



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

TESIS

ADAPTACIÓN DEL TADELAKT A LA REGIÓN DE CLIMA CÁLIDO DE
MÉXICO EMPLEANDO CAL COMO MATERIAL HIDRÓFUGO EN
VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

PRESENTA

Brenda Estefanía Díaz Macías

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN INGENIERÍA CIVIL EN EL
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN

TUTOR

Dr. Miguel Ángel Soto Zamora

ASESORES

Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil

M. en V. Manuel Andrei Murillo Méndez

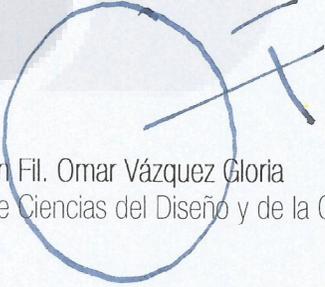
Aguascalientes, Ags, 01 de Junio del 2018

Dra. María del Carmen Martínez Serna
Dirección General de Investigación y Posgrado
PRESENTE

Por medio de este conducto informo que el documento final de tesis titulado: "ADAPTACIÓN DEL TADELAKT A LA REGIÓN DE CLIMA CÁLIDO DE MÉXICO EMPLEANDO CAL COMO MATERIAL HIDRÓFUGO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL". Presentado por la sustentante: Brenda Estefanía Díaz Macías con ID: 105831, egresada de la Maestría en Ingeniería Civil, cumple las normas y lineamientos establecidos institucionalmente. Cabe mencionar que la autora cuenta con el voto aprobatorio correspondiente.

Para efecto de los trámites que a la interesada convengan, se extiende el presente, reiterándole las consideraciones que el caso amerite.

ATENTAMENTE
Aguascalientes, Ags., 31 de agosto de 2018
"SE LUMEN PROFERRE"


M. en Fil. Omar Vázquez Gloria
Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción

c.c.p.- Dr. Ricardo Arturo López León – Secretario de Investigación y Posgrado del CCDC.
c.c.p.- Dr. Miguel Ángel Soto Zamora – Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil y Tutor de tesis.
c.c.p.- Arq. Brenda Estefanía Díaz Macías – Egresada de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- Lic. Delia Guadalupe López Muñoz – Jefe Sección de Certificados y Títulos.
c.c.p. - Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES
FORMATO DE CARTA DE VOTO APROBATORIO

M. EN FIL. OMAR VÁZQUEZ GLORIA
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL
DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

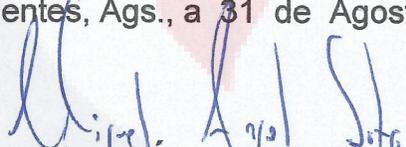
Por medio del presente como Tutor designado de la estudiante **BRENDA ESTEFANÍA DÍAZ MACIAS** con ID **105831** quien realizó la tesis titulada: **ADAPTACIÓN DEL TADELAKT A LA REGIÓN DE CLIMA CÁLIDO DE MÉXICO EMPLEANDO CAL COMO MATERIAL HIDRÓFUGO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

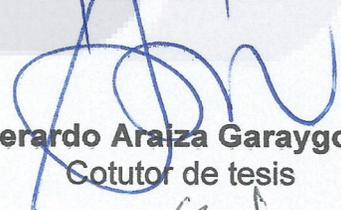
Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“Se Lumen Proferre”

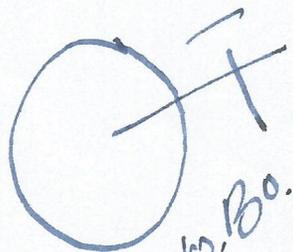
Aguascalientes, Ags., a 31 de Agosto de 2018


Dr. Miguel Ángel Soto Zamora
Tutor de tesis


Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil
Cotutor de tesis


M. en V. Manuel Andrei Murillo Méndez
Asesor de tesis

c.c.p.- Arq. Brenda Estefanía Díaz Macías -- Interesada
c.c.p.- Dr. Ricardo Arturo López León -- Secretario de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Dr. Sergio Ignacio Martínez Martínez -- Jefe del Depto. de Construcción y Estructuras
c.c.p.- Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil -- Consejero Académico
c.c.p.- Dr. Miguel Ángel Soto Zamora -- Secretario Técnico


Vo.Bo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco infinitamente a Dios por haberme dado la oportunidad de concluir una etapa más de aprendizaje en mi vida. En segundo lugar a mi familia por brindarme su apoyo incondicional.

Un especial agradecimiento a mi tutor, el Dr. Miguel Ángel Soto Zamora por su guía en todo el proceso, sus consejos, atenciones, enseñanzas y su tiempo invertido en esta investigación.

A mis compañeros de la maestría por su empatía, su asistencia desinteresada y por haber hecho más ameno el trayecto.

A todas las personas que me ayudaron y participaron en mi proyecto, sin las cuales hubiera sido imposible finalizarlo.

Gracias también a la Universidad Autónoma de Aguascalientes porque me permitió continuar con mis estudios en un programa de posgrado y por haberme proporcionado recursos económicos para asistir y participar como ponente en los congresos CHACH 2017 (X Congreso Nacional y II Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción) y SAHC 2018 (11th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions).

Agradezco al gobierno mexicano quien a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) me brindó apoyo económico para avanzar en mi formación académica mediante un posgrado PNPC.

Por último, estoy muy agradecida con Paloma Folache de la empresa española Alen & Calche por haberme compartido su experiencia y conocimientos sobre el tadelakt marroquí así como el haberme facilitado materiales y herramienta útiles para llevar a cabo la parte experimental de este trabajo.

DEDICATORIAS

Dedico por completo esta tesis a mis padres por creer siempre en mí, por dedicarme su tiempo y paciencia y enseñarme el valor y las recompensas de la perseverancia y la constancia. Son mi ejemplo, mi inspiración y mi impulso más fuerte.



