerza, se debe de tomar en cuenta que la influencia de los peatones que están dentro del campo visual es mayor que la influencia de los otros peatones que no se encuentran del campo visual.

Otra forma de expresar esta fuerza se presenta de la siguiente manera:

$$\vec{F}_{\alpha\beta}^{\text{socio-psicológico}} = A_{\alpha} \times e^{\left(\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}}\right)} \times \bar{n}_{\alpha\beta} \times w(\lambda_{\alpha}, \phi) \quad \text{Ecuación 7.}$$

$r_{\alpha\beta}$: Suma de radios de los contornos de los peatones α y β

La ecuación 7 servirá para explicar más adelante como la interacción física produce fuerzas cuando el peatón está en movimiento. Para poder entender mejor los radios de los peatones y la distancia que los separa, se presenta la Figura 5.

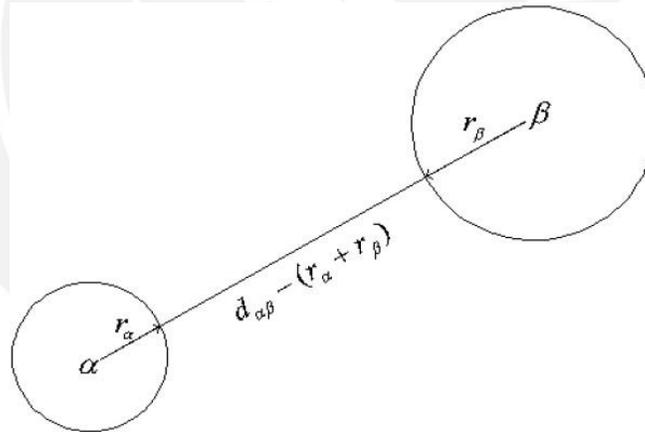


Figura 5. Distancia entre dos peatones interactuando (Weiliang, 2014)

- Fuerza de Interacción física ($\vec{F}_{\alpha\beta}^{\text{interacción física}}$)

La fuerza de interacción física no considera a las personas que están detrás de ella, ya que no son perceptibles a la vista del peatón, solo tendrá referencia con las que choca y logra observar, tal como se muestra en la siguiente figura.

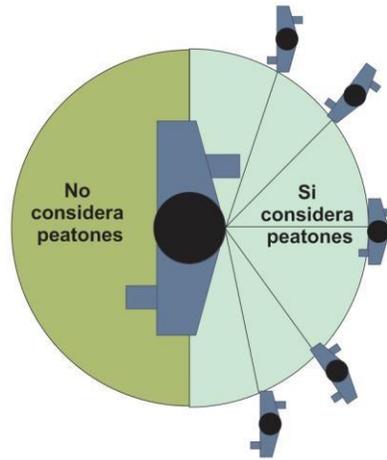


Figura 6. Esquema donde solo se consideran peatones en la parte delantera del peatón (Propia).

Estas interacciones se producen cuando los radios de los peatones son mayores a la distancia entre estos, es decir cuando los peatones estén considerablemente cerca. Lo que significa que se generará contacto físico, lo cual sucede en situaciones de evacuación y pánico donde la densidad de peatones es relativamente alta.

Estas interacciones físicas producen dos fuerzas adicionales: la fuerza corporal y la fuerza de fricción por deslizamiento.

- La fuerza corporal contrarresta la compresión del mismo, lo que evita daños físicos. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$k\theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})\vec{n}_{\alpha\beta} \quad \text{Ecuación 8.}$$

- La fuerza de fricción por deslizamiento se produce cuando los peatones tratan de evitar pasar a otros peatones con una alta velocidad en distancias pequeñas. De este modo se introduce una desviación tangencial.

$$k\theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}) \Delta v_{\beta\alpha}^t \vec{t}_{\alpha\beta} \quad \text{Ecuación 9.}$$

La función $\theta(z)$ es igual a z , si z es mayor a cero; en contraste si z es menor a cero, $\theta(z)$ es igual a cero. Por lo tanto, si se parte de la Ecuación 8, conlleva a decir que la suma de los

radios de los peatones es mayor a la distancia que hay entre ellas; de no darse esta situación implicaría que hay un espaciamento entre peatones. De otro modo se tiene que tener en cuenta que $\vec{t}_{\alpha\beta} = (-n_{\alpha\beta}^2, n_{\alpha\beta}^1)$ es la componente de la dirección tangencial y $\Delta v_{\alpha\beta}^t = (\vec{v}_\beta - \vec{v}_\alpha) \cdot \vec{t}_{\alpha\beta}$ es la componente tangencial de la velocidad relativa. La constante k representa valores altos.

La suma de estas dos fuerzas da como resultado la fuerza de interacción física que se presenta a continuación:

$$\vec{F}_{\alpha\beta}^{interacción\ física} = k\theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})\vec{n}_{\alpha\beta} + k\theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}) \Delta v_{\beta\alpha}^t \vec{t}_{\alpha\beta} \quad \text{Ecuación 10.}$$

- Fuerza producida por la interacción con obstáculos y límites de paso (\vec{F}_B)

Esta fuerza es similar a la fuerza que se produce con la interacción de peatones. Para ello se precisa que los elementos que impiden el paso de los peatones son los obstáculos, elementos sólidos que se encuentran en la trayectoria del transeúnte; mientras que los límites de paso son los objetos que delimitan la trayectoria, por ejemplo, cercos o paredes.

La forma cómo influyen estos elementos en el desplazamiento del peatón, se produce de tres maneras. La primera de ellas considera que tendrá mayor influencia todos los elementos que impidan el paso y se encuentren en la toda la trayectoria; la segunda solo considera a los elementos cercanos al peatón; y finalmente solo se considera los elementos de gran y significativa influencia que detienen al peatón cuando se traslada.

Para calcular las fuerzas se utilizan polígonos, donde las líneas de esta figura geométrica sirven para representar los obstáculos y límites. Con ello se podrá calcular la fuerza de interacción con el peatón, la distancia que separa al peatón del obstáculo se denomina

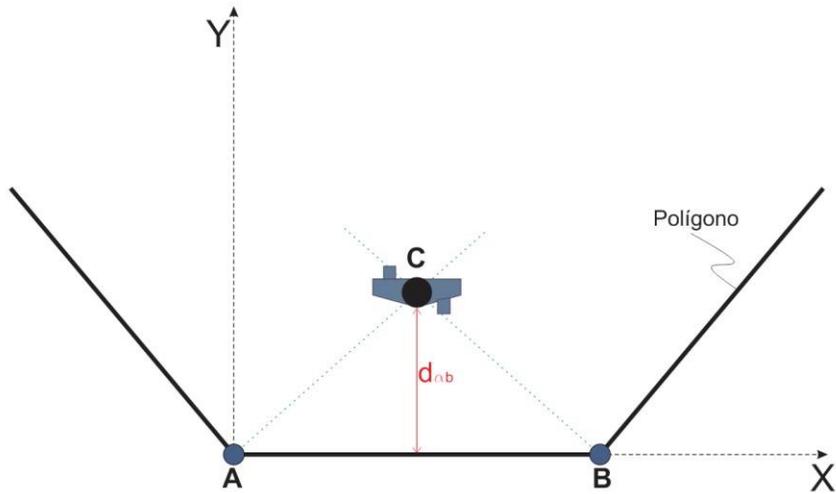


Figura 7. Distancia entre un peatón y un obstáculo simulado (Propia).

La figura muestra el esquema para poder calcular la fuerza, para hallar dicha magnitud se tendrán tres casos que se explican a continuación:

$$d_{\alpha b} = \begin{cases} \overline{CA}, & \overline{AC} \cdot \overline{e_{AB}} < 0 \\ \overline{CA} - (\overline{e_{AB}} \cdot \overline{CA})\overline{e_{AB}}, & 0 < \overline{AC} \cdot \overline{e_{AB}} \leq \|\overline{AB}\| \\ \overline{CB}, & \|\overline{AB}\| \leq \overline{AC} \cdot \overline{e_{AB}} \end{cases} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Ecuación 11. Distancia entre peatones y su variable

Como se indica la distancia entre peatones y se plantea que la fuerza es similar a la interacción entre peatones se plantea lo siguiente:

$$\vec{F}_B = \left\{ A_\alpha \times e^{\left(\frac{r_\alpha - d_{\alpha b}}{B_\alpha}\right)} + k\theta(r_\alpha - d_{\alpha b}) \right\} \vec{n}_{\alpha b} - k\theta(r_\alpha - d_{\alpha b}) \Delta v_{b\alpha}^t \vec{t}_{\alpha b}$$

Ecuación 12.

- Fuerza producida por interacciones atractivas (\vec{F}_{ai})

Cuando el peatón está en movimiento encuentra diversos medios de atracción, los cuales pueden influir en su desplazamiento. Al momento de caminar encontrará lugares como: galerías, tienda de artefactos, snacks, restaurantes, etc. Estos establecimientos quizás motiven al peatón a cambiar su ruta y dirigirse hacia ellos, este acto genera una fuerza atractiva o llamada también interacción atractiva.

Este tipo de fuerza se calcula de manera similar a la interacción entre peatones (Ecuación 7), salvo algunos cambios como el parámetro A_{ai} que para este cálculo tendrá un menor valor, será negativo y dependerá netamente del tiempo. Del mismo modo el parámetro B_{ai} , que mide el rango de interacción entre el peatón y el lugar donde interactuará tendrá valores más elevados.

$$\vec{F}_{ai} = A_{ai} \times e^{\left(\frac{r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}}{B_{ai}}\right)} \times \vec{n}_{\alpha\beta} \times w(\lambda_{\alpha}, \phi) \quad \text{Ecuación 13.}$$

Ecuación 13. Fuerza producida por interacciones atractivas

- Fuerza producida por el comportamiento en conjunto ($\vec{F}_{\alpha\beta}^{att}$)

Los peatones en ciertas ocasiones van acompañados o en grupo. Cuando una de estas se separa del grupo por cualquier razón ya sea por obstáculos en el camino, por quedarse observando precios de un establecimiento, por haber cruzado el semáforo antes que el grupo, etc. El individuo tratará de volver al grupo con el que avanza, esta reacción produce una fuerza de atracción hacia el conjunto.

Por lo tanto, la interacción solo estará sujeta al término $\vec{n}_{\alpha\beta}$, ya que es la que relaciona la posición entre peatones. Esta se multiplicará por una constante $C_{\alpha\beta}$, la cual dependerá del tamaño del grupo. Se representa de la siguiente manera:

$$\vec{F}_{\alpha\beta}^{att} = -C_{\alpha\beta} \cdot \vec{n}_{\alpha\beta} \quad \text{Ecuación 14.}$$

- Fuerza producida por la individualidad del peatón no sistemática (ξ)

Todos los peatones poseen un comportamiento individual y por lo tanto su movimiento

puede diferir de las leyes obtenidas. Este comportamiento está representado por una fuerza de fluctuación aleatoria, esta se determina mediante la distribución Gaussiana y es perpendicular al vector que apunta en la dirección deseada:

$$\xi = (\vec{e}_\alpha^o \cdot \vec{f}_\alpha) \cdot X \vec{e}_\alpha^\perp \quad \text{Ecuación 15.}$$

\vec{f}_α indica toda la fuerza social que actúa sobre el peatón α . Mientras que X señala que es un número aleatorio que está dentro de una función normal.

2.2.4.2 Modelo de la Fuerza Magnética

Como desarrollaron Okazaki y Matsushita (1993) el modelo representará a un peatón como si fuera un objeto magnético, el cual estará dentro de un campo magnetizado, es donde la fuerza de atracción entra en acción y hace que los objetos se muevan. El objetivo de este es observar la capacidad de visualizar el movimiento de todos los peatones, donde se mostrarán los flujos de peatones cuando estén en un tránsito fluido, en un tránsito detenido o un tránsito con ambas características.

Para iniciar con la simulación se deberán, tener datos iniciales como son el destino, la posición, velocidad máxima, orientación, tiempo para iniciar y la manera de caminar ya sea por ruta más corta o por ruta preestablecida. *Debido a la ley de Coulomb, la velocidad aumentaría ilimitada por la aceleración, por lo que se requiere la máxima velocidad. Por otra parte, el plan debe ser complementado en x e y en coordenadas.*

Recordando las leyes de la física, se mencionará la ley de Coulomb que funciona en los campos magnéticos, la cual está dada por lo siguiente:

$$\begin{aligned} F_{magnética} &= \frac{1}{4\pi\epsilon} \times \frac{Q_1 \times Q_2}{s^2} \\ F_{magnética} &= k \times \frac{Q_1 \times Q_2}{s^2} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Q_1 y Q_2 son las cargas magnéticas que poseen los objetos, s es la distancia que hay entre

los dos objetos, siendo k la constante de Coulomb explicada en la Ecuación 17. Q_1 será la partícula que simulará el comportamiento de un peatón, mientras que Q_2 cumplirá la función de un obstáculo que se presente en el camino.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \quad \text{Ecuación 17}$$

Para un mejor entendimiento de la fuerza magnética esta se debe expresar de manera vectorial, ya que indicará la dirección para donde se dirige.

$$\vec{F} = k \times \frac{Q_1 \times Q_2}{s^3} \times \vec{S} \quad \text{Ecuación 18.}$$

Si las cargas Q_1 y Q_2 tienen las mismas cargas están se repelerán porque tienen signos iguales; lo cual representa que la Q_1 es representada por el peatón y la Q_2 es un obstáculo ya que al repelerse le impide el desplazamiento al peatón. Por otro lado, si dichas cargas son de signo contrario están se atraerán; lo cual representa que la Q_1 es representada por el peatón y la Q_2 representa el destino deseado.

Cuando se presenten varios peatones con misma carga estas se repelerán por las fuerzas que hay entre ellos. Para evitar que dichas fuerzas actúen con gran intensidad y causen choques entre ellos, aparecerá una fuerza de repulsión. Esta se originará cuando un peatón invada un área especificada que es producida por el otro transeúnte, lo que causará que la dirección del peatón cambie. Esta fuerza de repulsión originará una aceleración la cual se calcula de la siguiente manera:

$$a = \tan \beta \times \cos \alpha \times v_A \quad \text{Ecuación 19.}$$

En un contexto donde hay dos peatones representados por A y B, los cuales tienen dos áreas específicas denotadas por círculos alrededor de ellos. El ángulo β será la intersección que conforme la línea de la velocidad de A respecto de B ($v_{A/B}$) con la línea que mide la distancia entre los círculos de A y B. Mientras que el ángulo α es la intersección de $v_{A/B}$ con la velocidad de v_A .

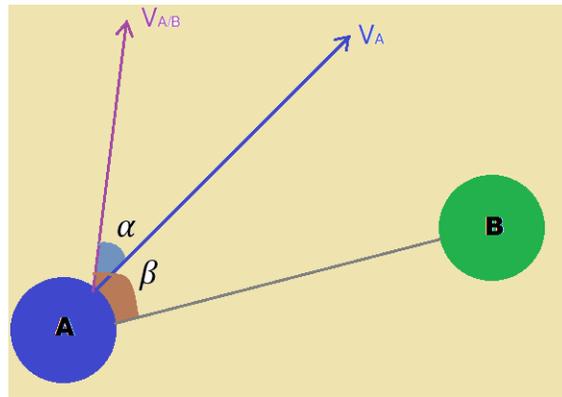


Figura 8. Representación de la Fuerza Magnética (Propia)

2.2.4.3 Modelos relacionados a la formación de colas peatonales

Como menciona Yuhaski y J. Macgregor (1989) “El modelo de colas” se usa para analizar los efectos que originará el flujo de peatones en sistemas de circulación de lugares en los cuales circulen una gran cantidad de transeúntes. Todo ello con el fin de garantizar un flujo peatonal transitable en cualquier situación ya sea en condiciones normales o situaciones de emergencia. Una vez analizado el flujo de peatones que pasarán por el lugar, se empieza a analizar los lugares por donde estos transitarán para posteriormente tener en consideración el comportamiento de cada peatón, lo cual puede ser muy complejo y difícil de analizar ya que hablamos de reacciones impredecibles y con alto grado de aleatoriedad según cada persona.

La formación de colas de personas se produce principalmente en los sistemas de circulación que poseen espacios reducidos como pueden ser los pasillos, las rampas y las escaleras; lo que origina que los espacios de circulación no cumplan su función adecuada cuando el tráfico peatonal aumente.

Por lo tanto, este modelo de simulación servirá básicamente para la evacuación segura de personas en grandes edificios, esto se realizará a cabo con la asistencia del software llamado EVACSIM. Este programa tendrá en cuenta el comportamiento y el movimiento de los transeúntes, informará sobre la creación de cuellos de botella peatonal en el sistema de general de accesos dentro de todo el edificio (Lovas, 1994).

2.2.4.4 Modelo Autómata Celular

Una definición exacta la menciona Santana Rivas (2009) “es un enfoque de inteligencia artificial para la simulación de modelos, que es una abstracción matemática de los sistemas físicos de tiempo discreto, y toma en valores físicos de un conjunto finito de valores discretos”.

Por otro lado, González Arostico (2011) menciona que para entender que es un autómata celular (CA), por eso se relacionará con los avisos electrónicos. Estos avisos están conformados por focos o celdas contiguas las cuales se prenderán y apagarán según lo diseñado para obtener el anuncio que se desee. Con esta idea se define a un autómata celular como espacios ordenados que pertenecen a una cuadrícula los cuales a medida que transcurra el tiempo cambian de estado según la función que tengan.

Desde otro punto de vista (Yue et al., 2009) los autómatas celulares son modelados como estructuras espaciales en un plano típico, por ejemplo, la ciudad donde la gente interactúa constantemente. Estas estructuras se asemejan a la forma que presenta un tablero de ajedrez. Donde cada casilla puede ser el peatón (Figura 9), un conjunto de personas, casa o departamento. Esta cédula permite que cada usuario cuente con un lugar en el espacio y tenga una ubicación correspondiente dentro del plano.

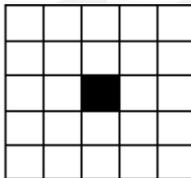


Figura 9. Estructura espacial representada por un tablero de ajedrez. Fuente: Adaptación de Poznan University of Technology.

La cuadrícula tendrá en consideración lo siguiente: el número de celdas que tenga, la actividad que se desarrolle en cada celda, la interacción que suceda con las celdas vecinas y los eventos que sucedan a través del tiempo en toda la cuadrícula. Una cuadrícula estará rodeada de varias por lo que se distinguirá entre las más cercanas (arriba, abajo, izquierda y derecha) como las que tendrán mayor interacción; en las celdas diagonales la interacción disminuye un poco y no es tan directa; mientras que las celdas más alejas la interacción se reduce considerablemente (Figura 10).

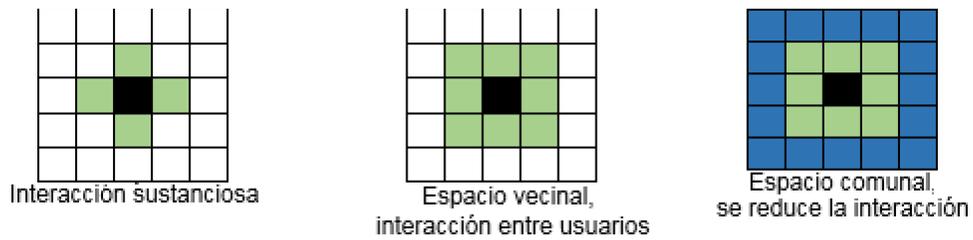


Figura 10. Diversos grados de interacción, modelo autómatas celulares. Fuente: Adaptación de Poznan University of Technology.