ÍNDICE GENERAL

1.	CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1	PRÓLOGO.....	15
1.2	OBJETIVOS:	16
1.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2.2	OBJETIVOS PARTICULARES	16
1.3	ALCANCES DEL TRABAJO A DESARROLLAR.....	17
1.4	JUSTIFICACIÓN	17
1.5	HIPÓTESIS.....	18
1.6	METODOLOGÍA.....	18
1.7	VARIABLES EXPERIMENTALES	19
2.	CAPÍTULO II. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	22
2.1	MARRUECOS.....	22
2.2	ORIGEN DEL TADELAKT	23
2.3	DEFINICIÓN DEL TADELAKT.....	24
2.4	LA CAL DEL TADELAKT.....	25
2.5	LA TÉCNICA DEL TADELAKT	26
2.5.1	MATERIALES	26
2.5.2	HERRAMIENTAS	27
2.5.3	PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DE LA MEZCLA.....	28
2.5.4	TÉCNICAS DECORATIVAS.....	31
2.5.5	REPARACIONES Y MANTENIMIENTO.....	32
2.6	TADELAKT Y ARQUITECTURA	33
2.7	INVESTIGACIÓN ACTUAL SOBRE EL TADELAKT.....	35
3.	CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	38
3.1	SIMILITUDES CLIMÁTICAS ENTRE MÉXICO Y MARRUECOS.....	38
3.2	REGIÓN DE CLIMA CÁLIDO DE MÉXICO.....	39
3.3	ADAPTACIÓN DEL TADELAKT A MÉXICO.....	40

3.4	UN NUEVO MATERIAL CONSTRUCTIVO.....	43
3.5	INVESTIGACIÓN DE REFERENCIA	44
4.	CAPÍTULO IV. DISEÑO DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL	48
4.1	DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS	48
4.2	SUSTRATOS	50
4.3	ELABORACIÓN DE JABÓN POTÁSICO.....	52
4.4	APLICACIÓN DEL TADELAKT.....	56
4.5	PRUEBAS DE PERMEABILIDAD AL TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO .	60
4.6	PRUEBAS DE ADHERENCIA AL TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO	61
5.	CAPÍTULO V. EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL.....	65
5.1	PRUEBAS PILOTO PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO.....	65
5.2	REALIZACIÓN DE PROBETAS DE TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO ...	74
5.3	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PERMEABILIDAD	78
5.4	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ADHERENCIA	91
6.	CAPÍTULO VI. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	95
6.1	ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DEL TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO	95
6.2	ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO PARA EL SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE AZULEJO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.....	100
6.3	ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE TADELAKT ELABORADO CON MATERIALES DE LA TÉCNICA ORIGINAL	101
7.	CAPÍTULO VII. PULIDO DEL TADELAKT POR MEDIOS MECÁNICOS	105
8.	CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111
8.1	EVALUACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE AGUA DEL TADELAKT SOBRE LOS DISTINTOS SUSTRATOS .	116
8.2	JUSTIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	143
9.	CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES	158
9.1	CONCLUSIÓN GENERAL.....	158

9.2 CONCLUSIONES PARTICULARES.....158
9.3 NICHOS DE INVESTIGACIÓN159
FUENTES DE REFERENCIA.....161



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coeficientes de absorción de agua de diferentes materiales naturales de construcción (Wolff 2013, 67).....	44
Tabla 2 Resistencia adhesiva de recubrimientos de cal sobre tierra (Wolff, 2013).....	45
Tabla 3 Número de probetas según las variables y sustratos considerados para la etapa experimental.....	49
Tabla 4 Resultados de las pruebas de permeabilidad con tubos de Karsten para muestras piloto.....	68
Tabla 5 Resultados de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en probeta de tadelakt conseguida por medio de la empresa Oxical.	70
Tabla 6 Resultados de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en probeta de tadelakt elaborada con materiales y con la técnica original marroquí.	71
Tabla 7 Resultados de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en prueba piloto.....	72
Tabla 8 Resultados de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en prueba piloto elaborada únicamente con materiales locales.	73
Tabla 9 Nomenclatura para las probetas según el sustrato, el agregado, la cal y el jabón.	78
Tabla 10 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón potásico sobre tabique.....	79
Tabla 11 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón normal sobre tabique.....	79
Tabla 12 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en bulto y jabón potásico sobre tabique.....	80
Tabla 13 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en bulto y jabón normal sobre tabique.	80
Tabla 14 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón potásico sobre tabique.	81

Tabla 15 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón normal sobre tabique. 81

Tabla 16 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón potásico sobre tabique. 82

Tabla 17 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón normal sobre tabique. 82

Tabla 18 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón potásico sobre pieza de concreto. 83

Tabla 19 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón normal sobre pieza de concreto. 83

Tabla 20 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón potásico sobre pieza de concreto. 84

Tabla 21 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón normal sobre pieza de concreto. 84

Tabla 22 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón potásico sobre pieza de concreto. 85

Tabla 23 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón normal sobre pieza de concreto. 85

Tabla 24 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón potásico sobre pieza de concreto. 86

Tabla 25 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón normal sobre pieza de concreto. 86

Tabla 26 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón potásico sobre block de concreto. 87

Tabla 27 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón normal sobre block de concreto..... 87

Tabla 28 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón potásico sobre block de concreto..... 88

Tabla 29 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón normal sobre block de concreto..... 88

Tabla 30 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón potásico sobre block de concreto..... 89

Tabla 31 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón normal sobre block de concreto..... 89

Tabla 32 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón potásico sobre block de concreto..... 90

Tabla 33 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón normal sobre block de concreto..... 90

Tabla 34 Nomenclatura para las probetas según sus características de sustrato, agregado, cal y jabón. 91

Tabla 35 Resultados de las pruebas de adherencia en algunas probetas de tadelakt. 91

Tabla 36 Auxiliar de mortero de tadelakt adaptado a México para la primera capa..... 96

Tabla 37 Auxiliar de mortero de tadelakt adaptado a México para la segunda capa. 97

Tabla 38 Auxiliar de solución de jabón para el tadelakt adaptado a México. 97

Tabla 39 Costos fijos (C.F.) de estufa eléctrica para fabricar la solución de jabón..... 98

Tabla 40 Costos por consumo (C.C.) de estufa eléctrica para fabricar la solución de jabón..... 98

Tabla 41 Precio unitario del tadelakt adaptado a México. 99

Tabla 42 Precio unitario para el suministro y colocación de azulejo en vivienda de interés social.100

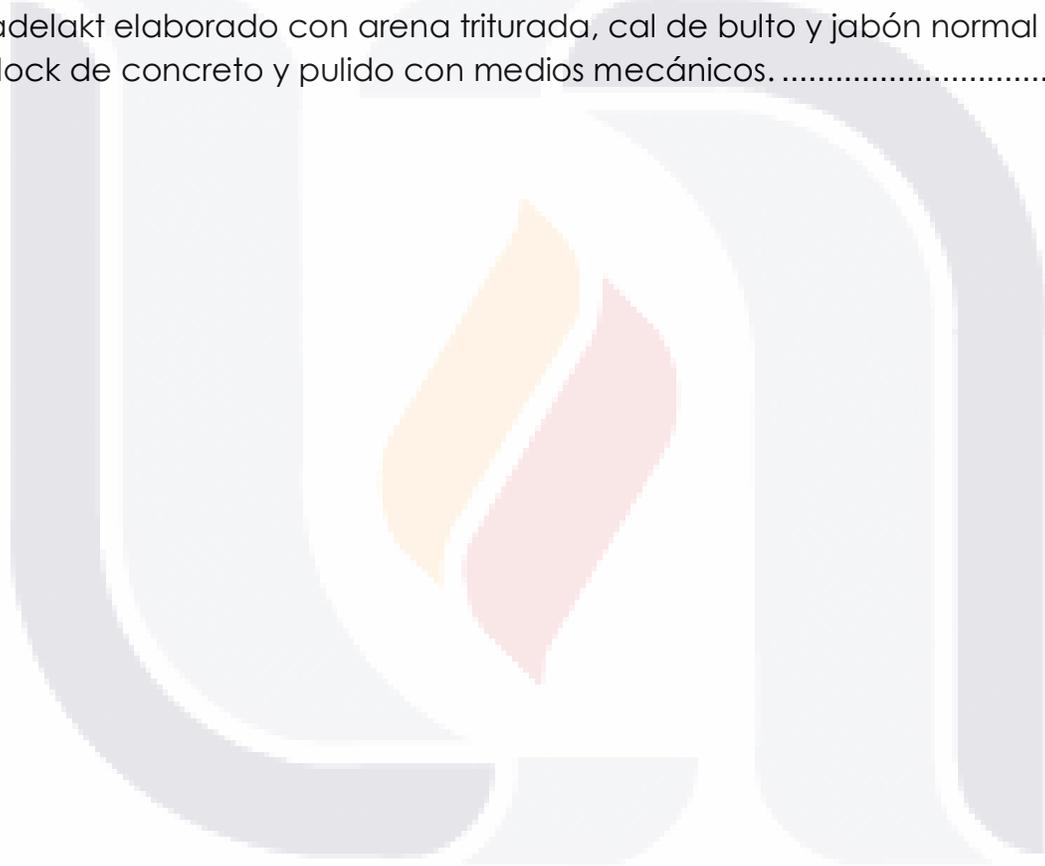
Tabla 43 Auxiliar de mortero de tadelakt marroquí.....101

Tabla 44 Auxiliar de solución de jabón negro marroquí.....102

Tabla 45 Precio unitario del tadelakt original marroquí.....102

Tabla 46 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón potásico sobre block de concreto y pulido con medios mecánicos.....108

Tabla 47 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón normal sobre block de concreto y pulido con medios mecánicos.108



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Climas en México (SEP, 2008)	40
Figura 2 Mezclas para aplicar tadelakt adaptado a México. La que aparece del lado derecho, elaborada con cal hidratada de bulto, correspondería a la primera capa. A la izquierda, la mezcla hecha con cal hidratada en pasta se aplicaría para la segunda capa.....	41
Figura 3 Primera capa de tadelakt aplicada sobre muro por maestro de construcción natural, previa a ser trabajada con la flota de madera (fotografía propia del autor).	42
Figura 4 Apariencia de muro recubierto con tadelakt después de haberse aplicado y pulido la solución de jabón.	43
Figura 5 Materiales base considerados para la aplicación del tadelakt. Aparece de izquierda a derecha: block de concreto, pieza de concreto y tabique de barro rojo recocido.....	50
Figura 6 Moldes de madera utilizados como cimbra. A un lado aparece la mezcla de concreto previa al colado de las piezas.....	51
Figura 7 Pieza de concreto recién colada.....	51
Figura 8 Pieza de concreto con acabado cerrado con llana de acero. ...	51
Figura 9 Diferentes materiales constructivos recubiertos con repellado base hecho de cal y arena.....	52
Figura 10 Determinación de la cantidad de hidróxido de potasio con la utilización de la báscula.	53
Figura 11 Determinación de la cantidad de agua destilada con la utilización de la báscula.	54
Figura 12 Determinación de aceite de oliva virgen con la utilización de la báscula.	54
Figura 13 Aumento de la temperatura del aceite de oliva virgen con ayuda de una parrilla de gas.	55
Figura 14 Medición de la temperatura con termómetro de la solución de hidróxido de potasio (KOH) con agua destilada y del aceite de oliva virgen.	55
.Figura 15 Mezcla con batidora eléctrica de la solución de hidróxido de potasio (KOH) y agua destilada con el aceite de oliva virgen.....	56
Figura 16 Herramientas utilizadas durante el proceso de aplicación del tadelakt.	57

Figura 17 Probetas con repellido base de mortero cal-arena previas a la aplicación del tadelakt. 57

Figura 18 Agregados de distintos grosores incorporados a la mezcla: marmolina y blanco de España..... 58

Figura 19 Ejemplo de mezcla de tadelakt con pigmento. 59

Figura 20 Probetas con la primera capa de tadelakt aplicada y trabajada con la flota de madera y la flota con esponja. 59

Figura 21 Probeta con la segunda capa de tadelakt aplicada y pulida con piedra de granito. 60

Figura 22 Ensayo con tubo de Karsten en una de las probetas..... 61

Figura 23 Equipo de ensayo de adherencia (GROUP, 2015)..... 62

Figura 24 Esquema de funcionamiento de equipo de ensayo de adherencia (GROUP, 2015) 63

Figura 25 Primeras pruebas de tadelakt sobre block de concreto..... 65

Figura 26 Fisuras presentadas por una de las muestras al día siguiente de haber sido elaborada..... 66

Figura 27 Prueba piloto. En la fotografía del lado derecho se observa que el grano del agregado tiene gran presencia visual en el acabado..... 67

Figura 28 En estas probetas se observa que el acabado ya muestra cierta repelencia al agua..... 67

Figura 29 Realización de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en probeta de tadelakt conseguida por medio de la empresa Oxical. 69

Figura 30 Probeta fabricada con los materiales y la técnica original marroquí. 71

Figura 31 Piedras importadas de Marruecos utilizadas para el pulido y comprimido de la muestra. 71

Figura 32 Prueba piloto elaborada con materiales locales y jabón potásico marroquí. 72

Figura 33 Probeta elaborada con materiales locales. 73

Figura 34 Repellido base cal-arena aplicado en probeta de block de concreto, tabique y pieza de concreto. 74