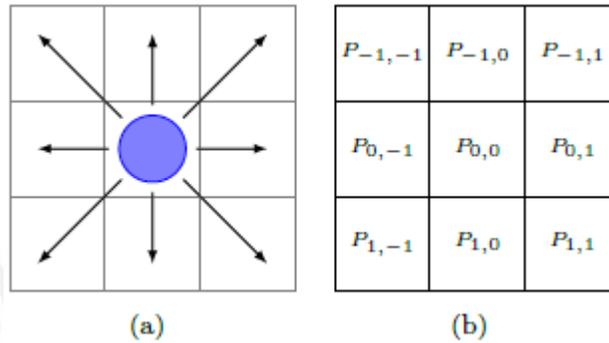


Figura 11. (a) Dirección de cómo se dirigen los peatones. (b) Coordenadas de desplazamiento de acuerdo a la dirección tomada.

Por ello los CA toman en consideración la interacción entre espacio y personas, teniendo en consideración el efecto de los obstáculos, la dimensión geométrica del espacio por donde se desplazará y las características propias del movimiento. Otra consideración es la interacción que se produce entre los usuarios.

Para el modelamiento se tendrá en cuenta que los obstáculos serán celdas fijas que no tendrán ningún tipo de actividad, como se logra apreciar en la Figura 11. También se debe tomar en cuenta que los peatones en este tipo de modelos se les asignan una velocidad máxima de 1, esto quiere decir que su desplazamiento por cada paso que dé se moverá una celda, un paso una celda.

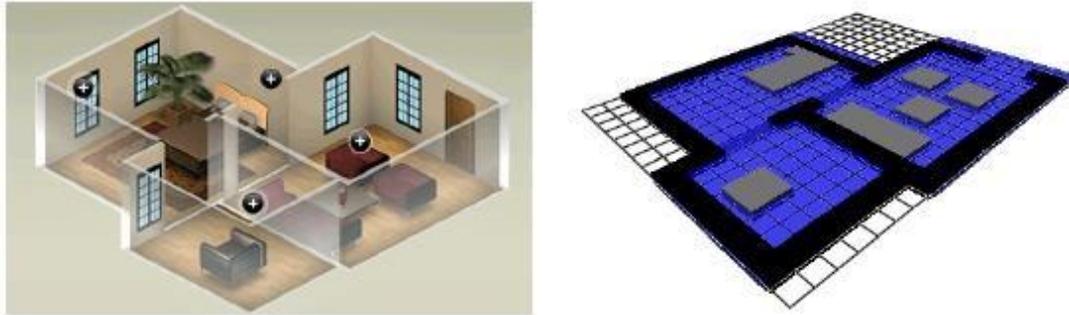


Figura 12. Bosquejo de un edificio en autómatas celulares.

En la imagen se puede apreciar que las paredes y los muebles en un formato de cuadrícula, son considerados como celdas fijas por las cuales una persona no podrá transitar. Estos modelos son considerados dinámicos ya que se ha discretizado el espacio (conjunto finito) y los individuos son considerados como partículas, los cuales poseen cierto grado de libertad dentro de un espacio discreto. Estas partículas o celdas evolucionan con el paso del tiempo y a medida de cómo cambie o varíe su entorno (Yue et al., 2009).

En el campo de los CA se presentan diversos modelos los cuales tendrán consideraciones diferentes respecto al movimiento y al comportamiento del peatón es así que Narimatsu et al. (2004) plantean que los peatones deben evitar el choque con otro, para esto en el modelo se le asignará al peatón un área de visión donde observaran si tienen peatones delante en su recorrido y a la vez estos solo podrán desplazarse para la derecha, izquierda y al frente.

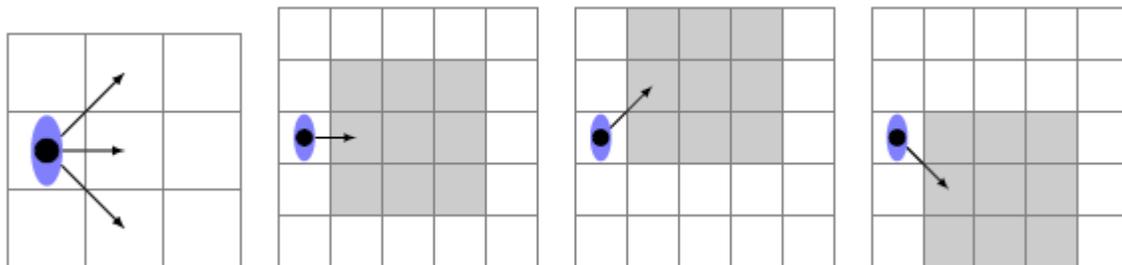


Figura 13. Área de visión de peatón

2.2.4.5 Modelos basados en la dinámica de gases

El desplazamiento de los peatones será representado como el movimiento que tienen las moléculas de un gas, esto debido a que las moléculas se mueven continuamente en línea recta. Estos movimientos son desorientados y desorganizados lo que permite predecir con

dificultad la dirección a la que desean ir (Figura 13).

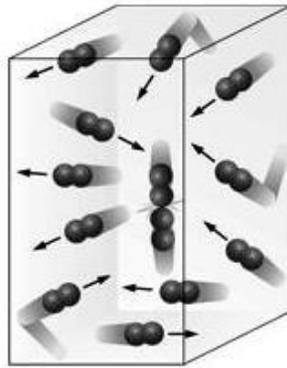


Figura 14. Representación de un peatón como molécula

Como menciona (Rangel-Huerta, 2013) la ecuación que ayudará al modelo es la ecuación de Boltzmann la cual describirá un flujo de personas que camina en cualquier dirección. Una vez ya mencionado cómo se comportarán los peatones, el modelo tomará en consideración a las personas que se desplazan rápidamente a su destino que eventualmente cambia su dirección de forma aleatoria y a las personas cuando resuelven los obstáculos que se presentan en su recorrido.

En la simulación si el peatón tiene el camino libre se desplazará con una velocidad \vec{v}_d y esporádicamente cambiará de dirección con una velocidad \vec{v}' , estas formarán un ángulo η . Después de determinado intervalo de tiempo el peatón volverá a su recorrido inicial.

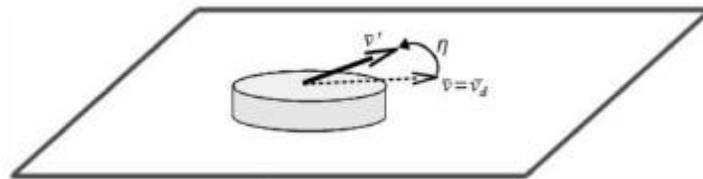


Figura 15. Simulación cuando un peatón tiene el camino libre.

Cuando el peatón encuentra obstáculos en su camino, cambiará de igual manera su dirección para evitar el choque y luego de esto volverá a la dirección en la que se encontraba inicialmente. Como se aprecia en la Figura 15 el ángulo η , volverá a su posición original es por eso que se representa con un signo negativo.

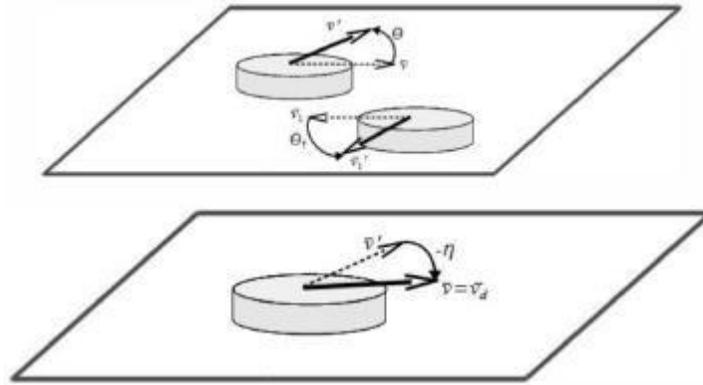


Figura 16. Simulación cuando un peatón encuentra obstáculos en su camino.

2.2.3.6 Modelo basado en agentes.

La definición de agente será tomada de los apuntes de Russell (2004), de lo cual se dice que los peatones son sujetos con capacidad de decisión, percepción y actuación dentro de un ambiente dinámico. Estos modelos computacionales llamados BDI, por sus siglas en inglés (beliefs – desires – intentions), resuelven la simulación desde conceptos basados en la Inteligencia Artificial.

Este tipo de simulación por lo general presenta infinidad de agentes y los resultados serán determinados por las interacciones entre ellos; generalmente este modelo se usa en simulaciones de tráfico vehicular, migraciones de aves y en patrones de movimiento humano. El procedimiento consiste básicamente en recrear el ambiente donde se desea simular, introduciendo la cantidad de peatones teniendo en cuenta los factores socioeconómicos, la actividad de horarios y la distribución de los espacios.

La principal característica cuando se modelan a los peatones, es que estos tienen habilidades relacionadas al conocimiento por lo que pueden tomar decisiones al momento de cruzarse con obstáculos, ya sea otro peatón o el ambiente, y poder elegir la ruta alternativa para evitar el choque. Sirve para poder modelar comportamientos explícitamente complicados como el de los discapacitados.

2.3 VISWALK 8, USO Y PARÁMETROS.

2.3.1 Descripción

Ya analizado los modelos de simulación, se deberá conocer el software donde se realizará la modelación. Este programa de simulación, fue creado y desarrollado por la compañía alemana Planung Transport und Verkehr AG. El campo de desarrollo de estos softwares se produce en planeamiento de tráfico y en ingeniería de tráfico. Este software es un complemento de VISSIM, su función principal es simular y analizar de manera más realista y exacta el flujo de peatones de determinada zona de estudio.

Este programa tiene una labor difícil para modelar ya que los movimientos de una persona en su desplazamiento no son predecibles como lo son los medios de transporte. Ya que de un momento a otro la dirección, sentido y/o velocidad de una persona puede cambiar repentinamente.

Cabe resaltar que tanto Vissim como VisWalk, pueden emplearse de manera conjunta o separada. Salvo la diferencia que, si VisWalk se usa de manera independiente, solo se podrá simular flujo de personas, pero no flujo de vehículos ni interacción con estos.

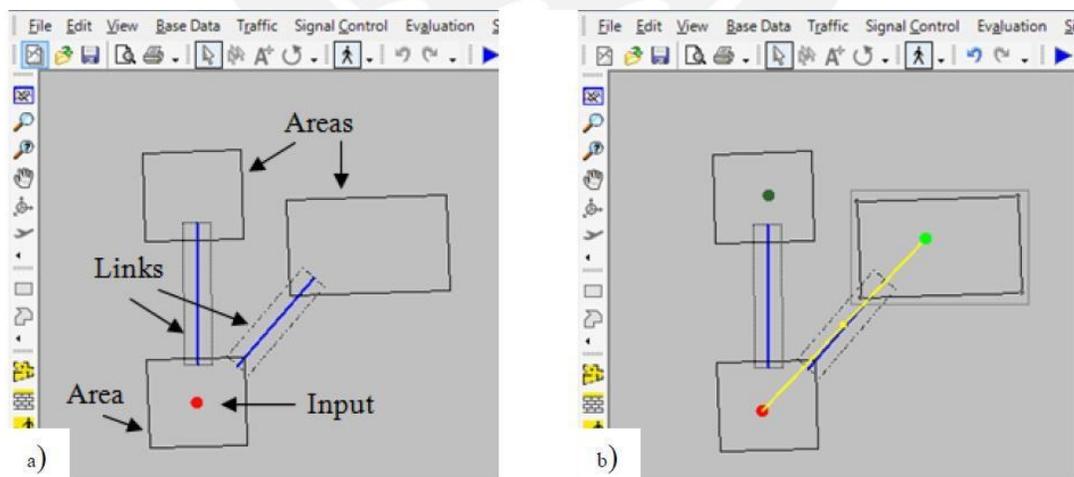


Figura 17. Áreas de influencia.

Para iniciar con el modelamiento en el software, se deberán tener conceptos básicos

acerca del software. Los rectángulos que se presentan en las imágenes son los espacios en donde empezarán o terminarán su recorrido los peatones.

Para que estos puedan trasladarse de un área a otra, se deberán unir por medio de enlaces (links), los cuales deberán ser bosquejados desde el interior de cada área. Se le asignará al programa la zona de partida (input) que se puede apreciar en el gráfico como el punto rojo y las zonas de llegadas o salidas que son los otros puntos que aparecen en las áreas restantes, se deberán colocar que los puntos de inicio y fin se colocan en las áreas.

En este bosquejo de cómo se modela, se distinguirá como los peatones se trasladan tanto por las áreas como por las celdas que conectan; se podrá observar que caminan con libertad y de manera real, ya que pueden realizar movimientos inesperados, pasar al costado de otra persona o cambiar de sentido si lo desean.

Lo que también es usual en la creación de modelos, es que se presentan cruces de vías peatonales y/o automovilísticas, para estos casos se referenciarán con la ayuda de semáforos que darán prioridad al sentido de las vías.

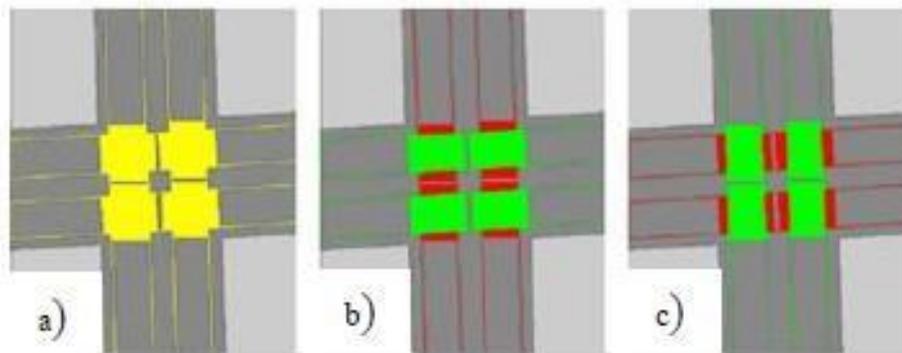


Figura 18. Zonas de conflicto.

Como se observa en la siguiente Figura 10, la zona de color amarillo representa una zona donde las personas o automóviles cruzaran sin un orden adecuado y cuando puedan pasar. Sin embargo, en las dos zonas restantes se observa un orden con la puesta de semáforos, lo que ordena el tránsito llegando a evitar cuellos de botella y accidentes.

2.3.2 Área de Aplicación

Como bien se sabe el VisWalk 8.0 solo se encargará de la interacción de las personas, la

cual será configurada con el ajuste que se les realice a los parámetros de los peatones. Por tal motivo es que los movimientos serán más reales. El objetivo principal de la simulación es asegurar un buen flujo de peatones en la zona donde se realizará el estudio. También se tratarán de evitar cuellos de botella y evitar que los obstáculos originen tal problema. El software VisWalk es muy útil para realizar análisis de evacuación en lugares como edificios, plazas, centros comerciales, hospitales y demás centros de conglomeración peatonal.

El modelamiento en VisWalk da un bosquejo de cómo es que se desplazarán las personas y se podrá observar en qué nivel de servicio (LOS) se encuentra la zona de estudio, con ello se tomarán medidas de acuerdo a las ventajas o desventajas encontradas. Una vez construido el lugar en estudio, también se puede volver a simular para ver si los resultados son los esperados o no y distinguir de qué manera se pueden solucionar si algo saliese mal (PTV Group, 2013).

2.3.3 Parámetros de VisWalk

Cuando se modela en VisWalk se pueden establecer diferentes valores para sus parámetros, de acuerdo al tipo de peatón. El software también brinda parámetros adicionales los cuales se pueden añadir en la configuración, para maximizar y ajustar el desempeño del peatón. A continuación, se presentarán los diversos parámetros que se utilizan en la modelación (PTV-AG, 2012) y se explicará lo que es una distribución de velocidad deseada.

2.3.3.1 Distribución de velocidad deseada

El parámetro más importante dentro de la modelación se presenta en forma de distribución en lugar de un valor fijo, esto permitirá que las situaciones de desplazamiento peatonal se perciban de manera más realista. Este parámetro resulta fundamental ya que tiene una gran significancia en la velocidad de los posibles recorridos del peatón y en el flujo peatonal.

Cuando un peatón se moviliza de manera libre, sosegada y cómoda, sin que su camino presente trabas u obstáculos, se indica que está tendrá una velocidad deseada. Esta velocidad se deberá muestrear en campo cuando la zona de estudio este libre, sin

conglomeraciones de personas ni otros factores que alteren el orden de cada individuo.

El software propone algunas distribuciones de velocidades, las cuales fueron conseguidas después de un gran número de ensayos. Entre ellas se pueden señalar las distribuciones diseñadas por Fruin, la distribución de Predt-Milinski, la distribución de Kretz para escaleras, entre otras. Del mismo modo cada usuario que utilice el software podrá crear su propia distribución con datos tomados en campo, este escenario debe presentar las características señaladas líneas arriba.

2.3.3.2 Parámetros por tipo de peatones

Dependiendo del tipo de peatón, el software permitirá realizar ajustes, dichos parámetros se mencionan a continuación:

- **Tau (τ)**, se puede interpretar como el tiempo de reacción y que establece la magnitud de la fuerza de impulso. Este parámetro es parte de la fuerza de impulso sin el cual el peatón no podría llegar a su destino, ya que esta establece un movimiento sistemático en la dirección de la velocidad deseada. Se debe tener en cuenta que la unidad de este parámetro es el segundo y en el software el tiempo de simulación de peatones es de mínimo 0.5 segundos.

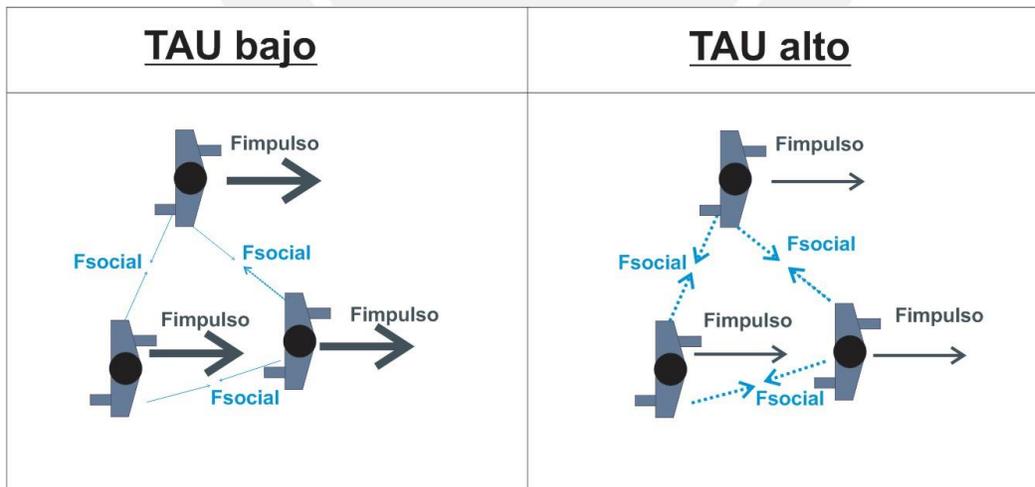


Figura 19. Comparación de Tau respecto a las fuerzas de impulso y social (Propia)

Como se aprecia en la Figura 19, cuando el valor del tiempo de relajación presenta valores

bajos la fuerza de impulso tiene mayor incidencia respecto a la fuerza social, esto debido a que el peatón tendrá mayor énfasis en lo que suceda con él dejando en segundo plano lo que sucede en su entorno. Caso contrario sucede cuando los valores de Tau son altos, la fuerza de impulso y la fuerza social tendrán una significancia similar frente al desplazamiento peatonal.

El software muestra tres características que señalan como afecta el parámetro Tau, lo cual se muestra a continuación:

- i. Cuando se aumenta el Tau, la aceleración de los peatones decrece.