Figura 35 Ejemplo de mezcla aplicada en la primera capa..... 75

Figura 36 Ejemplo de mezcla empleada en la segunda capa. 76

Figura 37 Primera capa aplicada sobre una de las probetas..... 76

Figura 38 Segunda capa aplicada sobre una de las probetas. 77

Figura 39 Ejemplos de probetas con el tadelakt terminado..... 78

Figura 40 Torno mecánico de velocidad variable.....105

Figura 41 Piedra fijada a placa metálica106
Figura 42 Fijación de la piedra a la broca del equipo106
Figura 43 Muestra de tadelakt después de haber sido pulida por medios mecánicos.....107



ACRÓNIMOS

CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
FSR	Factor de Salario Real
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IVA	Impuesto sobre el Valor Agregado
MO	Mano de Obra
PNPC	Programa Nacional de Posgrados de Calidad
RCCM	Región de Clima Cálido de México
UAA	Universidad Autónoma de Aguascalientes



RESUMEN

La arquitectura vernácula se adapta totalmente a las condiciones climáticas y regionales del lugar donde se desarrolla. Este trabajo retoma una técnica constructiva de este tipo de arquitectura para adecuarla a las necesidades y requerimientos de la construcción actual ya que podría suponer una opción más sustentable que los métodos industrializados usados convencionalmente.

La técnica objeto de este estudio es el tadelakt, retomada de las edificaciones milenarias de Marruecos y caracterizada por sus propiedades hidrófugas, razón por la cual ha sido altamente empleada para recubrir espacios en constante contacto con el agua y la humedad como baños y cocinas. Llama la atención su composición hecha de materiales naturales, principalmente una cal hidráulica con propiedades especiales obtenida del Alto Atlas, muy cerca de Marrakech; la composición queda completa con la utilización de pigmentos naturales y jabón vegetal doméstico ampliamente usados en dicha zona.

Se reprodujo este acabado con la finalidad de adaptarlo a la región de clima cálido de México (RCCM) tomando en cuenta que las condiciones climáticas son afines a las de Marruecos. Se emplearon materiales similares a los originales pero de fácil obtención en México (por practicidad y disminución de costos). Por tal motivo el tadelakt podría emplearse en espacios húmedos de construcciones que buscan ser accesibles económicamente a la mayoría de la población como viviendas de interés social, en sustitución de materiales como piezas cerámicas, azulejo y cemento, como una alternativa mayormente sustentable y económica.

Se elaboraron probetas de tadelakt fabricado con distintos materiales (sencillos de conseguir) y aplicado sobre diferentes sustratos con el fin de evaluar cuantitativamente, mediante pruebas de permeabilidad y adherencia, la efectividad del tadelakt adaptado a México; por último, se hizo un análisis de precios unitarios para determinar si es viable aplicar este acabado en vivienda de interés social.

Palabras clave: técnica constructiva, tadelakt, Marruecos, hidrófugo, cal hidráulica, región de clima cálido de México, vivienda de interés social.

ABSTRACT

The vernacular architecture is characterized by fully adapting to the climatic and regional conditions of the place where it is developed. This research seeks to recover a constructive technique of this type of architecture to adapt it to the needs and requirements of the current construction since it could be a more sustainable option than conventionally used industrialized methods.

The technique object of this investigation is the tadelakt, taken from the millenary constructions of Morocco and characterized by its water-repellent properties, which is why it has been highly used to cover spaces in constant contact with water and humidity such as bathrooms and kitchens. Its composition is made of natural materials, especially a hydraulic lime with special properties obtained from the High Atlas, very close to Marrakech; the composition is completed with the use of natural pigments and domestic vegetable soap widely used in this region.

The tadelakt plaster was reproduced in search of adapting it to the warm climate region of Mexico taking into account that the climatic conditions are very similar to those of Morocco. The finish was reproduced using materials similar to the original ones but easily obtained in Mexico (for practicality and cost reduction). For this reason tadelakt could be used in wet spaces of buildings that need to be economically viable as social housing, replacing materials conventionally used for this purpose as ceramic pieces, tile and cement, as a more sustainable and economic option.

Tadelakt specimens were made with different easily obtainable materials in Mexico and the finish were applied on different substrates in order to quantitatively evaluate, through permeability and adherence tests, the effectiveness of tadelakt adapted to Mexico; finally, an analysis of unit prices was carried out to determine if it is feasible to apply the tadelakt plaster in social interest housing.

Key words: constructive technique, tadelakt, Morocco, waterproof properties, hydraulic lime, warm climate region of Mexico, social housing, sustainable.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 PRÓLOGO

Si se observan las tradiciones constructivas populares tanto actuales como antiguas es posible ver que de ellas se pueden extraer soluciones para las necesidades de vivienda actuales, soluciones que requieren un menor uso de los limitados recursos disponibles. Conjuntamente se circunscriben a las condiciones climatológicas, geológicas y ecológicas del lugar (May, 2011; Wolff, 2013).

Un ejemplo de estas tradiciones es el tadelakt, un revestimiento de cal tradicional de Marruecos creado hace más de 2,000 años. Tiene sus orígenes cerca de la ciudad de Marrakech, donde la piedra caliza es extraída y por un fenómeno geológico se obtiene una cal con propiedades particulares (Leis, Folache, Barahona, & Jurmann, 2016) que hacen del producto final de la técnica un material hidrófugo (repelente al agua) e inodoro; sus cualidades fungicidas hacen que sea apto para interiores y exteriores.

La propiedad de interés para esta investigación es su particular resistencia al agua. En sus inicios, el tadelakt se utilizó para contenedores de agua y más tarde para el interior de los hammames (baños públicos) que aún hoy son utilizados en Marruecos (Leis et al., 2016). Asimismo funciona para recubrir las superficies de las paredes de los llamados “cuartos húmedos” como cocinas, aseos y cuartos de baño, las cuales tienen que ser impermeables además de higiénicas y fáciles de limpiar (Snijder, 2013).

El componente esencial que le otorga al tadelakt dicha cualidad es la cal hidráulica debido a su habilidad de endurecer bajo la acción del agua o de la humedad y por tanto no afectarle el contacto con la misma. Por esta razón aplicar el tadelakt sobre tierra apisonada o ladrillos de adobe como se hace tradicionalmente en Marruecos, favorece la carbonatación de la cal hidráulica debido a la gran capacidad de retención de humedad de la tierra que asegura un secado regular y lento del tadelakt (Leis et al., 2016).

Además de la cal se usan pigmentos, jabón vegetal y cera así como herramienta sencilla de albañilería.

Este recubrimiento no requiere de mucho mantenimiento ya que las superficies no se ensucian, no atraen polvo y no tienen juntas donde se pueda depositar la suciedad. (Leis et al., 2016).

Debido a que posee varios atributos y aspectos positivos, se produce la siguiente cuestión: ¿será viable técnica y económicamente la adaptación en la RCCM esta técnica constructiva propia de la arquitectura popular islámica (tadelakt) tomando como material base la cal para impermeabilización de muros en casas de interés social?

1.2 OBJETIVOS:

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar de manera cuantitativa si la técnica del tadelakt es apropiada para ser empleada en vivienda de interés social en términos técnicos y económicos, evaluando su nivel de permeabilidad al aplicarse en diferentes sistemas constructivos, así como los costos de aplicación.

1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- A. Investigar los materiales que se emplean en el tadelakt marroquí, sus características y de qué manera afectan el resultado final de la técnica haciendo que funcione.
- B. Entender las técnicas de elaboración y aplicación de la mezcla indicando las herramientas y procesos que son necesarios para lograrlo.
- C. Revisar las características de las cales propias de la región y buscar cómo igualarlas con la cal recomendada para el tadelakt.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- D. Reproducir de manera experimental la mezcla con los materiales obtenidos de la región y aplicarla a diferentes sistemas constructivos empleados actualmente para la construcción de vivienda de interés social en México.
 - E. Evaluar los niveles de permeabilidad de la técnica en cada uno de los sistemas constructivos empleados en el experimento.
 - F. Determinar el costo de la técnica considerando la obtención de los materiales, la elaboración y la mano de obra (MO).

1.3 ALCANCES DEL TRABAJO A DESARROLLAR

Los alcances de este trabajo están definidos por el tiempo de realización del mismo, con lo cual la investigación queda limitada a la ciudad de Aguascalientes buscando con ello generalizar para el resto de la RCCM.

- A. Para fines de sustentabilidad y viabilidad económica, los materiales, las técnicas y los sistemas constructivos con los cuales se experimentará serán propios de Aguascalientes y zonas aledañas.
- B. La campaña experimental será desarrollada en laboratorio debido a la dificultad que representaría la aplicación y monitorización de la técnica en una investigación de campo.
- C. Se tomarán talleres nacionales e internacionales de tadelakt para conocer los puntos finos de la técnica.
- D. Se escribirá un artículo para una revista científica y se presentarán los resultados en un Congreso Nacional o Internacional.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Considerando los cuatro tipos de clima propuestos por Victor Olgyay (1963) dentro de la arquitectura bioclimática, en la mayor parte de México y en el Norte de África (incluyendo Marruecos) prevalece el mismo clima: cálido y árido, que da lugar a construcciones populares similares. Por lo tanto, el Tadelakt pudiera ser una técnica popular que funcione para la construcción en el país.

Este tipo de recubrimiento estaría destinado a aplicarse especialmente en los cuartos húmedos de una casa habitación sustituyendo productos y materiales comerciales de origen químico e industrial como azulejos, pisos cerámicos, pinturas de esmalte, entre otros.

Esta técnica hidrófuga al estar compuesta de elementos naturales obtenidos de la región, supondría un método constructivo sustentable, de bajo impacto ambiental y a un costo accesible.

1.5 HIPÓTESIS

El tadelakt es apto para impermeabilizar muros en casas de interés social en la RCCM, por ser una opción viable en términos técnicos y económicos además de efectiva por su correcto funcionamiento, su alta durabilidad y su poca necesidad de mantenimiento.

1.6 METODOLOGÍA

- A. Se asistió a un taller de tadelakt en el estado de Guanajuato impartido por un maestro de construcción natural quien ha trabajado por años el acabado utilizando materiales nacionales. De igual manera se tomó un taller de tadelakt original marroquí en el cual se trabajó con materiales y herramienta tradicional, incluyendo cal hidráulica; este taller se llevó a cabo en Madrid, España con Paloma Folache, maestra certificada en tadelakt marroquí.
- B. Se consiguió un ejemplar de tadelakt fabricado en México a través de la empresa Oxical; asimismo, como resultado del taller, se obtuvo un espécimen de tadelakt marroquí elaborado con cal de Marrakech, pigmento y jabón negro.
- C. Se examinaron las propiedades de permeabilidad de estos ejemplares en laboratorio durante la campaña experimental. A partir de su estudio y de la

información adquirida en los talleres, se seleccionaron materiales regionales con características físico-mecánicas similares.

- D. Se procedió a la elaboración de pruebas piloto con los materiales seleccionados, las cuales fueron sometidas del mismo modo a ensayos de permeabilidad.
- E. Una vez que se logró un terminado similar al original, con bajos niveles de permeabilidad, se procedió a la elaboración de los morteros de tadelakt utilizando materiales regionales de costo accesible considerando que el acabado pretende aplicarse a vivienda de interés social; estos morteros se aplicaron a diferentes sistemas constructivos: muro de block de concreto, de tabique de barro rojo recocido y de adobe, en probetas que fueron sometidas a ensayos de permeabilidad y adherencia.
- F. Los resultados de los ensayos fueron sometidos a pruebas estadísticas para determinar en qué medida influyen los materiales en la permeabilidad del terminado.
- G. Se elaboró una estimación del costo de la técnica aplicada en México, considerando costos de material y MO.
- H. Se sometieron algunas muestras de tadelakt a un pulido mecánico para evaluar la efectividad técnica de este mecanismo, en la búsqueda de acelerar el proceso de aplicación y por lo tanto reducir costos en MO.
- I. Se concluyó objetivamente, valorando la factibilidad técnica y económica de la aplicación del tadelakt en cada uno de los sistemas constructivos estudiados.

1.7 VARIABLES EXPERIMENTALES

Las variables independientes con las que se trabajará en el experimento son:

- A. Los materiales regionales seleccionados para hacer las muestras de pasta.
- B. Los sistemas constructivos sobre los que se aplicó la pasta: muro de block de concreto, de tabique de barro rojo recocido y de adobe.

Se tienen las siguientes variables dependientes:

A. Permeabilidad

B. Adherencia



CAPÍTULO II

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

2. CAPÍTULO II. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

2.1 MARRUECOS

Marruecos se ha descrito como "hogar del tadelakt"; en este lugar la técnica tuvo su origen y es donde actualmente sigue siendo preservada y practicada.