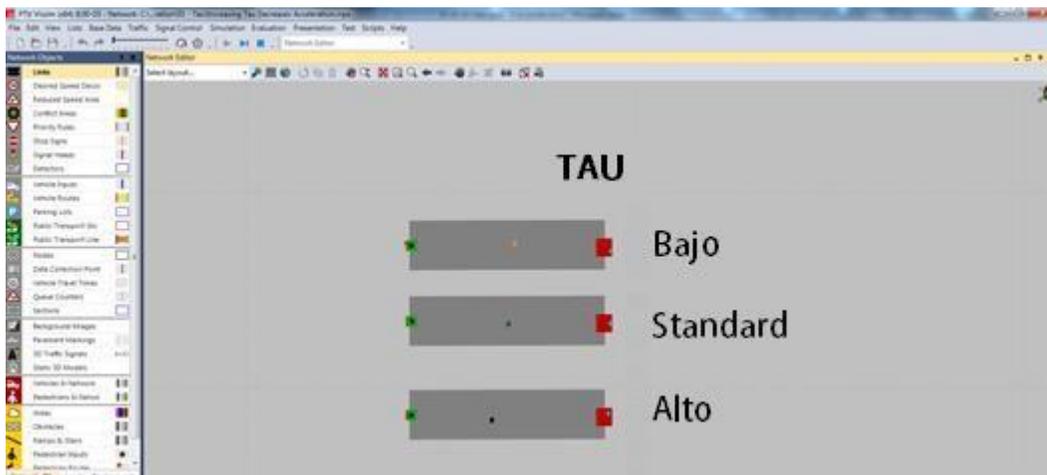


Figura 20. Variación de la aceleración respecto al cambio de Tau (Viswalk 8.0, 2016)

Como se aprecia en la Figura 19 a medida que el valor está creciendo, la aceleración y velocidad va decreciendo. Esto se debe numéricamente a que el Tau se ubica en el denominador de la Ecuación 3, debido a esta razón cuando se tengan valores altos de Tau los cocientes resultarán de valor pequeño.

- ii. Cuando se incrementa el Tau, la densidad de personas de disminuye.

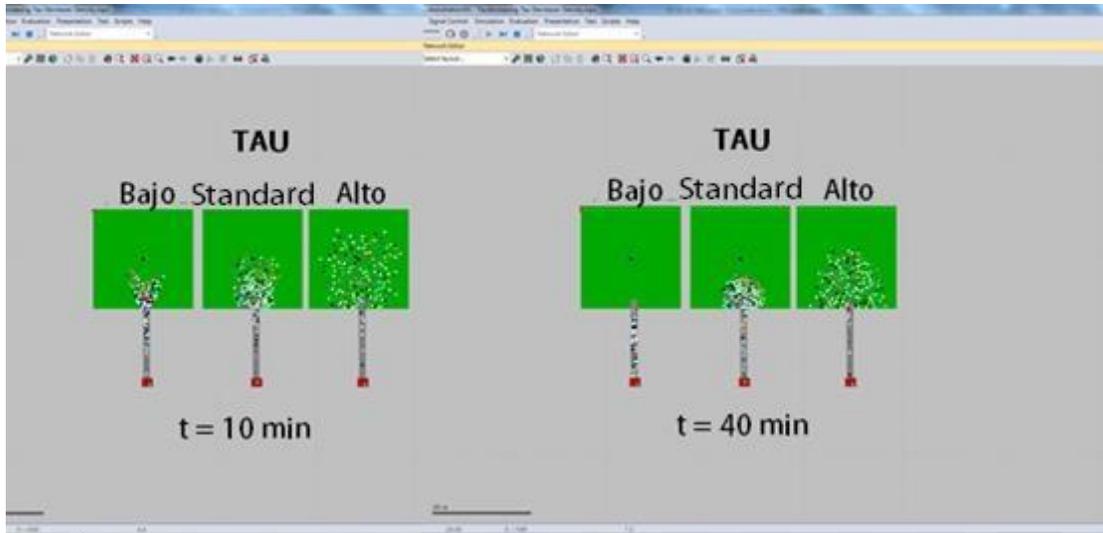


Figura 21. Variación de la densidad respecto al cambio de Tau (VisWalk 8.0, 2016)

En espacios donde el flujo peatonal es alto e ingresan a un cuello de botella. A un menor valor de Tau las personas se juntarán más entre sí, ya que tendrán más apuro por llegar a su destino y esto permite que los peatones estén completamente unidos.

- iii. Cuando se aumenta el tau, el radio de giro aumenta.

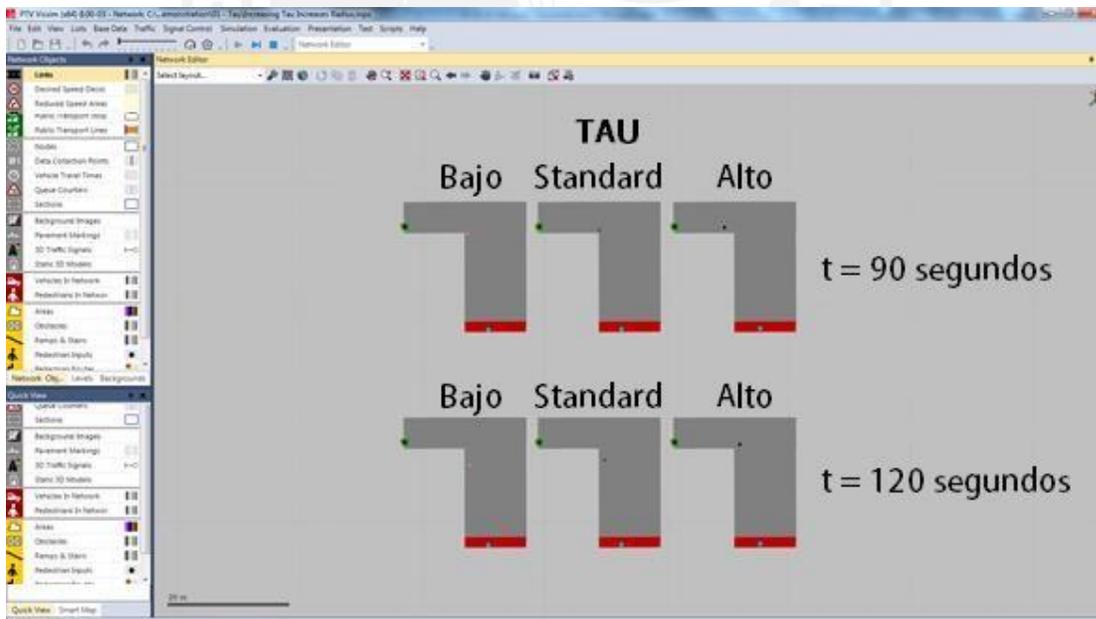


Figura 22. Variación del radio de giro respecto al cambio de Tau (Viswalk 8.0, 2016)

En la Figura 22 se puede apreciar que el radio de giro en una curva también depende del parámetro Tau. Cuando el valor es bajo el peatón irá a mayor velocidad y más pegado a la

esquina de volteo.

- **Lamba_mean** (λ), la función principal de este parámetro es considerar la influencia de las personas que se encuentran alrededor del peatón, cuando este se desplaza. Cuando los valores de Lamba son bajos, la influencia de las personas cercanas no es muy significativa y prácticamente nula de las personas que se encuentran detrás del peatón; mientras que cuando los valores de lamba son altos, todos los peatones que se encuentran alrededor tienen la misma influencia sobre el peatón.

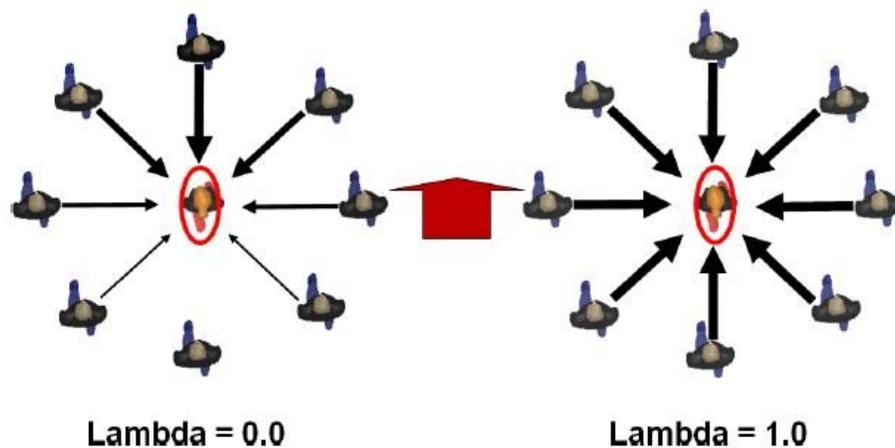


Figura 23. Efecto del parámetro lambda, según los valores asignados (Viswalk 8.0, 2016)

En los siguientes gráficos se tendrán en cuenta que las líneas gruesas indican mayor influencia hacia la dirección que apuntan; así como también se señala que la flecha roja indica una leve influencia hacia la dirección que señala.

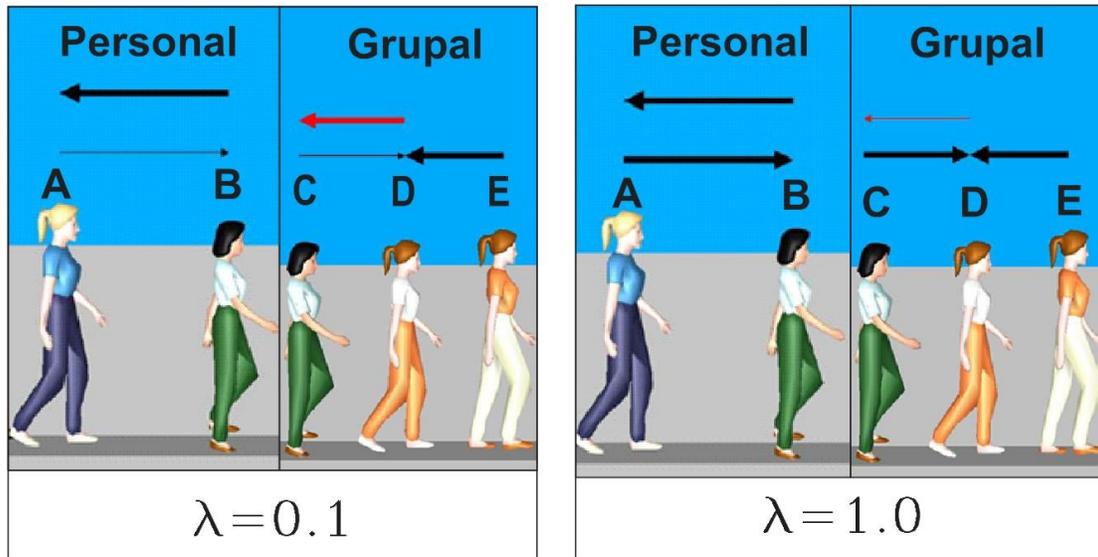


Figura 24. Interacción de peatones cuando se varía el valor de lambda (Viswalk 8.0, 2016)

De esta manera con un valor bajo de λ , el peatón B influirá en el andar del peatón A, no sucederá de manera contraria. En el cuadro grupal los únicos que influirán respecto a los peatones que traen detrás de ellos son los peatones D y E. Los peatones que se encuentran atrás tendrán una imperceptible influencia en los demás.

Cuando el valor de λ es alto, tanto el peatón A como el peatón B se verán influenciados por lo que pueda suceder en el espacio que hay entre ellos. En el caso grupal, los peatones que se encuentren entre dos o más, recibirán una gran influencia en su trayecto tanto por delante y atrás. Mientras que el peatón del medio no transmitirá ningún predominio hacia adelante y un leve, pero casi imperceptible, predominio hacia atrás.

En el software también se apreciará las características de este parámetro. Los cuales se muestran a continuación:

- i. Cuando lambda se incrementa, hace que el flujo de peatones sea más eficiente.

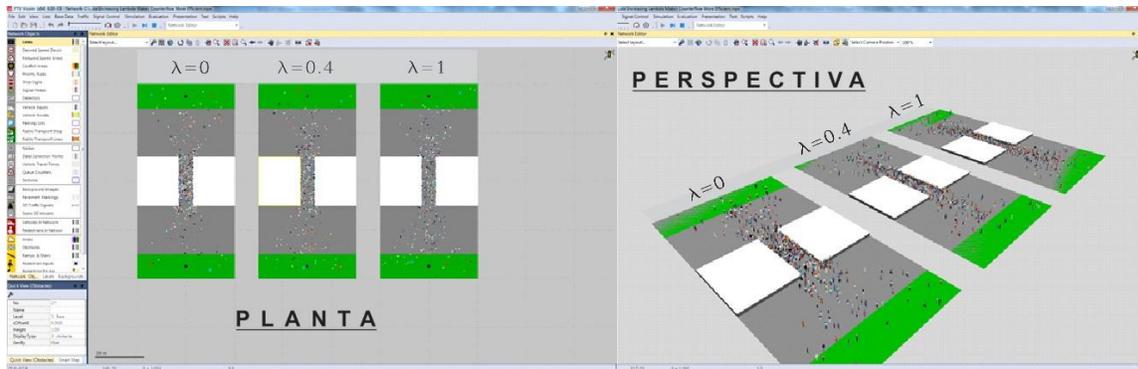


Figura 25. Lambda variable en un tiempo igual a 10 min (Viswalk 8.0, 2016)

Como se puede apreciar en ambas figuras, las personas recorrerán de manera más eficiente a medida que se aumente el valor de Lambda. Se organizarán mejor y se evitarán cuellos de botella como se aprecia en la planta de la Figura 25.

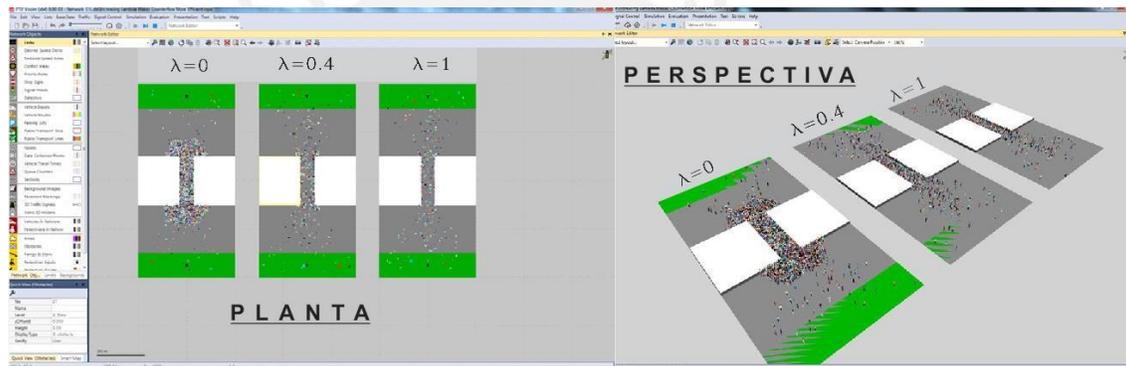


Figura 26. Lambda variable en un tiempo igual a 40 min (Viswalk 8.0, 2016)

- ii. Cuando se incrementa lambda, el flujo a través del cuello de botella depende del tamaño del paso.

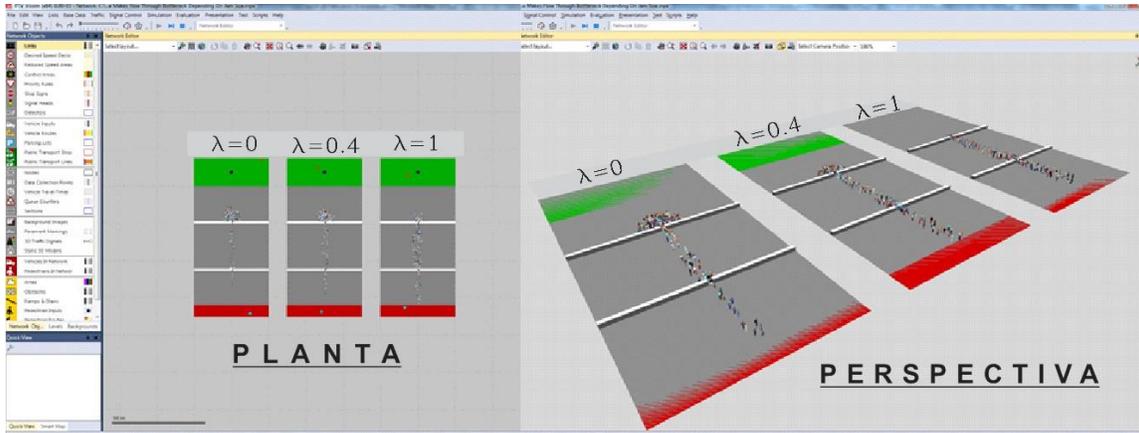


Figura 27. Lambda variable en un cuello de botella, se ajustará de acuerdo al paso (Viswalk 8.0, 2016)

El concepto de esta condición es similar a la eficiencia del peatón por avanzar en un lugar estrecho. Cuando aparezcan cuellos de botella, este parámetro ajustará a los peatones para aligerar ese tráfico peatonal.

iii. Cuando lambda aumenta, los peatones se empujan más.

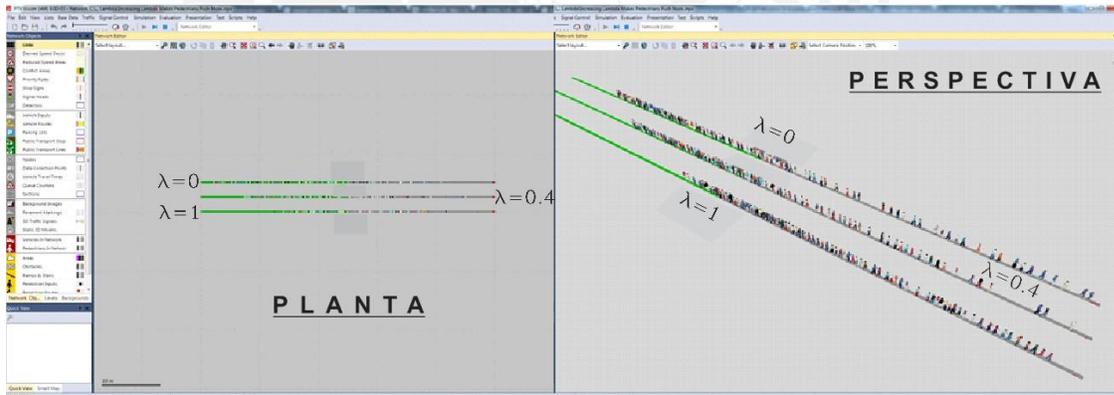


Figura 28. Lambda variable y su efecto cuando se empujan (Viswalk 8.0, 2016)

Como se aprecia en la Figura 28, este parámetro origina que los peatones caminen en orden, cuando el valor de lambda se incrementa los peatones se empujarán con la intención de poder avanzar más rápido; de manera contraria los peatones caminarán más pausados cuando el valor de lambda disminuya.

- **Noise**, para modelar la aleatoriedad se utiliza este parámetro. Determina la intensidad de la fuerza aleatoria. Estos valores aleatorios son graduados por el software y los cambios que se producen no se realizan en un tiempo corto. Este parámetro solo se considerará si

la velocidad de un peatón es considerablemente más lenta que la velocidad deseada durante un determinado tiempo. De esta manera se puede afirmar que las fuerzas al azar pueden evitar puntos muertos en un cuello de botella.

En el software se puede observar que cuando el Noise aumenta se evitan considerablemente los cuellos de botella y el tiempo de desplazamiento se realiza mucho más rápido.

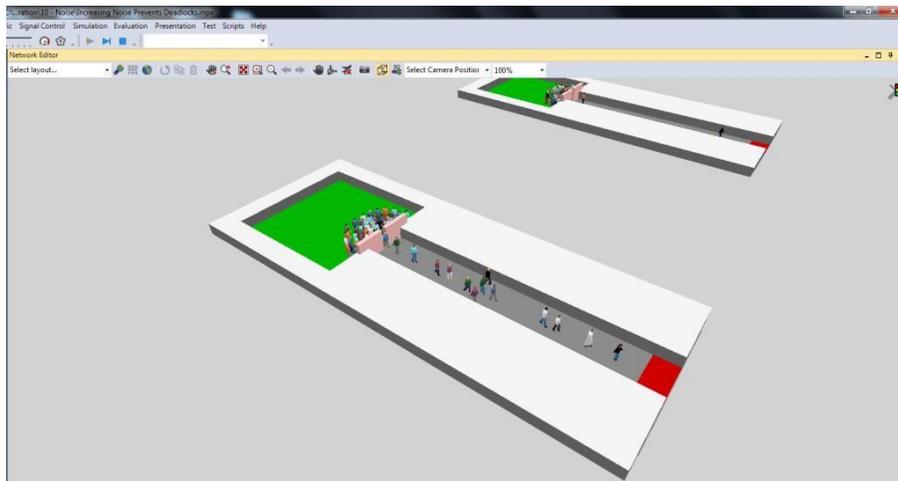


Figura 29. Modelo de ejemplo para observar la variación del parámetro Noise (Viswalk 8.0, 2016)

Los valores del parámetro funcionaran de acuerdo a la siguiente tabla:

Noise	Tiempo que desocupan los peatones el área (seg.)
0	320
2	180
5	125

Se apreciará que cuando el valor de Noise sea igual a cero, los peatones se quedarán varados en el inicio de la sección, ya que la fuerza de azar no es tan intensa y no les da más opción de movimiento.

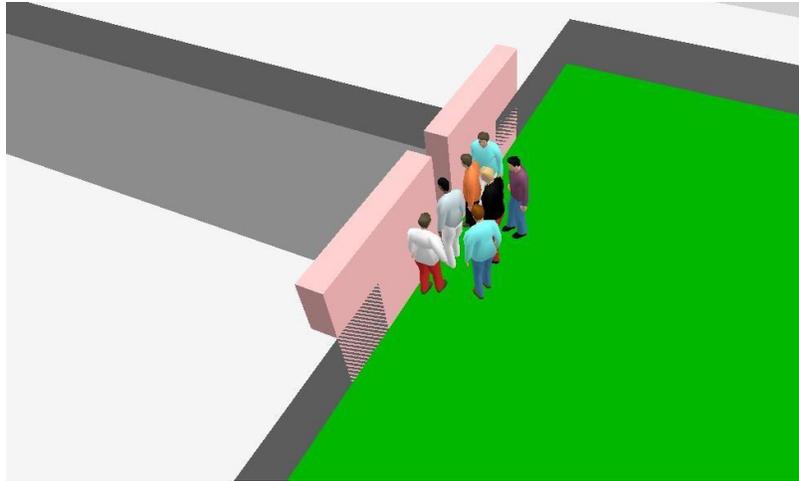


Figura 30. Peatones varados debido a que el valor de Noise es cero (VisWalk 8.0, 2016)

- **$A_{soc_isotropic}$ (A_i) y $B_{soc_isotropic}$ (B_i)**, el parámetro A_i determina la intensidad de la fuerza ($\frac{m}{s^2}$), mientras que el parámetro B_i representa el radio del cuerpo de un peatón (m). Estos dos parámetros en conjunto con λ_m , forman una fuerza F_1 , la cual es parte de la fuerza de repulsión entre dos peatones y se representa de la siguiente manera:

$$F_1 = A_i \times w \times \lambda_m \times n \times e^{-\frac{d}{B_i}} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde d es la distancia entre peatones y n es el vector unitario que apunta de un peatón a otro y w es mostrado en la ecuación 20.

- **VD** , parámetro que se mide en segundos (s). Tiene en consideración las velocidades relativas de los peatones y contribuye a la fuerza entre peatones. Al aumentar los valores de VD , los peatones en dirección contraria tratarán de evadir de manera más rápida el encuentro. Con el valor VD , se obtendrá el valor de d_m de la siguiente manera:

$$d_m = \frac{1}{2} \times \sqrt{[(d + |d - (v_1 - v_o) \times VD|)^2 - |(v_1 - v_o) \times VD|^2]} \quad \text{Ecuación 21}$$

Si $VD = 0$, el valor de d_m se igualará a la distancia entre peatones.

$$d_m = \frac{1}{2} \times \sqrt{[(d + d)^2]}$$

$$d_m = \frac{1}{2} \times \sqrt{4d^2} = d$$

- **A_{soc_men} (A_m) y B_{soc_mean} (B_m)**, parámetro que determina la fuerza y la amplitud de la fuerza social dependiente de la velocidad entre dos peatones. El parámetro A_m determina la intensidad de la fuerza (m/s^2), mientras que el parámetro B_m representa el rango de la fuerza (m). Estos dos parámetros en conjunto con VD forman la fuerza F_2 , que es parte de la fuerza de repulsión ya mencionada anteriormente.

$$F_2 = A_m \times w \times \lambda_m \times n \times e \quad \text{Ecuación 21}$$

Como un resumen de estos parámetros se añade el siguiente gráfico que explica la importancia y la manera de relacionarse, para obtener finalmente una Fuerza Repulsiva.

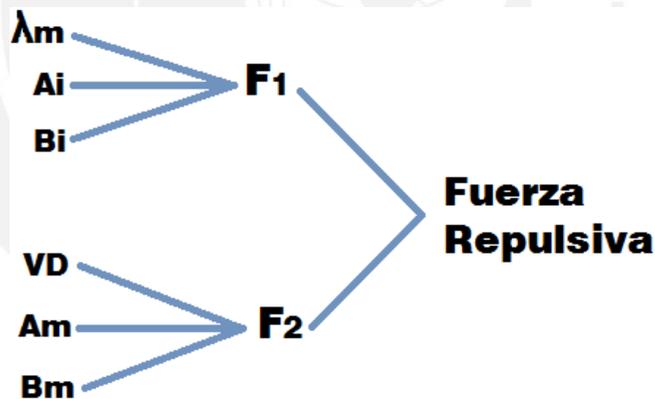


Figura 31. Esquema de parámetros que forman la Fuerza Repulsiva (Propia).

- **$React_to_n$** , es un parámetro que regula la cantidad máxima de personas más cercanas al peatón, las cuales ejercen fuerza de atracción o repulsión hacia la persona en mención. El máximo valor que tomará este parámetro es 8 ya que se ubica 8 celdas alrededor del peatón. Este servirá para mejorar la eficiencia computacional del programa.

- **$Queue_order$ and $queue_straightness$** , Estos parámetros permiten determinar la forma de las colas peatonales. El rango de los valores va desde 0 hasta 1, donde el valor más

grande indicas que las colas son más ordenadas.

- **Side_preference**, Este parámetro se tendrá en cuenta cuando un peatón desee adelantar a otro. El valor de -1, indica que los peatones prefieren transitar por el lado derecho, el 1 significa transitar por el lado izquierdo y por último el valor de 0 manifiesta un comportamiento libre.

2.3.3.3 Parámetros Globales

A comparación de los parámetros anteriores, estos influirán en todos los tipos de peatones.

- **Grid_size**, este parámetro determina la distancia máxima en la cual los peatones pueden tener influencia en el traslado del otro transeúnte. El tamaño de la grilla será un cuadrado con tamaño variable, la persona solo puede ser afectada por las grillas que tiene al lado. Un valor muy pequeño dará evidencia que los peatones evitaron muy tarde el encuentro o paso con otro.
- **Routing_large_grid**, es otro tipo de cuadrícula que describe los enlaces entre los diferentes elementos del modelo sin tener en cuenta la distancia real o su posición relativa entre sí. Este será definido por el usuario mediante el ajuste de exactitud del modelo, este podrá ser aumentado o disminuido.
- **Use_cache**, este parámetro tiene la función de reducir la memoria necesaria, sobre todo cuando se pone en ejecución la simulación, el valor que tomará deberá ser de 1. Al establecer este valor la distancia entre los puntos fijos de datos solamente se vuelve a calcular si se re-ejecuta la simulación si hubiera un cambio en la geometría.
- **Routing_step y routing_accuracy**, estos parámetros rigen sobre los cálculos de las distancias más cortas del peatón para llegar a un destino. Valores altos proporcionaran resultados más precisos. Para el routing_step los valores fluctúan de 2 a 5; mientras que para los routing_accuracy los valores van de 0 a 1.
- **Routing_obstacle_dist**, este parámetro evalúa de qué manera afecta un obstáculo cuando un peatón se desplaza. Esta medida solo se tomará en cuenta cuando se calcula la distancia más corta a un destino.
- **Routing_cell_size**, es un parámetro que afecta la selección de ruta. Se utiliza en el

cálculo de distancias de la ruta. Define la distancia entre puntos fijos, los cuales se utilizan para el cálculo de las distancias totales. De acuerdo al PTV AG (2012) el valor por defecto es 0.15m, estos también pueden cuando se encuentran vías estrechas que están en uso.

- **Never_walk_back**, este parámetro determina si los peatones se detienen o no cuando la diferencia entre la velocidad calculada y la dirección deseada es mayor a 90 grados.
- **Dynamic potencial**, el software brindará rutas cortas para que el peatón llegue a su destino, esto se conoce como potencial estático, la distancia al destino no cambia durante la ejecución de la simulación. Pero se sabe que en ocasiones el camino más corto no es el camino más rápido para llegar al destino deseado. Lo que se conoce como *Dynamic potencial*, es un elemento hace que los peatones estén continuamente evaluando la ruta que los lleve más rápido a su destino y no la más corta. (PVT, 2012). Es así que cuando el peatón una vez que se detenga en su trayecto por diversos motivos, el potencial dinámico volverá a recalcular y evaluar el trayecto para poder llegar al destino deseado buscando el tramo más pequeño.

Tabla 1. Característica de los parámetros.

Parámetro	Denotación	Valor por Defecto
Tiempo de Relajación	τ (tau)	0.4
Factor Anisotrópico	λ (lambda)	0.3
Fuerza de la interacción entre peatones	A	A_soc_mean = 0.4 A_soc_isotr = 1.6
Rango de la interacción entre personas	B	B_soc_mean = 2.8 B_soc_isotr = 0.2
Impacto de la velocidad relativa entre los peatones.	VD	3
Aleatoriedad	Noise	1.2
Cantidad de peatones que influyen en el entorno del peatón	React_to_n	8
Preferencia lateral	side_preference	0
Orden de la cola	queue_order	0.7
Rectitud de la cola	queue_straightness	0.6
Tamaño de la cuadrícula	grid_size	5

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación se desarrolla por etapas. La primera de ella sirve para adquirir conocimiento e información acerca del espacio público, la microsimulación peatonal, estadística inferencial y descriptiva; y finalmente, del uso del software VisWalk.

La segunda etapa consiste en extraer datos del campo en estudio, la cual se debe realizar de manera manual y con la ayuda de contómetros digitales. La toma de datos arrojará el número del flujo de peatones que transitan por una sección del Jirón de la Unión. Se elige esta vía porque la circulación de transeúntes varía de acuerdo al día y la hora, lo que permitirá obtener resultados más eficientes al momento de realizar la modelación.

La tercera etapa consiste en construir un modelo en el software VisWalk, donde se pueda observar de manera realista el tránsito peatonal en el Jirón de la Unión teniendo en cuenta las características que presenta el paseo peatonal.



Figura 32. Etapas de la investigación (Propia)

Una vez que se obtenga el modelo diseñado, se procede a verificar los datos que fueron introducidos en el modelo. En esta cuarta etapa se verifica que el modelo digital sea muy semejante al de la vida real y eso se comprueba con la validación y calibración del programa.

La quinta etapa, la más importante, consiste en variar los parámetros del VisWalk cuando el modelo ya esté correctamente diseñado, calibrado y validado. En esta etapa se tendrá principal prioridad en los parámetros Tau y Lambda, posteriormente se modificarán de la misma manera el parámetro Noise.

La última etapa consiste en un análisis estadístico, el cual debe arrojar resultados acerca de la sensibilidad que presente cada parámetro. Con estos resultados es posible apreciar cuál de ellos tiene mayor relevancia cuando se modifican los valores y cotejar cómo afecta al tránsito de los peatones y su desplazamiento.

3.1 Revisión de la información

Se reúne información para poder elaborar el marco teórico, lo cual consiste en leer libros, artículos en internet, videos relacionados, sesiones de laboratorio y tesis publicadas acerca del estudio del espacio, los peatones, la microsimulación peatonal y el entorno de trabajo en VisWalk. Todo ello con el objetivo de tener información de los temas señalados y de esta manera poder ejecutar el software de manera adecuada. La ejecución del software se realiza de manera progresiva, ya que se comienza modelando ejemplos simples; con lo que se aprende a detalle cada herramienta del programa.

Se debe señalar que la revisión de la literatura siempre estará propensa a modificaciones de acuerdo a como se desarrolle el tema de tesis. Finalmente, concluido el marco teórico y la ejecución del programa se comprobarán las hipótesis planteadas.

Gehl menciona, en una de sus publicaciones (2013), que una buena toma de datos se realiza cuando se recorre el espacio de estudio. En este análisis se anotará características que se presentan a simple vista como: el tráfico peatonal, los obstáculos a la hora de transitar, la variación de clima, la ubicación de los locales comerciales, etc.

3.2 Registro de los datos de campo

El registro de datos se realizó en un tramo del Jirón de la Unión que está comprendido entre los jirones Ucayali y Miro Quesada a una cuadra de la Plaza de Armas de Lima.



Figura 33. Ubicación para la toma de datos (Google Maps, 2016)

El conteo peatonal se realiza en días diferentes y de preferencia cuando el flujo de peatones también sea diferente. La toma de datos se realiza por un período de una hora por día, donde se anota los flujos peatonales cada 10 minutos. Se debe tener en consideración la temperatura del ambiente cuando se tome los datos.

Tabla 2. Datos de muestreo

	Toma 1	Toma 2
Día	7 de septiembre del 2016	11 de septiembre del 2016
Hora	15:25 - 16:25	13:20 - 14:20
Temperatura	17°C	18°C
Densidad	Media	Alta

El aforo peatonal se realiza de manera manual con la ayuda de un contómetro, se necesita una persona adicional para que trabaje con el mismo instrumento y haga más eficiente el conteo. Eso se ejecutó con el fin de recolectar con mayor exactitud el número de peatones ya que es un medio urbano donde transitan demasiadas personas.

3.1.1 Datos para la construcción del modelo

Los flujos que se toman son los que se dirigen del Jr. Ucayali hacia el Jr. Miró Quesada y viceversa. Debido que la vía está compuesta por diversos centros comerciales, financieros y otros, se toma en consideración a los peatones que ingresan al Tragamonedas Aventura, a la Casa O'Higgins, a la tienda de calzados Passarella y al Banco Interbank; y también cuando salen de estos establecimientos hacia los jirones mencionados.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la persona que toma los datos y donde están ubicados exactamente los establecimientos y las calles. También se muestra la dirección de los flujos peatones que se tomaron en cuenta.

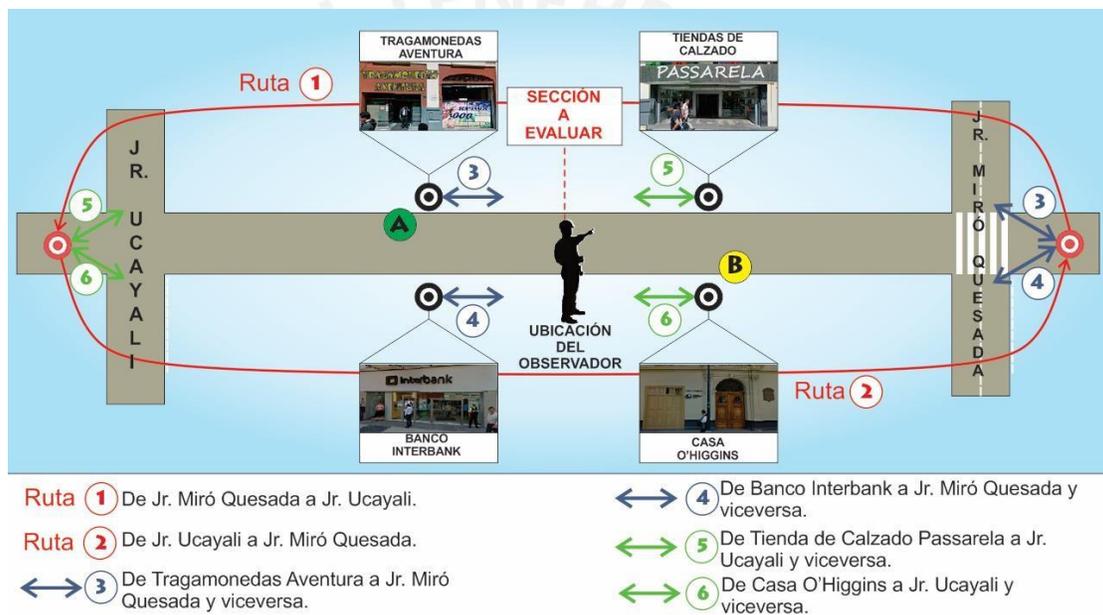


Figura 34. Distribución de flujos peatonales en la zona de estudio (Propia)

3.1.2 Datos para la calibración y validación del modelo

Los datos que se toman para la calibración y la validación también se ejecutan en días y horas distintas, con la finalidad de demostrar que VisWalk es capaz de simular dicho modelo en cualquier momento.

Por ello se registra el tiempo de 20 personas que se demoran en ir de A hacia B y de la misma cantidad de personas que van de B hacia A. Con esta variable de tiempo y con la distancia que hay entre A y B, la cual es de 15m, se obtiene la variable de velocidad. Con

estas dos variables y con la ayuda de StatKey, se logra verificar que el modelo este bien calibrado y/o validado.



Figura 35. Desplazamiento de peatones de A hacia B y viceversa (Google Maps, 2016)

Se debe tener en cuenta que en los dos días de medición se tendrá que hacer también este conteo con la intención de tener más precisión en los resultados de calibración. De manera similar y para corroborar estos datos se tomarán velocidades del mismo número de personas en otro tramo del Jirón de la Unión que cuente con la misma distancia.

CAPITULO 4: CONSTRUCCIÓN, CALIBRACIÓN y VALIDACIÓN DEL MODELO

Para tener un modelo aceptable, en el cual se pueda desarrollar el análisis de sensibilidad de los parámetros, se deberá modelar, calibrar y validar adecuadamente.

La calibración del modelo servirá para que el sistema de análisis se ajuste a un sistema de referencia; lo cual posteriormente será corroborado con la validación del modelo. Este último procedimiento permitirá corroborar que el sistema analizado sea similar a lo que sucede en la realidad (Guisado, 2015).

4.1 Construcción del Modelo

Con el software VisWalk se procederá con la elaboración del modelo, se procederá a explicar el procedimiento.

4.1.1 Configuración de simulación y evaluación

Antes de realizar cualquier maniobra se darán las configuraciones generales del modelo. En cuanto a la simulación se evaluará en un periodo de una hora (3600 segundos). Los aspectos que se tomarán en cuenta en la ejecución del modelo son la sección de medición y los tiempos de viaje del peatón.

Se deberá señalar que los primeros minutos los datos no son realmente confiables, ya que es necesario que transcurra un determinado intervalo de tiempo desde el inicio para que los datos se estabilicen y muestren la realidad. Este tiempo se denomina como periodo de calentamiento. En el presente proyecto se asignará una duración de 600 segundos.