Una de sus principales ciudades es Marrakech, fundada en el siglo XI por los almorávides. Fue durante mucho tiempo un importante centro político, económico y cultural del Occidente musulmán, con una gran influencia en todo el norte de África y Andalucía. La medina está declarada por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad.

Aquí las temperaturas alcanzan más de 40°C en verano mientras que en invierno, dependiendo de la altitud, las temperaturas pueden caer por debajo de los 0°C. Con este rango es de gran importancia adaptar las construcciones al clima (Ochs, 2010).

El diseño urbano y la arquitectura popular islámica evidencian la correcta comprensión e interpretación del entorno y la búsqueda por adaptarse a él. No son casualidad las estrechas calles que pretenden generar sombra y protección ante el agudo calor, las casas totalmente blancas que reflejan los intensos rayos solares, los patios interiores en los riads que forman un microclima o la utilización de materiales de construcción de bajo costo y fácilmente disponibles en el ambiente, como arcilla, arena, piedras, paja y agua, que conjuntamente ofrecen una excelente protección de la temperatura extrema. Como ejemplo están las kasbahs (grandes viviendas tipo fortalezas) hechas de adobe, las cuales son frescas en verano y calientes en invierno.

Los muros elaborados a base de tierra, además de proteger del clima por su elevada masa térmica, proporcionan una buena base para el Tadelakt ya que al absorber humedad garantizan el secado de éste último; más tarde dicha humedad almacenada se libera y apoya la recristalización del mortero de cal (Ochs, 2010).

2.2 ORIGEN DEL TADELAKT

La historia del Tadelakt comienza en el Imperio Romano, siendo el antecedente del microcemento (un revestimiento de alta calidad compuesto principalmente de morteros, polímeros, resinas y pigmentos):

“... El inicio de lo que hoy conocemos como microcemento está inspirado en el Tadelakt, palabra árabe que significa tierra o enlucido bruñido y hace referencia al empleo de una técnica/material, que se realizaba en el Norte de África, aunque su origen y difusión se sitúa en el Imperio Romano” (Penadés Sanz, 2014).

Su uso en África comienza hace más de 2,000 años, en un espacio incierto entre la Mezquita de Koutoubia, la Medina y el Palacio de la Bahía en Marrakech cuando se creó un material de construcción cuyo nombre, traducido del árabe significa “alisar por frotamiento” (Ochs, 2010).

Otra versión indica que la técnica fue descubierta en el s. XII cuando las murallas de Marrakech se construyeron, descubriéndose por accidente que mediante movimientos circulares de una piedra sobre una masa de cal se podían obtener superficies suaves y brillantes (Leis et al., 2016).

La cal que se empleaba era producida de manera artesanal en los viejos hornos de madera de Marrakech. La piedra caliza que se cocía en estos hornos era extraída (y es extraída actualmente) de unas montañas ubicadas cerca de la ciudad, el Alto Atlas, donde por un fenómeno geológico adquiría propiedades muy particulares, entre ellas resistencia al agua y la humedad (Leis et al., 2016).

Por esta razón empezó a utilizarse para contenedores de agua y más tarde su uso se extendió al interior de los hammams (baños públicos), en los riads, las kasbhas, las mezquitas y hospitales, en cocinas, patios baños y salones, incluso en piezas decorativas como lámparas y elementos cerámicos, consiguiendo superficies con tacto suave y un efecto cálido, sensual, natural, único y elegante.

Las fachadas principales y los interiores de muchos edificios antiguos, como las arcadas del alminar de la Koutoubia y las columnas que se elevan hasta los techos de la Mezquita de Hassan II, atestiguan la tradición milenaria del Tadelakt. Esta técnica actualmente sigue siendo utilizada por los artesanos locales quienes la han conservado basándose en los conocimientos y materiales del lugar y la transmiten a los jóvenes, como un oficio ecológico. Es parte del carácter de la arquitectura tradicional y no puede ser visto aisladamente de la tradición islámica de Marruecos.

2.3 DEFINICIÓN DEL TADELAKT

El Tadelakt puede ser considerado tanto un material como una técnica constructiva.

Se trata de un mortero o mezcla de cal con agua, al que se le incorporan jabón y aceite para aumentar su durabilidad e impermeabilidad; además se le añaden pigmentos minerales y es totalmente natural debido al origen de sus componentes (Rallo Gruss, 2006).

De igual forma, se considera un ejemplo de técnica de revestimiento de cal, es decir, una masa de mortero de cal en la que se pintan en fresco y con pigmentos los efectos estéticos que se persigan, terminándola mediante la compactación con herramienta metálica (llana) hasta conseguir una textura lisa. La superficie es tratada con una solución de aguas jabonosas y compactada con una piedra de granito pulida, (este pulido promueve una mayor repelencia al agua y por lo tanto una mejor protección contra la intemperie) siendo terminada en seco con una cera de abejas a la trementina que aumenta su impermeabilidad y brillo. (González Yunta, González Cortina, & Lasheras Merino, s.f.). Un ejemplo de técnica antigua similar es el Qudad de Yemen (Aires , Rute, & Said, s.f.).

Por ser un material hidrófugo es comúnmente aplicado en paredes interiores de baños. Es necesario mencionar que se emplea con mayor abundancia en casas de lujo (Snijder, 2013) debido a su alto costo en comparación con otros materiales que pudieran utilizarse para el mismo fin debido a la producción

elaborada de la técnica y a la necesidad de contar con mano de obra especializada.

2.4 LA CAL DEL TADELAKT

El tadelakt marroquí es aproximadamente 95% piedra caliza calcinada; el otro 5% es arena y ceniza que resulta del proceso de horneado. Dicha composición no está estandarizada, cambia según el proceso de calcinación. Esto puede verse reflejado en la variación del color del tadelakt que puede caer dentro de un espectro entre beige y gris (Ochs, 2010).

La producción o ciclo de la cal sigue varias fases: extracción de la piedra caliza, calcinación, apagado, preparación del mortero, aplicación y carbonatación (Leis et al., 2016)

Calcinando la piedra caliza a una cierta temperatura se obtiene la cal. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio, CaO). La calcinación industrial tiene continuas temperaturas entre 1000°C y 1450°C , las temperaturas en un simple horno marroquí son menores a 200°C y varía (Ochs, 2010).

Esta cal viva es apagada sometiéndola a un tratamiento con agua, ocasionando así una reacción exotérmica. Al producto que resulta de este proceso se le denomina cal apagada, (hidróxido de calcio, Ca(OH)_2).