El número de semilla seleccionado en nuestro ejemplo es 42 y tendrá saltos de 1 en 1. La utilidad de este número sirve para configurar la aleatoriedad del modelo el cual se obtiene de algoritmos matemáticos que estará variando de acuerdo al número inicial que se asigne.

El número de corridas dará a conocer cuántas veces se replicará la simulación tomando como resultados las medias y desviación estándar. Este número se calcula de la siguiente manera, teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95%:

$$n_{min} = \left(t_{\alpha/2} \times \frac{s}{e} \right)^2 \quad \text{Ecuación 22.}$$

n_{min} : Número mínimo de simulaciones

$t_{\alpha/2}$: t-student, el cual se obtiene de tablas.

s : Desviación estándar de la muestra en campo.

e : Margen de error, 10% de la media (segundos).

En un principio se propone realizar 20 corridas por cada combinación de parámetros, con la ecuación 22 se corroborará si esta propuesta es óptima, por lo que se realiza el siguiente cálculo:

$$n_{min} = \left(2.0244 \times \frac{0.5211}{0.498} \right)^2 = 4.48$$

Se obtiene que el número mínimo de corridas es aproximadamente igual a 5, por lo que se verifica que colocar 20 corridas es ampliamente suficiente para proceder con la simulación.

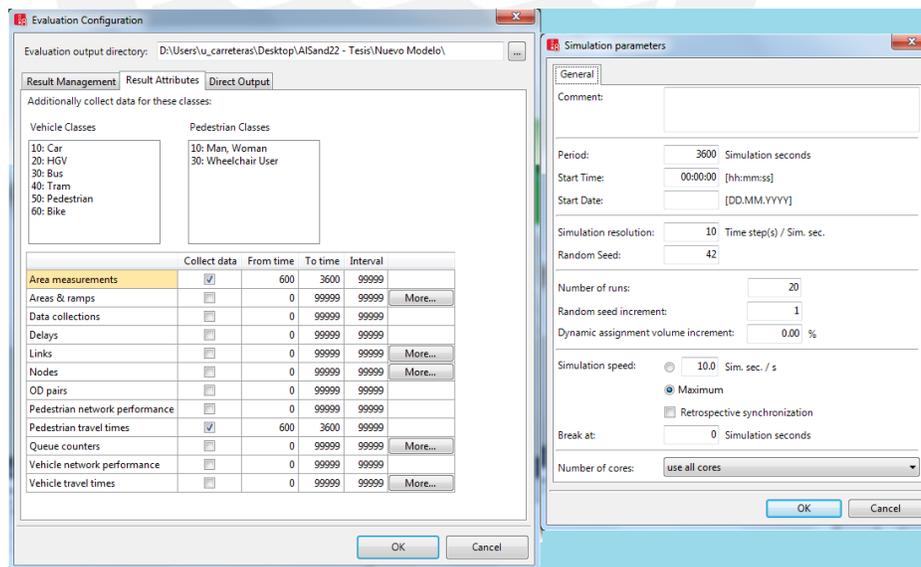


Figura 36. Configuración inicial del modelo (Vissim 8.0, 2016)

4.1.2 Construcción de las áreas

Se tendrá una imagen de un mapa del lugar de estudio, la cual se obtendrá de Google Maps u otros medios similares, esta tendrá que ser escalada. Una vez colocada la imagen, se dibujarán áreas que representen las salidas, llegadas y zonas de tránsito de los flujos peatonales. En el caso en estudio las personas caminan del Jirón Ucayali hacia el Jirón Miro Quesada y viceversa, dentro de este transitar algunas personas ingresan a diferentes lugares como: Tragamonedas Aventura, Calzados Pasarella, Banco Interbank o a la Casa O'Higgins.

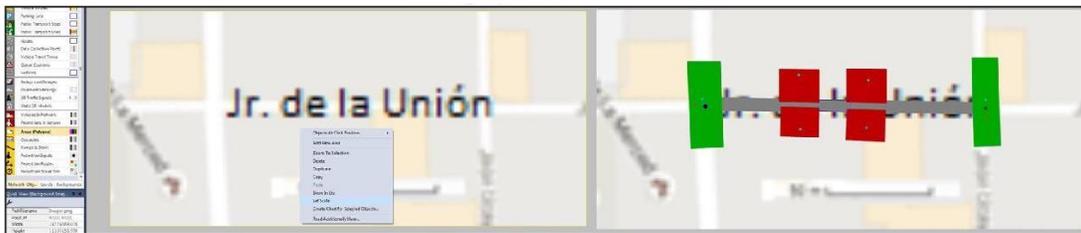


Figura 37. Escalado de imagen y creación de áreas (Vissim 8.0, 2016)

4.1.3 Creación de los datos de entrada y las rutas a seguir

Con las áreas colocadas debidamente guiadas por el plano, se procederá a señalar cuáles serán las áreas por donde saldrán los peatones con la opción *Pedestrian Inputs*. Se deberá indicar en que intervalo de tiempo se realizó la toma de datos, en la Figura 47 se observa que los datos se recolectaron cada 10 minutos.

Pedestrian Inputs / Pedestrian Volumes By Time Interval					
Coun	No	Name	Area	Volume(0)	PedComp(0)
1	1	2:	Jr. Ucayali	2130.0	1: Pedestrians
2	2	3:	Jr. Miro Quesada	1896.0	1: Pedestrians

Count	Cont	TimeInt	Volume	PedComp	VolType
1	<input type="checkbox"/>	0-600	2130.0	1: Pedestrians	Stochastic
2	<input type="checkbox"/>	600-1200	2592.0	1: Pedestrians	Stochastic
3	<input type="checkbox"/>	1200-1800	1914.0	1: Pedestrians	Stochastic
4	<input type="checkbox"/>	1800-2400	2136.0	1: Pedestrians	Stochastic
5	<input type="checkbox"/>	2400-3000	3162.0	1: Pedestrians	Stochastic
6	<input type="checkbox"/>	3000-MAX	2322.0	1: Pedestrians	Stochastic

Figura 38. Flujo de datos según los intervalos en los que se realizó la medición (Vissim 8.0, 2016)

De la misma manera señalar hacia donde se dirigirán los peatones con la opción de *Pedestrian Routes*. Se deberá indicar el porcentaje que tienen las rutas propuestas desde un punto de partida.

Coun	No	Area	AllPedTypes	PedClasses
1	1	2: Jr. Ucayali	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	2	3: Jr. Miro Quesada	<input checked="" type="checkbox"/>	

Count	No	RelFlow(0)
1	1	1.039
2	2	0.179
3	3	98.782

Figura 39. Porcentaje de las rutas seleccionadas (Vissim 8.0, 2016)

Finalmente se procederá a introducir el tipo de peatones que existe con sus debidos porcentajes. En este ámbito se considera a mujeres, varones, niños y discapacitados con sillas de ruedas.

4.1.4 Creación de la Distribución de la Velocidad Deseada

La velocidad deseada se entiende cómo el desplazamiento libre que tienen los peatones en su traslado, sin ningún tipo de obstáculo en su camino y sin ninguna parada. Esta medición se da del punto A hasta punto B, en un horario donde el flujo de peatones sea relativamente bajo. Esta medición se realizó el jueves 6 de octubre del 2016 a las 7:00am.

Tanto para la calibración como para la validación se utilizará la curva de distribución. En total se midieron 38 datos a una velocidad deseada. Una vez tabulados estos datos se obtendrán los siguientes valores que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos para la curva de velocidad deseada.

Datos	
Mínimo	3.228
Máximo	6.163
Media	4.984
Numero de Datos (N)	38

De los datos medidos, se obtuvieron velocidades que varían entre 3.23 km/hr hasta 6.16 km/hr. Para calcular aproximadamente el cálculo de intervalos se utilizará la Regla de Sturges como se muestra en la Tabla 4. Esto con el fin de obtener cuantos datos se tienen en cada intervalo.

Tabla 4. Intervalos mediante Sturges.

Regla de Sturges	
$1 + 3.332 * \log N$	
Número de Intervalos	6

El número 6 indica la cantidad de intervalos en los que se debe dividir la velocidad mínima y máxima. La cantidad de intervalos no deberá ser menor que este número, ya que la finalidad es que la curva de velocidad este correctamente representada.

Ya con los intervalos calculados, se procederá a calcular la frecuencia acumulada y relativa para formar la curva de distribución.

Tabla 5. Valores para la creación de la curva de velocidad deseada.

Miércoles, 7 de septiembre del 2016					
Limite Inferior	Limite Superior	fi	Fi	hi	Hi
3	3.5	1	1	0.0263	0.0263
3.5	4	0	1	0.0000	0.0263
4	4.5	4	5	0.1053	0.1316
4.5	5	15	20	0.3947	0.5263
5	5.5	14	34	0.3684	0.8947
5.5	6	2	36	0.0526	0.9474
6	6.5	2	38	0.0526	1.0000
		38		1	

La Tabla 5 presenta 7 intervalos, en esta se consideró velocidad mínima 3km/h y velocidad máxima 6.5 km/h las cuales están separadas por rangos de 0.5 km/h. También se logra apreciar que la frecuencia de la velocidad toma sus valores picos por la zona de velocidades promedio, a la vez que tiene la forma similar a una distribución normal. Con esos datos se podrá obtener los porcentajes acumulados de cada velocidad, la cual se introducirá en la configuración para la distribución de velocidad deseada, tal como se muestra en la Figura 40.

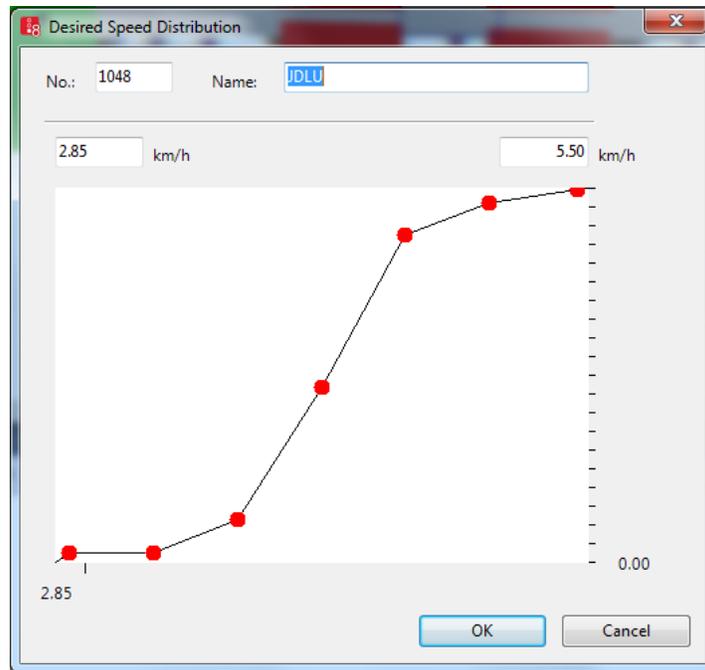


Figura 40. Curva de velocidades deseadas (VisWalk 8.0, 2016)

En este gráfico se logra apreciar que las velocidades deseadas promedio están en un rango de probabilidad que varía desde el 20% al 80%. De la misma manera se observa que presenta una forma similar a las curvas de distribución de Fruin.

4.2 Calibración del modelo

Se utilizará la velocidad de los peatones para la calibración del modelo. Las velocidades fueron medidas desde el punto A hasta el punto B como se aprecia en la Figura 35. Solo se considerará los datos obtenidos el primer día de medición, en total 40 datos, lo cual arroja una media de 3.989 km/h y una desviación estándar de 0.653.

Con la herramienta “Section” se establecerá el área de medición, rectángulo de color azul (Figura 41), en la cual se medirán las velocidades. La longitud del área es 15 metros y el ancho por defecto.

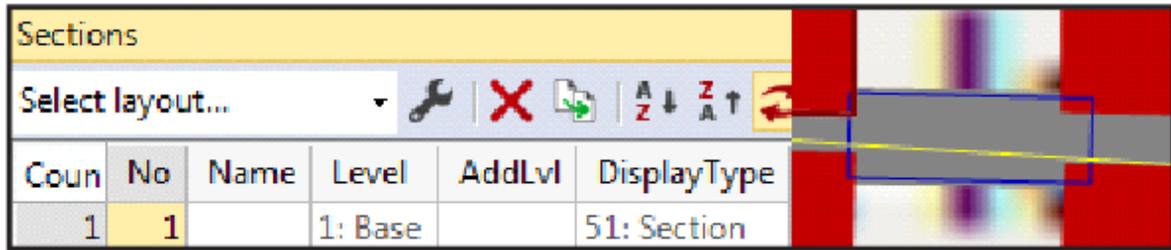


Figura 41. Sección donde se analizarán las velocidades (Vissim 8.0, 2016)

Colocada ya las características geométricas de la sección, se procederá a introducir las velocidades obtenidas en el muestreo. Estos datos se presentan a continuación en un histograma y se obtiene lo que se puede apreciar en la Figura 42.

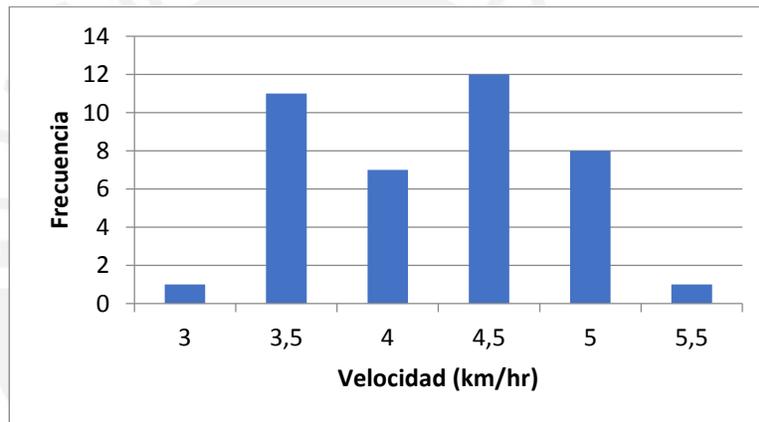


Figura 42. Histograma que representa una gráfica de distribución normal para la calibración (Propia).

Se tendrá que corroborar que estas velocidades presenten una distribución normal, para ello se utilizará el software Minitab. Específicamente se usará la opción de prueba de normalidad con los datos tomados en campo para la calibración.

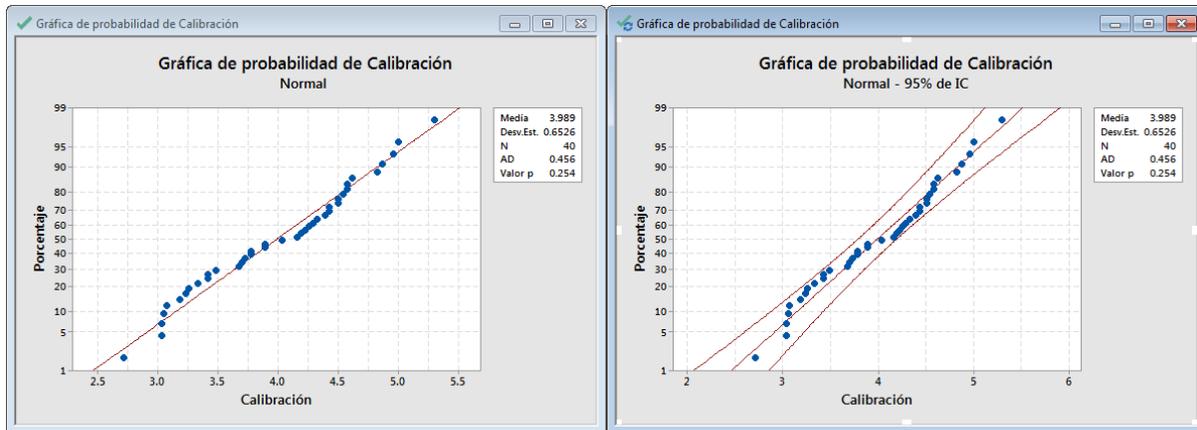


Figura 43. Prueba de normalidad según Anderson-Darling (Minitab, 2016)

Como se aprecia en la Figura 50 los datos tomados representan una muestra normal ya que se introdujo un nivel de confianza del 95%. El estadístico de Anderson-Darling dice que si el p-value es menor a 0.05 (en este caso) la muestra no será normal. Pero cotejando con los resultados obtenidos se obtiene que el valor de p es igual a 0.254; además se tiene un valor estadístico es 0.456 que reafirma las características de una distribución normal.

De manera similar y gráficamente también se puede apreciar que los datos están dentro lo admisible para ser considerada normal, porque los datos siguen la recta de distribución y se encuentran dentro de los márgenes superior e inferior.

4.2.1 Prueba de Calibración

Para realizar esta prueba se necesitará las velocidades tomadas en campo y las velocidades que se obtendrán del software. Para tener correctamente los datos del VisWalk se colocará correctamente la curva de velocidad deseada de los peatones. Esta prueba es denominada, con su nombre en inglés, Randomization Test; la cual verificará que la diferencia de medias de los elementos tomados en campo como los obtenidos en laboratorio se encuentre dentro del intervalo de confianza.

Para realizar esta comprobación se utilizará el software online llamado StatKey. Este trabaja de forma aleatoria con las dos medias, las mezcla aleatoriamente y produce una nueva curva de distribución con la diferencia de las medias.

Se debe tener en consideración que los principales parámetros para calibrar son la curva de velocidad deseada y los parámetros de comportamiento (tau, lambda, etc.).

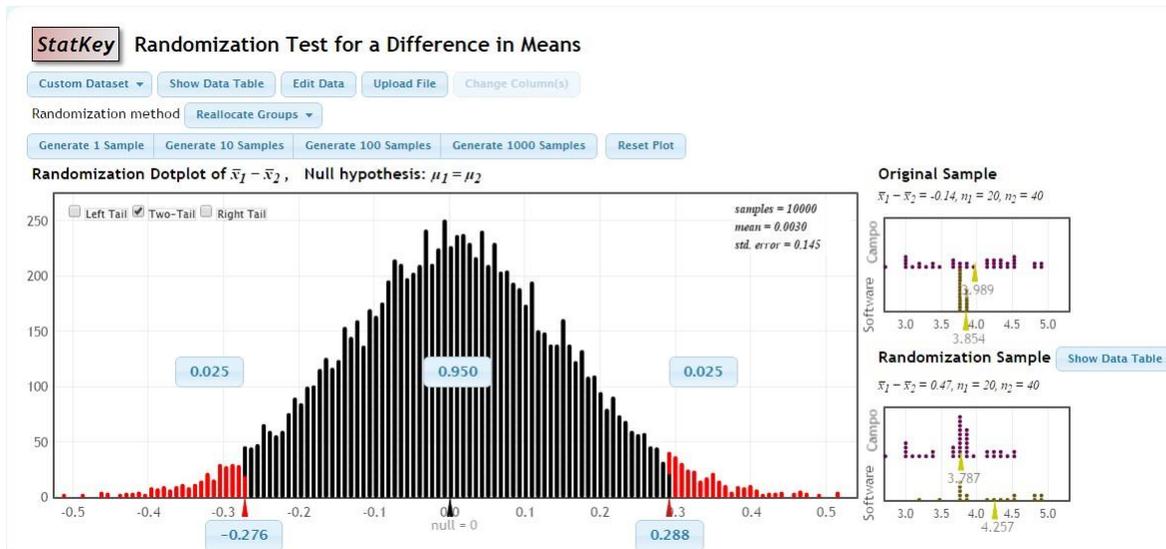


Figura 44. Verificación de la calibración usando el software StatKey (StatKey, 2016)

Con las hipótesis planteadas:

- H_0 : Las medias de ambos grupos son iguales.
- H_1 : Las medias de ambos grupos no son iguales.

La Figura 45 muestra que la diferencia es 0.14 y está dentro de los márgenes de confiabilidad del 95%. Otra manera de verificar es con el valor del p-value y con las hipótesis planteadas anteriormente. Si el p-value es mayor a 0.05, se aceptará la hipótesis nula, de caso contrario se rechazará la hipótesis nula.

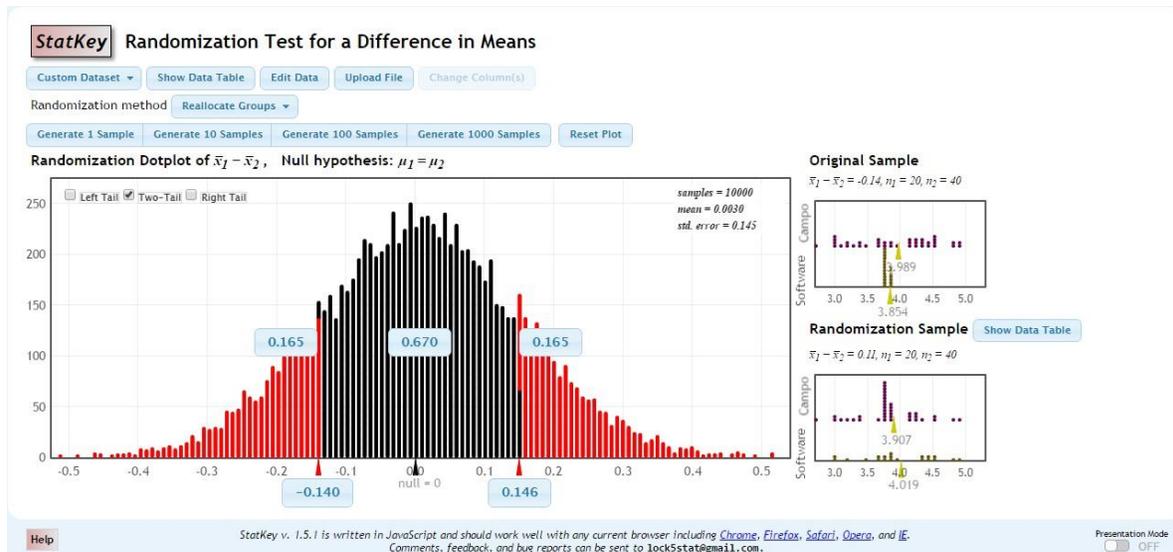


Figura 45. Verificación del p-value para la calibración (StatKey, 2016)

Como se aprecia en la Figura 52 el p-value es 0.67, por lo que se aceptará la hipótesis nula y se verifica que las medias de los datos de campo y del software son iguales.

4.3 Validación del Modelo

Esta prueba se realiza de manera similar a la calibración del modelo, en principio se analizará en la misma sección de 15m de largo, pero con diferentes velocidades y flujos peatonales.

Se utilizará la velocidad de los peatones para la calibración del modelo.

Esta velocidad se midió desde el punto A hasta el punto B como se aprecia en la Figura 35. Solo se considerará los datos obtenidos el primer día de medición, en total 84 datos, lo cual arroja una media de 3.732 km/h y una desviación estándar de 0.831.

Estos datos se presentan a continuación en un histograma y se obtiene lo que se puede apreciar en la Figura 55.

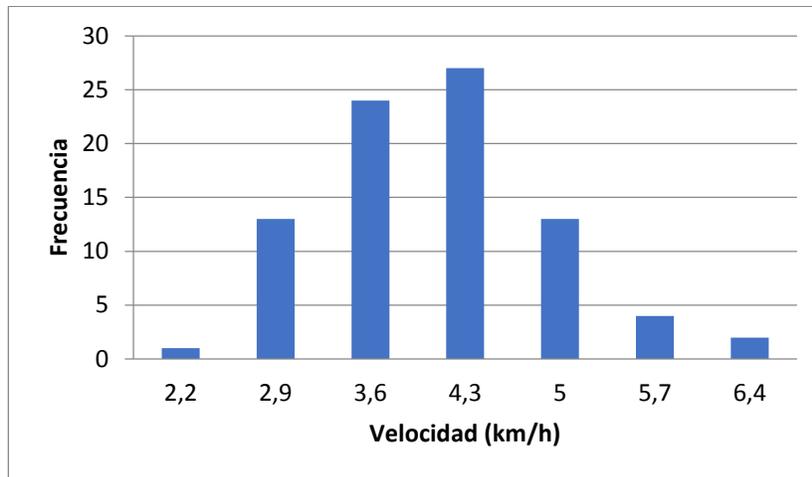


Figura 46. Histograma de distribución normal para la validación.

Se corrobora que los datos tomados tengan una distribución normal, para ello se utilizará nuevamente el software Minitab, se volverá a utilizar la opción de prueba de normalidad con los datos tomados en campo para la validación.

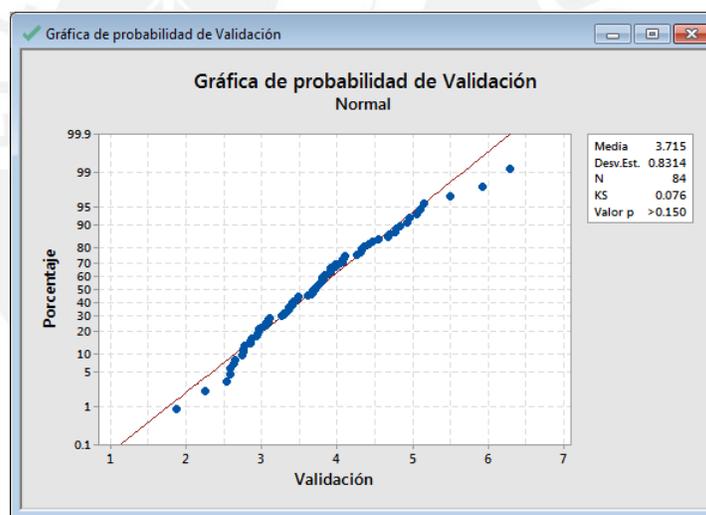


Figura 47. Prueba de normalidad según Kolmogorov - Smirnov (Minitab, 2016)

Como se aprecia en la Figura 47 los datos tomados representan una muestra normal ya que se introdujo un nivel de confianza del 95%. El estadístico de Kolmogorov - Smirnov dice que si el p-value es menor a 0.05 (en este caso) la muestra no será normal. Pero cotejando con los resultados obtenidos se obtiene que el p-value es igual a 0.15, con lo que se acepta la hipótesis nula que señala que la prueba es normal.

4.3.1 Prueba de Validación

Esta parte se podrá trabajar con el mismo modelo con el que se calibro, ya que presenta la misma geometría y cuenta con la misma curva de velocidad. Lo único que cambiará es el tamaño del flujo peatonal y se ejecutará. Con los datos obtenidos se realizará Randomization Test en el StatKey.

Con este procedimiento se corroborará que el modelo creado sea muy compatible con el de la realidad.

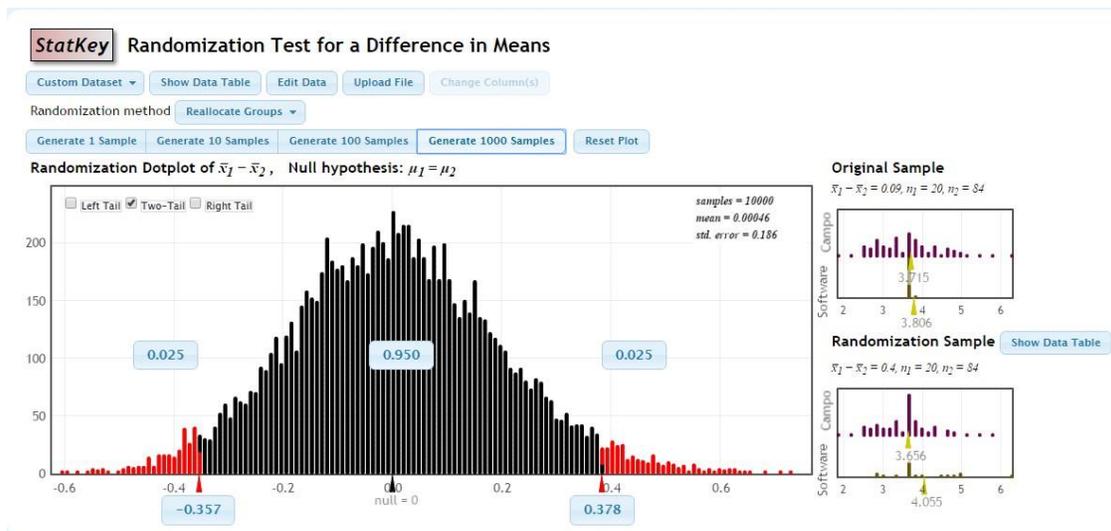


Figura 48. Verificación de la validación usando el software StatKey (StatKey, 2016)

Con las hipótesis planteadas:

- H_0 : Las medias de ambos grupos son iguales.
- H_1 : Las medias de ambos grupos no son iguales.

La Figura 48 muestra que la diferencia es 0.09 y está dentro de los márgenes de confiabilidad del 95%. Otra manera de verificar es con el valor del p-value y con las hipótesis planteadas anteriormente. Si el p-value es mayor a 0.05, se aceptará la hipótesis nula, de caso contrario se rechazará la hipótesis nula.

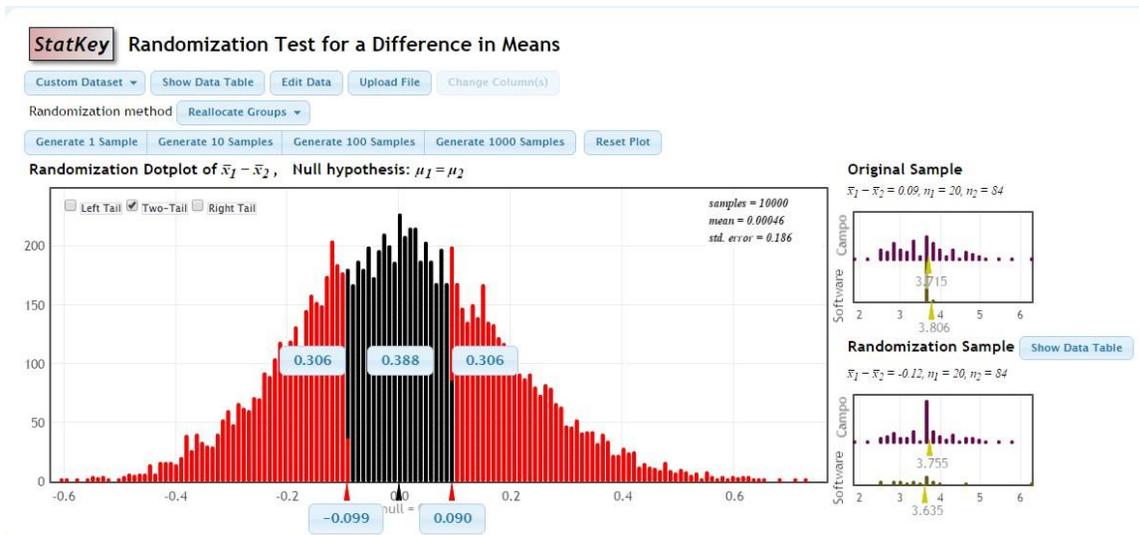


Figura 49. Verificación del p-value para la validación (StatKey, 2016)

Como se aprecia en la Figura 49 el p-value es 0.67, por lo que se aceptará la hipótesis nula y se verifica que las medias de los datos de campo y del software son iguales.

CAPITULO 5: RESULTADOS

5.1 Análisis de Sensibilidad

En el presente capítulo se darán a conocer los resultados del juego de parámetros, una vez calibrado y validado el modelo correctamente. Los parámetros por tipo de peatones tales como el Tau (τ), Lambda (λ) y Noise son los que se analizarán de acuerdo a las combinaciones que se presenten. Estas variaciones permitirán definir y verificar cual de esos parámetros es más influyente en el modelo.

Cabe mencionar que para el análisis existen pruebas de comparación de más de dos medias, como son en el ANOVA para casos paramétricos y la prueba de Kruskal-Wallis para modelos no paramétricos (Marshall, 2010).

Como se mencionó anteriormente se trabajará con la prueba ANOVA, esta prueba exige que los datos presenten una distribución normal, que las varianzas deben mantenerse iguales y que las muestras deben ser independientes. Esta prueba servirá para verificar si existe una diferencia significativa entre las medias cuando se varían los parámetros en diferentes circunstancias (Alcalá, 2004)

Para el análisis se considerará que los parámetros Tau y Lambda tienen valores que se encuentran dentro de un rango de 0 a 1, por lo que se variará cada 0.1 partiendo desde 0 hasta llegar a la unidad; por otro lado, el parámetro Noise no presenta un límite fijo y por ello variará cada 0.5, con inicio en 0 y termino en 5.

5.1.1 Un parámetro variable y dos parámetros constantes

Cada combinación tendrá un determinado número de grupos. El número de grupos está definido de la siguiente manera:

- Para Tau serán 10 grupos ya que este variará cada 0.1 con un valor inicial de 0 y un valor final de 0.9, no se llegará hasta la unidad porque la capacidad del software no permite modelar con dicha combinación.
- Para Lambda serán 11 grupos ya que este variará cada 0.1 con un valor inicial de 0 y un valor final de 1.

- Para Noise serán 11 grupos ya que este variará cada 0.5 con un valor inicial de 0 y un valor final de 5.

Una vez definido los grupos, se definirá la cantidad de datos que contiene cada grupo. El número de datos son el número de corridas realizadas, la cual se determinó anteriormente con un valor de 20.

Con la información previa se analiza las diferentes combinaciones en Minitab y se plantean las siguientes hipótesis:

- H_0 : Todas las medias son iguales.
- H_1 : Al menos dos de las medias son distintas.

Estas hipótesis serán aceptadas o rechazadas según los resultados que presente cada combinación de parámetros. Con lo cual se demostrará la variabilidad que tiene cada parámetro si se alteran sus valores.

5.1.1.1 Primer caso: τ variable, λ y Noise variables.

Esta combinación tendrá como valor variable al parámetro τ , pero mantendrá estático los valores por defecto de $\lambda = 0.176$ y $Noise = 1.2$. Con estos valores constantes se obtuvo un modelo calibrado y validado, por ello es que se consideran esos números.

Tabla 6. Velocidades medias para Tau variable.

Tau variable, Lambda = 0.176 y Noise = 1.2										
#Corridas / Tau	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	4.09	4.04	3.96	3.91	3.86	3.8	3.77	3.74	3.64	3.54
2	4.09	4.04	3.98	3.91	3.88	3.83	3.76	3.73	3.71	3.64
3	4.09	4.05	3.98	3.93	3.88	3.83	3.8	3.68	3.70	3.63
4	4.1	4.05	3.98	3.92	3.88	3.82	3.78	3.74	3.65	3.59
5	4.09	4.04	3.97	3.91	3.84	3.8	3.75	3.68	3.63	3.56
6	4.07	4.02	3.96	3.89	3.85	3.8	3.73	3.71	3.65	3.57
7	4.08	4.04	3.98	3.91	3.84	3.82	3.76	3.71	3.66	3.57
8	4.07	4.03	3.95	3.89	3.84	3.77	3.71	3.69	3.63	3.51
9	4.09	4.03	3.97	3.91	3.87	3.82	3.76	3.71	3.61	3.55
10	4.09	4.04	3.98	3.91	3.85	3.83	3.75	3.73	3.61	3.50
11	4.09	4.03	3.97	3.92	3.84	3.81	3.75	3.69	3.63	3.59
12	4.08	4.03	3.97	3.89	3.85	3.81	3.72	3.67	3.58	3.51
13	4.08	4.04	3.97	3.89	3.84	3.8	3.74	3.68	3.61	3.56
14	4.08	4.03	3.96	3.91	3.85	3.81	3.75	3.73	3.63	3.56
15	4.08	4.03	3.96	3.91	3.84	3.8	3.73	3.67	3.62	3.57
16	4.09	4.04	3.99	3.93	3.87	3.8	3.76	3.7	3.65	3.57
17	4.09	4.04	3.98	3.92	3.86	3.8	3.77	3.68	3.63	3.54
18	4.08	4.03	3.97	3.91	3.85	3.79	3.76	3.68	3.63	3.57
19	4.08	4.03	3.96	3.88	3.86	3.76	3.75	3.69	3.65	3.55
20	4.07	4.01	3.95	3.88	3.84	3.77	3.67	3.67	3.61	3.61

La Tabla 6 muestra los resultados de las 20 corridas cuando el tiempo de relajación se ha mantenido variable. De lo cual se percibe que las velocidades medias van adquiriendo menores magnitudes, aproximadamente disminuye un 13% comparando los valores de $\tau = 0.05$ y $\tau = 0.9$.

También se puede apreciar que para valores de τ entre 0 y 0.5, las velocidades son prácticamente iguales ya que sus valores mínimos y máximos varían solo en 0.03 km/h; mientras que los valores de τ entre 0.6 y 0.9 las velocidades tienen un margen entre el mínimo y el máximo de 0.1 km/h, no es una cifra muy representativa, pero son detalles que se puede apreciar en esta tabla.

Con los datos ya tabulados se procederá a manejar el programa Minitab para dar una respuesta a las hipótesis planteadas. Ya analizados los datos se obtiene lo siguiente:

Tabla 7. Resultados de Minitab cuando el parámetro τ es variable.

Factor	Levels	Values
Tau	10	0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Tau	9	5.29681	0.588535	1247.85	0.000
Error	190	0.08961	0.000472		
Total	199	5.38643			

Se puede apreciar que esta tabla muestra los valores de τ que han ido variando; de la misma manera se aprecia la suma de cuadrados (Adj SS), la estimación de las varianzas (Adj MS), el valor del estadístico (F-Value) y el p-value. Siendo de todos estos datos el más importante para el análisis el $F_{value} = F_{cal} = 1247.85$, el cual se comparará con valores standard para poder dar respuesta a las hipótesis.

De la tabla de Fisher se obtiene que el valor crítico con un nivel de confianza del 95% y sus respectivos grados de libertad, es igual a:

$$F_{crítico(0.05) 9,190} = 1.88$$

Por lo tanto, se conoce que si $F_{cal} > F_{crítico}$ se rechazará la hipótesis H_0 . Según los valores logrados se concluye que las medias no son iguales y son considerablemente dispares porque la diferencia entre 1247.85 es muy elevado respecto al valor de 1.88.

5.1.1.2 Segundo caso: Lambda (λ) variable, τ y Noise variables.

De manera similar al parámetro anterior, esta combinación tendrá como valor variable al parámetro λ , pero mantendrá estático los valores por defecto de $\tau = 0.4$ y $Noise = 1.2$. Con estos valores constantes se obtuvo un modelo calibrado y validado, por ello es que se consideran esos números.

Tabla 8. Velocidades medias para Lambda variable.