La producción de la cal del tadelakt no ocurre hasta que un mortero es producido. A través de la adición de varias cantidades de agua, la cal viva extingue su sed y puede hacerse un mortero húmedo o dejarse como una base de polvo de cal seca (Ochs, 2010).

La base de cal endurece a través de una reacción con dióxido de carbono en el aire (carbonatación), dando como resultado la formación de ácido carbónico y liberación de agua. La piedra caliza se vuelve a formar.

Según su composición química y sus propiedades, la cal se clasifica en cal aérea, la cual contiene menos del 10% de elementos ácidos solubles y sólo se endurece al aire, y cal hidráulica, que contiene más del 10% de elementos ácidos solubles y

endurece tanto al aire como bajo la acción del agua o de la humedad, alcanza más rápidamente resistencias superiores a las de la cal aérea (Schmitt, 1990).

La cal hidráulica es una cal apagada, constituye parte esencial del tadelakt y debe de estar siempre incluida en su mezcla, así como arena de sílice y arcillas o algunos otros componentes como áridos de caliza, dolomías, marmolina, celulosa, etc. (Leis et al., 2016). Puede contener hasta un 35% de proporción de arcillas. A partir de este porcentaje se transforma en cemento de lento fraguado (Trujillo Cebrián, 2011).

La producción de cal hidráulica es extensa en el sur de Europa donde la piedra caliza tiene por naturaleza composición arcillosa (Leis et al., 2016).

A diferencia de la cal hidráulica, la cal aérea es un material que absorbe mucha humedad y se deteriora, por lo que solo debe emplearse en interiores o en locales sin mucha humedad, mientras que la cal hidráulica se puede emplear en cualquier ambiente (Crespo Escobar, 2013).

Los tipos de cales hidráulicas son: cal débilmente hidráulica (contiene de un 10 a un 15% de elementos ácidos solubles), cal hidráulica propiamente dicha y cal eminentemente hidráulica (ambas contienen por lo menos un 15% de elementos ácidos solubles) (Schmitt, 1990).

La cal del tadelakt tiene entonces estas características. Debido a que es resistente al agua por su capacidad de endurecer debajo del ella, es posible su uso en zonas húmedas.

2.5 LA TÉCNICA DEL TADELAKT

2.5.1 MATERIALES

Los principales materiales que se necesitan para aplicar la técnica original de Marruecos son: cal de Marrakech, pigmentos minerales, jabón negro marroquí y cera de carnauba.

Los pigmentos se utilizan para darle color al tadelakt. Esta decisión es opcional ya que, como se mencionó anteriormente, el tadelakt por sí mismo tiene su propia

coloración natural que varía entre gris y beige según las impurezas contenidas en la piedra caliza, la preparación de la mezcla, etc.

Es indispensable que estos pigmentos sean minerales naturales ya que los de origen vegetal y animal no coloran bien el mortero de cal y provocan mal olor (Leis et al., 2016). Los artificiales no se consideran aptos pero pueden emplearse.

De igual manera deben ser resistentes a la alcalinidad de la cal (de no ser así pueden cambiar su color drásticamente) y, si se piensa aplicar el tadelakt en el exterior, a la luz y al agua.

El color se modifica considerablemente a lo largo del proceso del tadelakt. En el secado pasa de un color oscuro a uno más brillante y se intensifica con el uso de la piedra durante el pulido. También cambia con la aplicación del jabón y si se decide usar cera. En consecuencia, se recomienda realizar muestras antes de elegir el pigmento, así como probar su compatibilidad con el tadelakt.

Normalmente, los pigmentos vienen en polvo. Es posible crear tonos diferentes a los comerciales mezclando colores.

El ingrediente que le otorga al tadelakt su impermeabilidad y brillo es el jabón negro o de aceite de oliva. Si no se consigue cualquiera de éstos se puede utilizar jabón vegetal neutro de uso doméstico.

Para facilitar su aplicación debe ser diluido en agua. Esta solución puede mantenerse en su envase por un largo periodo de tiempo sin ningún problema.

Durante el pulido penetra hasta las capas más profundas del recubrimiento y forma una reacción química con la cal, el estearato cálcico, que no disuelve en agua creando una capa hidrófuga y repelente a la suciedad.

La cera de carnauba puede ser líquida o sólida y funciona como una protección adicional del tadelakt (Leis et al., 2016). Su uso es opcional.

2.5.2 HERRAMIENTAS

Son indispensables algunas herramientas especiales para la aplicación del material: la llana de madera o flexible de plástico, la primera es la herramienta tradicional para aplicar el tadelakt, tiene la ventaja de que extrae parcialmente

agua del material aunque la de plástico es más fácil de manejar y su flexibilidad hace posible trabajar en esquinas difíciles y en los filos, pero no extrae humedad de la superficie y burbujas indeseables pueden aparecer; el rociador, se utiliza para humedecer la superficie del tadelakt con solución de jabón; la piedra de pulido, que puede ser desde una piedra de río hasta una piedra semipreciosa; brochas para pintar, como alternativa del rociador para aplicar la solución de jabón (Ochs, 2010).

Se requieren algunas herramientas adicionales como un recipiente de suficiente capacidad para mezclado, una mezcladora para el mortero y los pigmentos, una báscula para pesar los pigmentos, una espátula para levantar el mortero sobre la llana de madera, una esponja y un trapo suave de algodón o lana.

La herramienta que le da su particularidad al tadelakt es la piedra de pulido. Ésta puede ser desde una piedra de río lijada (de basalto o granito por ejemplo) hasta una piedra semipreciosa como ágata u ojo de tigre (Ochs, 2010). Debe modelarse de forma específica para el trabajo de tadelakt: un lado plano con cantos redondeados (Leis et al., 2016). Es importante que no sea porosa, de hecho a mayor dureza es más adecuada (entre 6 y 10 en la escala de Mohs).

2.5.3 PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DE LA MEZCLA

El tadelakt es un material natural y por lo tanto no está estandarizado pero deben seguirse ciertos principios.

Los muros que se usarán como base para recibir el material deben ser firmes, sólidos, capaces de soportar peso, no tener grietas, estar secos y limpios; depósitos de polvo actuarían como barrera entre el mortero a aplicar y la superficie, provocando una mala adhesión entre ambos.

Puede aplicarse sobre capas previas de morteros de cal aérea, cal hidráulica y cemento.

Otros sistemas constructivos como paneles de yeso, morteros impermeables, acabados cerámicos, azulejos y madera necesitan trabajos previos para generar anclaje mecánico (Leis et al., 2016).