Lambda variable, Tau = 0.4 y Noise = 1.2											
#Corridas / Lambda	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	3.837387	3.863928	3.8836	3.877414	3.88	3.908557	3.901933	3.917411	3.935063	3.94977	3.951641
2	3.849904	3.862409	3.890398	3.866455	3.910085	3.91281	3.92416	3.926231	3.937347	3.94036	3.965971
3	3.851113	3.848101	3.885561	3.899875	3.902462	3.91723	3.91843	3.942174	3.952489	3.948882	3.981525
4	3.859496	3.88327	3.889421	3.908034	3.904333	3.924683	3.912783	3.934105	3.962024	3.955311	3.970924
5	3.79706	3.842483	3.854806	3.881407	3.890076	3.895444	3.915502	3.915738	3.933324	3.936126	3.941262
6	3.80339	3.838115	3.842258	3.866842	3.877592	3.892219	3.90008	3.92103	3.936122	3.943834	3.931783
7	3.817189	3.855047	3.874846	3.877332	3.889131	3.895792	3.914333	3.915097	3.933885	3.928824	3.954629
8	3.801782	3.833694	3.827841	3.841176	3.872896	3.873004	3.888371	3.899055	3.921773	3.928046	3.9216
9	3.834552	3.85544	3.842951	3.887108	3.888653	3.89903	3.902621	3.922052	3.909019	3.953286	3.940137
10	3.822867	3.868509	3.87255	3.889681	3.902363	3.898828	3.921178	3.926165	3.940848	3.947923	3.950913
11	3.816691	3.846285	3.867819	3.864177	3.885409	3.913073	3.90683	3.922553	3.926975	3.945054	3.95324
12	3.826346	3.841966	3.834338	3.85414	3.87503	3.905901	3.905203	3.92096	3.931131	3.936316	3.928499
13	3.830222	3.833438	3.856202	3.877562	3.890937	3.892045	3.911845	3.919169	3.934631	3.923156	3.934378
14	3.833241	3.836982	3.851057	3.867028	3.877255	3.893836	3.910959	3.91207	3.930275	3.942608	3.93489
15	3.810608	3.837928	3.855257	3.875452	3.885691	3.880149	3.906444	3.906821	3.911519	3.926892	3.959923
16	3.837207	3.84932	3.863093	3.876642	3.899211	3.905595	3.923406	3.928182	3.935169	3.946316	3.947213
17	3.817472	3.846466	3.879158	3.878069	3.904117	3.910828	3.91736	3.929691	3.934112	3.935751	3.953167
18	3.815065	3.849971	3.842855	3.879846	3.865164	3.902924	3.905148	3.91772	3.925448	3.947848	3.938979
19	3.823434	3.82127	3.834077	3.863377	3.872589	3.894779	3.89968	3.913462	3.931044	3.922939	3.934213
20	3.790824	3.802818	3.842367	3.8408	3.858695	3.86782	3.902087	3.901984	3.918451	3.915318	3.922074

La Tabla 8 muestra los resultados de las 20 corridas cuando el factor de anisotropía se ha mantenido variable. De lo cual se percibe que las velocidades medias van adquiriendo mayores magnitudes, aproximadamente se eleva un 3% comparando los valores de $\lambda = 0$ y $\lambda = 1$.

También se puede apreciar que para valores de λ entre 0 y 1, las velocidades son prácticamente iguales ya que sus valores mínimos y máximos varían solo entre 0.04 - 0.06 km/h.

Con los datos ya tabulados se procederá a manejar el programa Minitab para dar una respuesta a las hipótesis planteadas. Ya analizados los datos se obtiene lo siguiente:

Tabla 9. Resultados de Minitab cuando el parámetro Lambda es variable.

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Lambda	11	0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lambda	10	0.31918	0.031918	143.56	0.000
Error	209	0.04647	0.000222		
Total	219	0.36565			

Se puede apreciar que esta tabla muestra los valores de Lambda que han ido variando; de la misma manera se aprecia la suma de cuadrados (Adj SS), la estimación de las varianzas (Adj MS), el valor del estadístico (F-Value) y el p-value. Siendo de todos estos datos el más importante para el análisis el $F_{value} = F_{cal} = 143.56$, el cual se comparará con valores standard para poder dar respuesta a las hipótesis.

De la tabla de Fisher se obtiene que el valor crítico con un nivel de confianza del 95% y sus respectivos grados de libertad, es igual a:

$$F_{crítico(0.05)_{10,209}} = 1.831$$

Por lo tanto, se conoce que si $F_{cal} > F_{crítico}$ se rechazará la hipótesis H_0 . Según los valores logrados se concluye que las medias no son iguales y son considerablemente dispares porque la diferencia entre 143.56 es muy elevado respecto al valor de 1.831.

5.1.1.3 Tercer caso: *Noise* variable, λ y τ variables.

De manera similar al parámetro anterior, esta combinación tendrá como valor variable al parámetro *Noise*, pero mantendrá estático los valores por defecto de $\tau = 0.4$ y $\lambda = 0.176$. Con estos valores constantes se obtuvo un modelo calibrado y validado, por ello es que se consideran esos números.

Tabla 10. Velocidades medias para Noise variable.

Noise variable, Tau = 0.4 y Lambda = 0.176											
#Corridas / Noise	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1	3.850036	3.871697	3.876862	3.87009	3.871427	3.8712	3.876121	3.885637	3.880253	3.930258	3.907032
2	3.863051	3.876125	3.881994	3.867855	3.879535	3.880441	3.874285	3.882393	3.876068	3.92995	3.938514
3	3.85386	3.897809	3.895151	3.880901	3.893508	3.881858	3.901234	3.880362	3.892647	3.936815	3.932428
4	3.88449	3.871421	3.880608	3.87774	3.883284	3.892777	3.904228	3.895553	3.896173	3.93811	3.950913
5	3.823958	3.85102	3.851341	3.833701	3.865648	3.87058	3.862643	3.86748	3.876299	3.917488	3.913213
6	3.831852	3.849457	3.819196	3.853289	3.844642	3.849573	3.862135	3.850862	3.856525	3.906616	3.910087
7	3.865647	3.854174	3.85052	3.857949	3.87619	3.85546	3.869047	3.873025	3.862961	3.928479	3.922945
8	3.841736	3.821203	3.832083	3.825885	3.849236	3.843077	3.850751	3.847211	3.845195	3.897172	3.900384
9	3.833804	3.844056	3.857296	3.87011	3.859574	3.845044	3.866201	3.86912	3.879152	3.928932	3.914063
10	3.853284	3.850994	3.861656	3.860053	3.858444	3.856779	3.871256	3.882041	3.893597	3.928067	3.934378
11	3.851037	3.855721	3.858827	3.848369	3.873967	3.865328	3.877012	3.876672	3.874641	3.931098	3.929258
12	3.84395	3.853406	3.843765	3.848214	3.861344	3.851681	3.857111	3.850243	3.865465	3.901175	3.927889
13	3.857777	3.855302	3.854576	3.862825	3.861668	3.842436	3.874237	3.853586	3.868145	3.910533	3.907334
14	3.851802	3.862885	3.85264	3.861522	3.859812	3.873512	3.867802	3.868362	3.879436	3.926069	3.921154
15	3.842095	3.865751	3.844256	3.857252	3.872565	3.8614	3.868085	3.86602	3.866965	3.922572	3.911302
16	3.857585	3.850475	3.862614	3.866398	3.863211	3.872351	3.879855	3.879749	3.884614	3.929714	3.926487
17	3.846609	3.855675	3.850931	3.860497	3.886319	3.86225	3.882247	3.889002	3.870559	3.920779	3.929241
18	3.851398	3.850548	3.864228	3.860902	3.865066	3.874539	3.874968	3.866552	3.864426	3.90525	3.913679
19	3.835261	3.859089	3.843076	3.843488	3.840288	3.831427	3.850789	3.844099	3.866881	3.907901	3.913677
20	3.812724	3.792966	3.842596	3.825127	3.826881	3.836378	3.844714	3.848759	3.836932	3.899052	3.891461

La Tabla 10 muestra los resultados de las 20 corridas cuando el factor de aleatoriedad se ha mantenido variable. De lo cual se percibe que las velocidades medias van adquiriendo mayores magnitudes, aproximadamente se eleva un 1.5% comparando los valores de Noise = 0 y Noise= 5.

También se puede apreciar que para valores de Noise entre 0 y 5, las velocidades son prácticamente iguales ya que sus valores mínimos y máximos varían solo entre 0.06 - 0.08 km/h. Con los datos ya tabulados se procederá a manejar el programa Minitab para dar una respuesta a las hipótesis planteadas. Ya analizados los datos se obtiene lo siguiente:

Tabla 11. Resultados de Minitab cuando el parámetro Noise es variable.

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Noise	11	0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Noise	10	0.12289	0.012289	47.84	0.000
Error	209	0.05369	0.000257		
Total	219	0.17658			

Se puede apreciar que esta tabla muestra los valores de Lambda que han ido variando; de la misma manera se aprecia la suma de cuadrados (Adj SS), la estimación de las varianzas (Adj MS), el valor del estadístico (F-Value) y el p-value. Siendo de todos estos datos el más importante para el análisis el $F_{value} = F_{cal} = 47.84$, el cual se comparará con valores standard para poder dar respuesta a las hipótesis.

De la tabla de Fisher se obtiene que el valor crítico con un nivel de confianza del 95% y sus respectivos grados de libertad, es igual a:

$$F_{crítico (0.05) 10,209} = 1.831$$

Por lo tanto, se conoce que si $F_{cal} > F_{crítico}$ se rechazará la hipótesis H_0 . Según los valores logrados se concluye que las medias no son iguales y son dispares porque hay diferencia entre 47.84 y 1.831.

5.1.1.1 Análisis de sensibilidad

Una vez analizadas los grupos se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 12. Resultados de un parámetro constante y dos variables.

	Tau cte.	Lambda cte.	Noise cte.
F_{cal}	1247.85	143.56	47.84
$F_{crítico}$	1.88	1.831	1.831
Desv. Standard	0.1645	0.0409	0.0284
Varianza	2.707%	0.167%	0.081%

Se puede apreciar que hay mayor variabilidad en el parámetro Tau, lo cual indica que a medida que se cambie los valores de este parámetro surgirán cambios característicos significativos. Esto se comprueba con los valores de F_{cal} porque el valor de Tau es muy alto en comparación al valor de $F_{crítico}$. También se logra apreciar que el de mayor varianza presenta es el parámetro Tau respecto a los otros parámetros.

5.1.2 Un parámetro constante y dos parámetros variables

En este análisis se dejará constante tan solo un parámetro y los otros dos estarán variando, los valores constantes son los que se obtuvieron en la calibración y en la validación, por ello los valores de los parámetros constantes son: $\tau = 0.4$, $\lambda = 0.176$ y $Noise = 1.2$. Se tendrán estas consideraciones:

- El parámetro Tau variará cada 0.1 con un valor inicial de 0 y un valor final de 1.
- El parámetro Lambda variará cada 0.1 con un valor inicial de 0 y un valor final de 1.
- El parámetro Noise variará cada 0.5 con un valor inicial de 0 y un valor final de 5.

5.1.2.1 Primer caso: $\tau=0.4$, λ y $Noise$ variables.

Para este caso se tendrán 11 grupos por las diversas combinaciones que se producen. Cada grupo presentará 11 datos, estos datos se obtuvieron de la media de las 20 simulaciones que se ejecutaron por cada combinación.

En la siguiente tabla se aprecia todas las combinaciones que se presentan:

Tabla 13. Velocidades para combinaciones con Tau constante.

Tau = 0.4, Lambda y Noise variables.											
Lambda / Noise	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
0	3.818	3.820	3.823	3.828	3.830	3.840	3.841	3.848	3.853	3.852	3.855
0.1	3.834	3.839	3.847	3.847	3.848	3.857	3.857	3.858	3.863	3.866	3.867
0.2	3.852	3.855	3.856	3.859	3.866	3.866	3.870	3.874	3.875	3.878	3.884
0.3	3.873	3.870	3.872	3.877	3.876	3.878	3.882	3.883	3.884	3.884	3.891
0.4	3.884	3.884	3.887	3.887	3.889	3.889	3.896	3.894	3.897	3.898	3.902
0.5	3.897	3.897	3.895	3.899	3.903	3.903	3.905	3.906	3.907	3.804	3.910
0.6	3.909	3.908	3.910	3.908	3.914	3.914	3.915	3.905	3.919	3.920	3.920
0.7	3.884	3.920	3.919	3.918	3.922	3.922	3.922	3.922	3.923	3.927	3.929
0.8	3.931	3.928	3.931	3.930	3.935	3.931	3.931	3.934	3.935	3.937	3.939
0.9	3.937	3.938	3.939	3.938	3.938	3.938	3.943	3.944	3.943	3.946	3.946
1	3.947	3.950	3.947	3.949	3.947	3.949	3.950	3.953	3.951	3.951	3.955

Se aprecia que los valores de las medias se encuentran en un rango de 3.8 a 4 km/h, con una desviación estándar de 0.037, lo que significa que la variación de datos no es tan significativa.

Estos datos se representarán en una gráfica para observar los cambios que existen a medida que se vayan variando los dos parámetros correspondientes.

Tau = 0.4 cte - 1ra Perspectiva

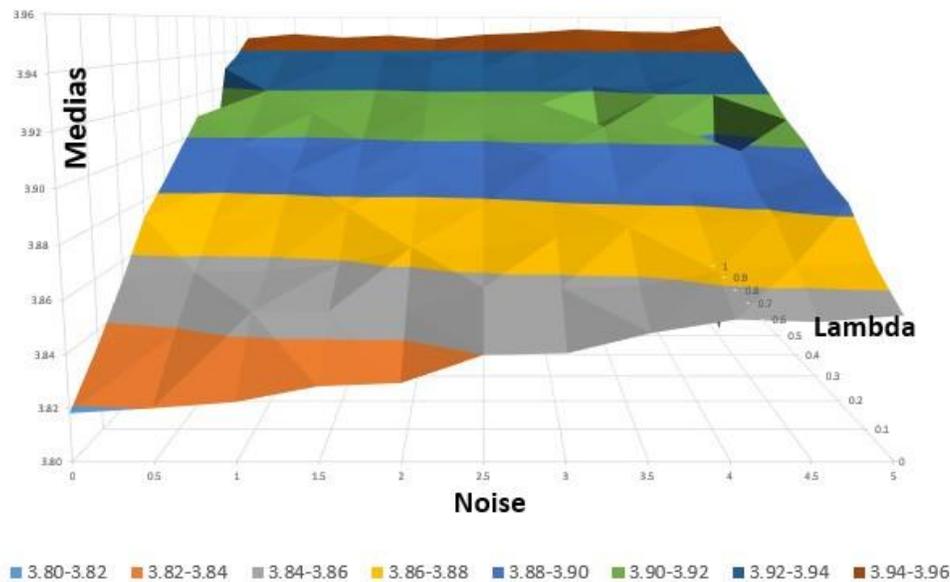


Figura 50. Gráfico en 3D para Tau cte., Lambda y Noise variable de vista frontal.

Tau = 0.4 cte - 2da Perspectiva

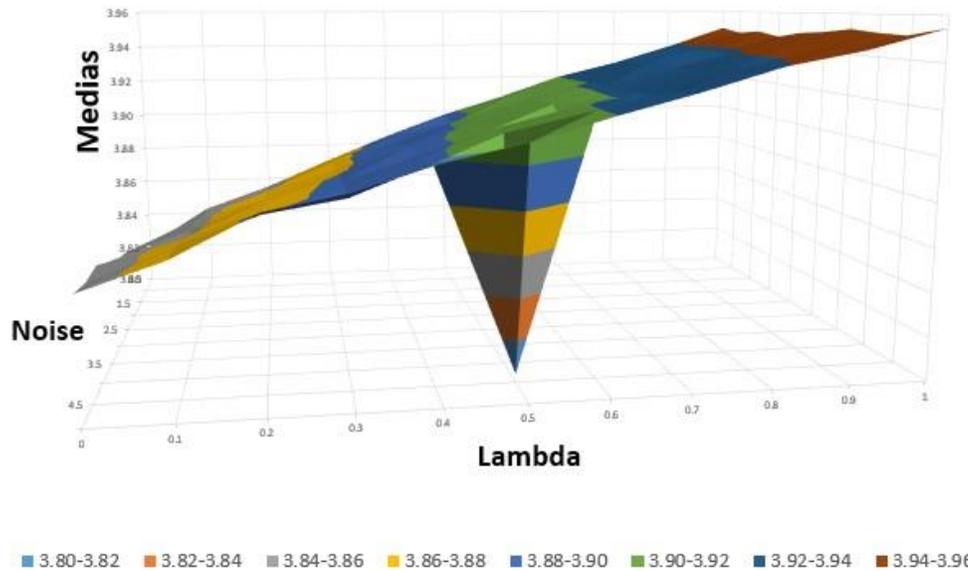


Figura 51. Gráfico en 3D para Tau cte., Lambda y Noise variable de vista lateral.

Como se aprecia en la figura, cuando el valor de Noise va aumentando la tendencia se mantiene en cualquier magnitud de Lambda. Mientras tanto cuando el valor de Lambda se va elevando las medias de las muestras se incrementa proporcionalmente.

Se observa también que existen tres valores picos donde el resultado de las medias disminuye significativamente. Si bien estos valores representan un cambio brusco en las medias, no son significativas ya que la tendencia de los valores de las medias está variando proporcionalmente.

5.1.2.2 Segundo Caso: $\lambda = 0.716$, τ y Noise variables.

Para este caso se tendrán 11 grupos por las diversas combinaciones que se producen. Cada grupo presentará 11 datos, estos datos se obtuvieron de la media de las 20 simulaciones que se ejecutaron por cada combinación. Algunas combinaciones el software no las pudo simular porque excedía el límite de personas que soporta el programa.

En la siguiente tabla se aprecia todas las combinaciones que se presentan:

Tabla 14. Velocidades para combinaciones con Lambda constante.

Lambda = 0.716, Tau y Noise variables											
Tau / Noise	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
0.05	4.083	4.083	4.083	4.084	4.084	4.084	4.084	4.085	4.086	4.087	4.087
0.1	4.034	4.034	4.034	4.036	4.036	4.039	4.040	4.041	4.041	4.042	4.044
0.2	3.964	3.963	3.970	3.969	3.971	3.973	3.976	3.976	3.977	3.980	3.981
0.3	3.904	3.906	3.908	3.912	3.914	3.918	3.919	3.920	3.923	3.926	3.928
0.4	3.848	3.854	3.856	3.857	3.865	3.864	3.871	3.869	3.872	3.877	3.879
0.5	3.802	3.805	3.805	3.808	3.811	3.815	3.812	3.822	3.825	3.827	3.833
0.6	3.739	3.743	3.750	3.757	3.759	3.766	3.767	3.769	3.773	3.785	3.786
0.7	-	3.697	3.697	3.699	3.703	3.710	3.718	3.718	3.731	3.742	3.750
0.8	-	-	3.632	3.639	3.660	3.656	3.666	3.676	3.687	3.704	3.715
0.9	-	-	3.574	3.586	3.595	3.603	3.612	3.626	3.646	3.662	3.676
1	-	-	-	3.543	3.528	3.557	3.563	3.585	3.598	3.811	3.637

Se aprecia que los valores de las medias se encuentran en un rango de 3.5 a 4.1 km/h, con una desviación estándar de 0.158, lo que significa que la variación de datos no es tan significativa.

Estos datos se representarán en una gráfica para observar los cambios que existen a medida que se vayan variando los dos parámetros correspondientes.

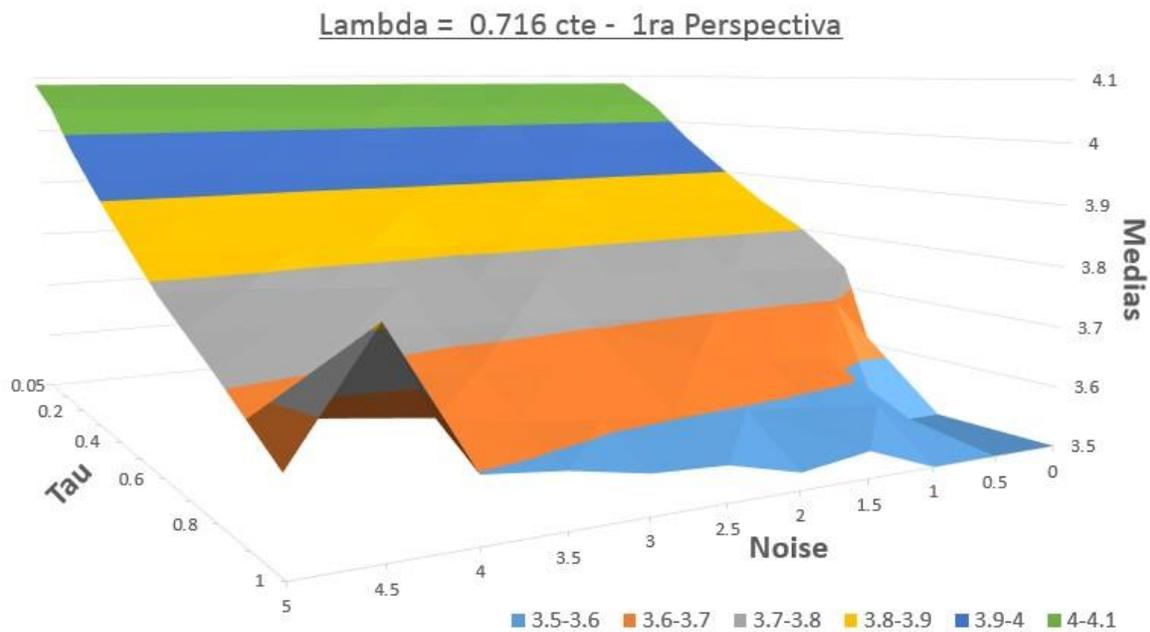


Figura 52. Gráfico en 3D para Lambda cte., Tau y Noise variable de vista frontal.

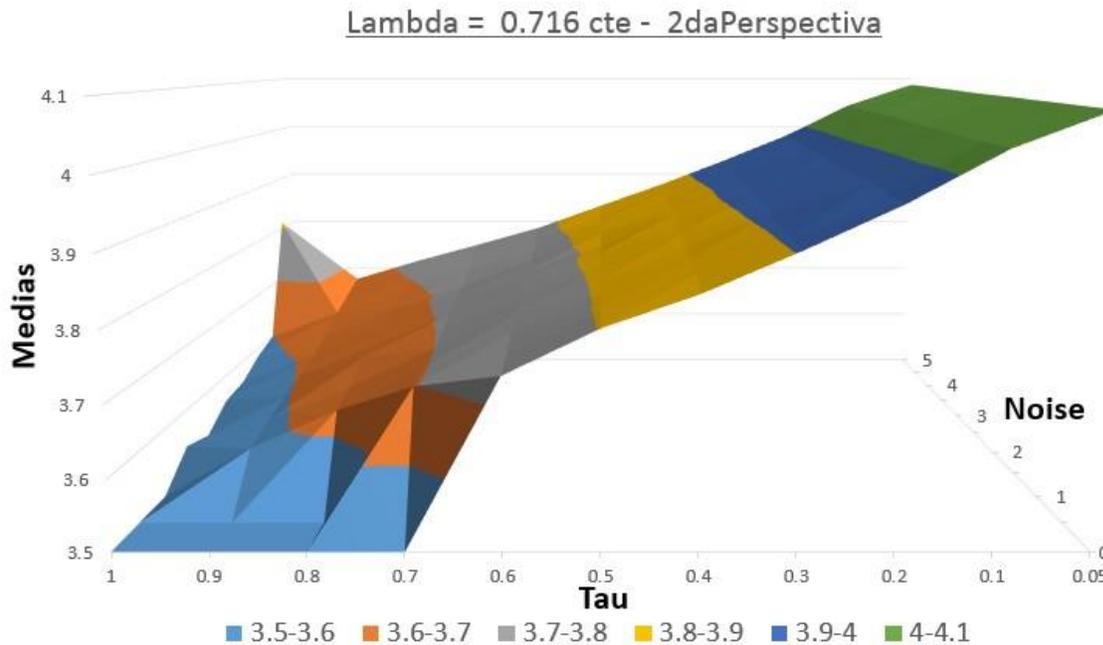


Figura 53. Gráfico en 3D para Lambda cte., Tau y Noise variable de vista lateral.

Como se aprecia en la figura, cuando el valor de Noise va aumentando la tendencia se mantiene en cualquier magnitud de Tau. Mientras tanto cuando el valor de Tau se va elevando las medias de las muestras disminuye proporcionalmente.

Se puede apreciar que existen más de tres picos en la zona donde Tau toma su máximo valor, uno de los picos se encuentra en la intersección con un valor alto de Noise; este valor no es muy significativo ya que se encuentra en una zona donde las medias están variando proporcionalmente. Por otro lado, los otros picos se encuentran en la zona de valores de Noise bajo, esto se produjo porque el software no pudo simular de manera correcta debido a la gran cantidad de personas que transitaron en la zona de estudio.

5.1.2.3 Tercer Caso: $Noise = 1.2$, λ y τ variables.

Para este caso se tendrán 11 grupos por las diversas combinaciones que se producen. Cada grupo presentará 11 datos, estos datos se obtuvieron de la media de las 20 simulaciones que se ejecutaron por cada combinación. Algunas combinaciones el software

no las pudo simular porque excedía el límite de personas que soporta el programa.

En la siguiente tabla se aprecia todas las combinaciones que se presentan:

Tabla 15. Velocidades para combinaciones con Noise constante.

Tau / Lambda	Noise = 1.2, Tau y Lambda variables										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.05	4.068	4.077	4.086	4.093	4.100	4.107	4.113	4.118	3.757	4.129	4.134
0.1	4.013	4.026	4.038	4.044	4.058	4.067	4.075	4.082	4.090	4.096	3.710
0.2	3.942	3.957	3.972	3.986	3.995	4.007	4.018	4.025	4.032	4.043	4.050
0.3	3.882	3.896	3.911	3.927	3.941	3.952	3.964	3.972	3.979	3.991	3.999
0.4	3.855	3.846	3.860	3.874	3.887	3.899	3.909	3.920	3.932	3.939	3.946
0.5	3.774	3.793	3.806	3.823	3.833	3.847	3.858	3.870	3.879	3.893	3.896
0.6	3.719	3.697	3.756	3.771	3.757	3.801	3.810	3.825	3.837	3.842	3.854
0.7	3.660	3.684	3.704	3.713	3.728	3.724	3.761	3.772	3.780	3.792	3.804
0.8	3.605	3.627	3.638	3.662	3.670	3.690	3.692	3.705	3.730	3.742	3.753
0.9	0.000	0.000	3.932	3.596	3.623	3.631	3.649	3.665	3.678	3.680	3.695
1	0.000	0.000	0.000	3.540	3.553	3.575	3.586	3.607	3.611	3.638	3.680

Se aprecia que los valores de las medias se encuentran en un rango de 3.50 a 4.15 km/h, con una desviación estándar de 0.16, lo que significa que la variación de datos no es tan significativa.

Estos datos se representarán en una gráfica para observar los cambios que existen a medida que se vayan variando los dos parámetros correspondientes.

Noise = 1.2 cte - 1ra Perspectiva

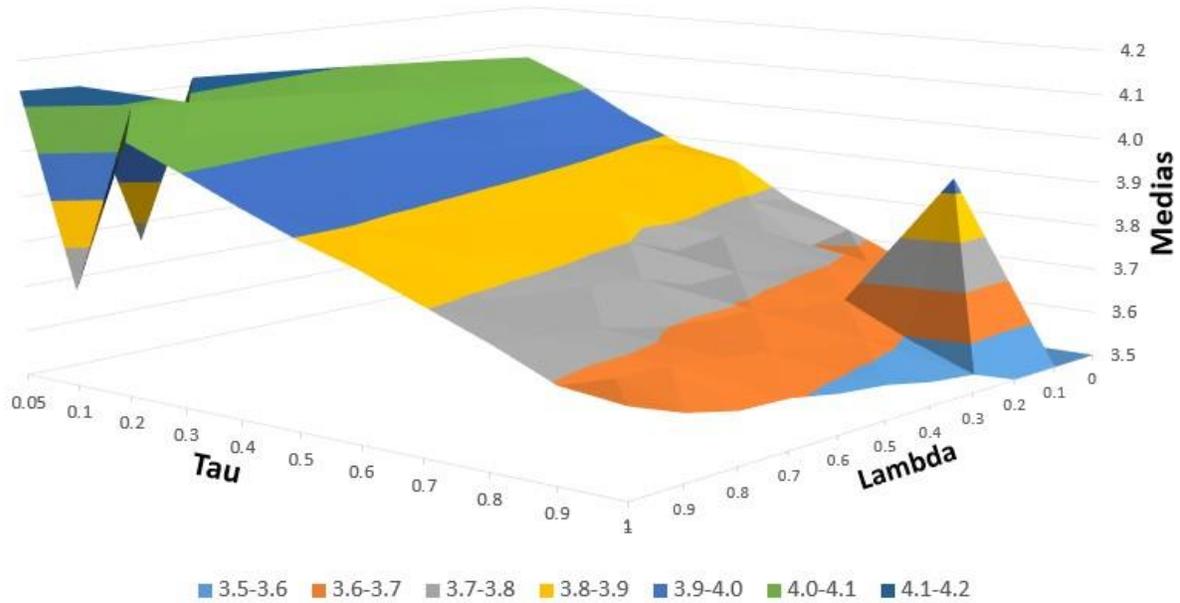


Figura 54. Gráfico en 3D para Noise cte., Tau y Lambda variable.

Como se aprecia en la figura cuando los valores de Tau se aumentan la magnitud de la media de velocidad está descendiendo; mientras tanto, sucede lo contrario con el parámetro lambda, ya que, al aumentar sus valores, la media de las velocidades también está creciendo aproximadamente linealmente.

Se logra apreciar que suceden picos cuando toman valores extremos de los parámetros. En el caso de Tau, cuando sus valores son muy bajos se forman estos cambios significativos; en el caso de Lambda ocurre eso cuando los valores son bajos y se llegan a formar picos.

Una vez analizadas las combinaciones se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 16. Resultados de dos parámetros constante y uno variable.

	Tau	Lambda cte.	Noise cte.
Valor mínimo	3.804	3.528	3.54
Valor máximo	3.955	4.087	4.13
Desv. Standard	0.037	0.158	0.16
Varianza	0.138%	2.506%	2.563%

Con lo que se concluye que el parámetro más importante es Tau porque cuando este se mantiene constante la variabilidad de datos es menor que en los otros dos casos, solo hay variaciones de 0.138% que son insignificantes. De la misma manera se puede corroborar que la diferencia de medias del valor mínimo y máximo es mayor cuando Tau no es constante.



CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En cuanto al análisis de sensibilidad de los parámetros se dará una respuesta a la hipótesis que se planteó, la cual indica que el valor de Tau es el parámetro que más influye en la modelación peatonal. Esta afirmación es corroborada por los resultados que se obtuvieron en el análisis de resultados.

En primer lugar, cuando varía solo este parámetro se observa que hay una marcada variación en los valores de la media respecto a los otros parámetros, ya que se compara un 2.71% (Tau) frente a 0.17% (Lambda) y a 0.08% (Noise).

Posteriormente cuando se mantiene fijo Tau y se varían los otros dos parámetros, la variación que se produce es mínima debido a que las medias de las velocidades no varían significativamente. La varianza arroja un valor de 0.138% (Tau) frente a 2.51% (Lambda) y 2.56% (Noise), lo cual se comprueba porque cuando Tau no es constante la variación es significativa, además de ser similar en los casos. Esto se ratifica porque cuando Tau es constante el valor mínimo es 3.804 y el valor máximo es 3.955, el rango es pequeño lo cual demuestra que no hay gran variación.

En cuanto a los picos que surgen cuando se varían dos parámetros, estos demuestran la aleatoriedad del software cuando realiza la simulación porque de manera inesperada aparecen picos cuando el comportamiento es proporcional. Esto sucede generalmente en los valores extremos de los parámetros tanto de Tau como de Lambda.

Respecto al uso del software, cuando se tomaron las muestras solo se consideró a las personas que caminaban de manera individual. Esto debido a que no había capacidad para poder modelar grupo de personas en el software. De cierta manera es un problema porque en la vida real las personas se desplazan solas y en grupo.

En cuanto a la calibración y validación del software, se debe tener en consideración que los parámetros son los principales factores para que el modelo cumpla los requisitos que se

presentan en la realidad. De esta manera se concluye que el parámetro más importante es la curva de velocidad deseada, ya que sin esta curva por más que se alteren de manera extrema los parámetros Tau, Lambda y Noise no se podrá calibrar el modelo.

El Jirón de la Unión al ser un medio concurrido por ser comercial y turístico presenta una gran variedad de peatones: adultos, jóvenes, variedad de género, personas sin autonomía y de diferentes clases sociales. Estas características mediante un estudio de vida pública podrán dar mayor información para conocer con mayores alcances la variación de los parámetros en dicha vía.

6.2 Recomendaciones

La recomendación para el uso del software cuando se necesiten una gran cantidad de simulaciones es colocar correctamente todos los datos tanto numéricos como gráficos. Asimismo, verificar por lo menos tres veces cada dato introducido, esto será esencial para evitar perder tiempo y simular varias veces innecesariamente.

En cuanto al software se debe tener en cuenta que algunas combinaciones, cuando dos parámetros son variables, fallaron porque las características de la licencia no permiten un número mayor a 2000 peatones simultáneamente. Si bien no es un problema importante para el análisis, podría evitar realizar simulaciones innecesarias.

La revisión de la literatura es fundamental para poder maniobrar el software de manera correcta y eficaz. Tener conocimientos en estadística para analizar datos también es un factor clave en el desarrollo de la investigación.

Finalmente se sugiere que modifiquen el número de corridas, el número de semilla, el flujo de peatones y se aumente más parámetros para analizar como el A_soc_mean y B_soc_mean para comparar si cada factor señalado tiene un efecto que sea significativo en los resultados de las velocidades de los peatones.

BIBLIOGRAFÍA

Alcalá, U. (2004). *Métodos de Análisis de Datos en Ecología*. Alcalá: Departamento de Ecología.

Almenara, J. (2016). Lima planea 29 proyectos viales pero solo tres obras para peatones. pág. 1.

Appert-Rolland, C., Degond, P., & Motsch, S. (2012). Macroscopic Model for Bidirectional Pedestrian Flow. En C. Appert-Rolland, P. Degond, & S. Motsch, *Pedestrian and Evacuation Dynamics* (págs. pp 575-583). Springer International Publishing.

Borja, J. (2003). *La Ciudad conquistada*. Madrid: Alianza Editorial.

Burneo, L. (2010). *Construcción de la ciudadanía mediante el uso cotidiano del espacio público*. Lima: PUCP.

Esquembre, F. (21 de Abril de 2013). YouTube. Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=vu95UEhin4Y>

Fruin, J. (1971). *Designing for pedestrians: A level-of-service concept*. Nueva York: Highway Research Record.

Fujiyama, T., & Tyler, N. (2010). Predicting the walking speed of pedestrians on stairs.

Taylor and Francis Online, pp 177-202.

García, J., & Serón de la Torre, A. (s.f.). *Evolución Histórica de la trama viaria del centro*. pp 97-107.

Gehl, J. (2014). *Ciudades para la gente*. Buenos Aires: Infinito.

Gehl, J., & Gemzøe, L. (2002). *Nuevos espacios urbanos*. Madrid: Gustavo Gili. Gehl, 86

- J., & Svarre, B. (2013). *How to Study Public Life*. Washington: Island Press.
- González, J. (2011). *Estudio de modelos para tráfico peatonal y su aplicación a pasillos en diferentes escenarios*. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Guisado, C. (2015). *Análisis de Sensibilidad de los parámetros de Vissim 8*. Lima: PUCP.
- Helbing, D., & Molnar, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review*, pp 4282-4286.
- Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano*. Barcelona: Reverté.
- Johansson, E., & Alexandersson, S. (2013). Pedestrians in microscopic traffic simulation. *Chalmers*, pp 3-21.
- Lefebvre, H. (1978). *El derecho a la ciudad*. Barcelona: Península.
- Lovas, G. (1994). Modeling and simulation of pedestrian traffic flow. *Pergamon*, pp 429-435.
- Marno, P. (2012). Pedestrian Modeling Research. En P. Marno, *Crowded – Macroscopic and Microscopic Models for Pedestrian Dynamics*. (págs. pp 11-13). Reading: Department of Mathematics - University of Reading.
- Marshall, E. (2010). *The Statistics Tutor's Quick Guide to Commonly Used Statistical Tests*. Sheffield: StatsTutor.
- Narimatsu, K., Shiraishi, T., & Morishita, S. (2004). Acquisition of Local Neighbor Rules in the Simulation of Pedestrian Flow by Cellular Automata. En C. B. Sloot P. M. A, *Lectures Notes in Computer Science: Proceeding of 6th International Conference on Cellular* (págs. pp 211-219). Berlin: Springer Verlag.

National Academy of Sciences. (2000). Transportation Research Board. Washington DC.

Navarro, G. (19 de Marzo de 2014). Youtube. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=eOWy0ILUuNI>

NYC DCP "Transportation Division". (2006). Pedestrian Level of Service Study, Phase I. New York.

Okazaki, S., & Matsushita, S. (1993). A study of simulation model for pedestrian movement with evacuation and queuing. Proceedings of the International Conference on Engineering for Crowd Safety, 271-280.

Perico-Agudelo, D. (2009). El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo. Vol. 2, No. 4, pp 278-301.

Perú, I. (2015). Flujo Vehicular por Unidades de Peaje Febrero 2015. INFORME TÉCNICO No 4 .

PTV Group. (04 de Febrero de 2013). Final Assessment of PTV Viswalk. Obtenido de <http://vision-traffic.ptvgroup.com>

PTV, A. (18 de Diciembre de 2014). Seminario en línea: Viswalk 7. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=0CL-ab7X3Ps>

RAE. (29 de Septiembre de 2015). Real Academia de la Lengua Española. Obtenido de Real Academia de la Lengua Española: <http://www.rae.es/>

Rangel-Huerta, A. (2013). Ecuación de Boltzmann de discos rígidos auto-impulsados para peatones en contraflujo. Revista Mexicana de Física, pp 153–159.

Remy, J., & Voyé, L. (1981). Ville ordre et violence: formes spatiales et transaction sociale. . París: Presses universitaires de France.

Russell, S. (2004). *Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Santana, I. (2009). *Modelación y simulación de la dinámica de peatones usando Autómatas Celulares con condiciones de frontera abiertas y periódicas*. México DF: Instituto Politécnico Nacional.

Shannon, R. (1988). *Simulación de sistemas. diseño, desarrollo e implantación*. México: Trillas.

Suh, W., Henclewood, D., Greenwood, A., Guin, A., Guensler, R., Hunter, M., & Fujimoto, R. (2013). *Modeling pedestrian crossing activities in an urban environment using microscopic traffic simulation*. *Simulation*.

Takano, G., & Tokeshi, J. (2007). *Espacio público en la ciudad popular: reflexiones y experiencias desde el Sur*. Lima: Sinco Editores.

Vega Centeno, P. (2006). *El espacio público: la movilidad y la revaloración de la ciudad*. Lima : PUCP.

Yue, H., Guan, H., Zhang, J., & Shao, C. (2009). *Study on bi-direction pedestrian flow using cellular automata simulation*. *Physica A*, pp 527–539.

Yuhaski, S., & J. Macgregor, S. (1989). *Modeling circulation systems in buildings using state dependent queueing models*. *Queueing System*, pp 319-338.

Zeng, W., Nakamura, H., & Chen, P. (2014). *A Modified Social Force Model for Pedestrian Behavior Simulation*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 521 – 530.