A pesar de que con el tadelakt se generan superficies hidrófugas, es recomendable usar productos de impermeabilización en zonas que vayan a recibir agua directamente por ejemplo lavabos, regaderas y tinas de baño debido a que la absorción de agua de la superficie de tadelakt puede causar daños en los muros o soportes base que no son resistentes al agua con lo cual se producirán daños irreparables al acabado (Leis et al., 2016).

Recubrimientos antiguos, papel pintado y áreas contaminadas con aceites, grasas o moho, son bases inadecuadas para el tadelakt al igual que aquellas que no pueden cargar peso. Bordes filosos deben ser redondeados, de otra manera pueden astillarse (Ochs, 2010).

Del mismo modo es importante considerar las condiciones del ambiente. El tadelakt no debe trabajarse en temperaturas inferiores de 5°C. Puertas y ventanas deben permanecer cerradas y fuentes de calor directas, tales como calentadores, lámparas y los rayos directos del sol tienen que evitarse ya que el calor acelerará indeseablemente el proceso de secado (Ochs, 2010).

La superficie necesita estar suficientemente humedecida antes de que el tadelakt se aplique para garantizar una buena unión entre ellos así como prevenir un secado anticipado del mortero. Únicamente se debe humectar el área que se va a trabajar en una misma jornada.

El tadelakt se aplica en dos finas capas con un grosor de 2-3 mm cada una, por lo tanto el resultado final tiene un grosor de 4-5 mm.

A continuación se presentan por puntos y en orden los pasos a seguir en el proceso constructivo del tadelakt original:

1. Mezclar el mortero seco con agua limpia (2 partes de mortero por 1 de agua).

Largos periodos de mojado hacen que el material sea más suave y viscoso; debe ser usado dentro de los dos primeros meses cuidando que durante este tiempo se almacene en un envase hermético para protegerlo del secado.

2. Preparar el pigmento mineral (si es que quiere emplearse) mezclando en agua. Introducir a la mezcla de mortero y agua, batir.

Se aconseja no sobrepasar el 10% de la proporción del pigmento en mezcla seca para no saturar la mezcla y provocar una microfisuración.

3. Humectar la superficie antes de comenzar con la aplicación del Tadelakt.
4. Aplicar la primera capa (grosor 2-3mm) con la llana, de preferencia la tradicional llana de madera, talochar y esperar a que evapore la humedad superficial (5-30 minutos).
5. Cuando la primera capa esté en condiciones apropiadas (pérdida de humedad superficial y dureza suficiente) aplicar una segunda capa (grosor 2mm) de igual manera que la anterior.
6. Suavizar la superficie con llana con el fin de ir cerrando los poros mayores.
7. Dejar secar de 2 a 4 semanas dependiendo del grosor de la capa, la temperatura de la habitación, la humedad y las propiedades de absorción de la capa inferior.
8. Pulir con piedra haciendo pequeños movimientos circulares y presionando la superficie.

Para el pulido de áreas difíciles de alcanzar se pueden usar partes de botellas de plástico dándoles la forma requerida (en sustitución de la piedra).

9. Si se quiere, hacer decoraciones al fresco.
10. Aplicar jabón de aceite de oliva con esponja, brocha o rociando aproximadamente a un brazo de distancia.

Debe estar diluido en agua, con una consistencia que facilite su aplicación (mezclar 1 parte de jabón con 20 partes de agua). Se aplica alrededor de 24 horas después de la aplicación del mortero de tadelakt.

Solo puede ser presionado en el tadelakt cuando está en forma líquida, por lo que es preferible aplicar por áreas pequeñas para no correr el peligro de que seque.

11. Pulir con piedra o llana de plástico.
12. Dejar secar la superficie.

13. Como una protección adicional se puede aplicar cera de carnauba (líquida o sólida) con un trapo suave, brocha o esponja. No aplicar antes de dos o tres semanas después de acabado el trabajo del tadelakt.

14. Dejar endurecer la cera para después por frotamiento sacarle el brillo.

Un experto al día puede aplicar entre 1.20 m² y 1.50 m² haciendo que el costo de la técnica sea relativamente alto; sin embargo, la durabilidad y apariencia del material justifican su elaborada producción (Ochs, 2010).

Para cubrir 1 m² de superficie se necesitan entre 4 y 5 kg de mortero de cal de Marrakech.

2.5.4 TÉCNICAS DECORATIVAS

Antes de que endurezca el tadelakt y previo a la aplicación del jabón y el pulido, patrones decorativos, decoraciones o cenefas pueden ser grabados en la superficie.

Se muestran de manera general:

- A. Fresco: los dibujos se hacen con pigmentos mezclados en agua de cal.
- B. Efecto esponjeado: se consigue añadiendo pigmentos al jabón y aplicándolo de forma irregular con una esponja.
- C. Estarcidos: para dar matices de color o estarcidos con la cera. Se coloca la plantilla de estarcir en la pared ya enjabonada y se aplica la cera coloreada con una esponja.
- D. Esgrafiado: se puede hacer sobre dos capas de tadelakt del mismo color o sobre dos capas de colores diferentes. Consiste en raspar la superficie antes de que endurezca con un cincel, siguiendo un diseño el cual es realizado por el efecto de sombreado que hace el bajo relieve y la diferente textura, queda un efecto de claro-oscuro.
- E. Cera mezclada con pigmentos: si se desea cambiar el tono o añadir color al tadelakt, se puede mezclar el pigmento con cera y añadir nuevas tonalidades. Con ayuda de un trapo suave empapado en cera de carnauba en pasta y un poco de la pasta de pigmento, se reparte

la mezcla de forma creativa sobre la superficie repitiéndose la operación tantas veces se quiera hasta conseguir el efecto deseado (Ochs, 2010).

2.5.5 REPARACIONES Y MANTENIMIENTO

Las superficies de tadelakt requieren de muy poco mantenimiento, pueden ser limpiadas con la solución de jabón y una muñequilla de plástico para ayudar a recobrar su brillo y a refrescar el efecto de hidrofobicidad (Ochs, 2010). Se aconseja enjabonar de nuevo durante los primeros 2-3 meses, después de terminado el tadelakt, las paredes que de manera frecuente van a recibir agua directamente (Leis et al., 2016).

En superficies enceradas es aconsejable aplicar cera una vez al año con un trapo suave o esponja. Una vez seca hay que frotar para sacarle brillo.

No se deben utilizar nunca productos comunes de limpieza doméstica, ni productos abrasivos o ácidos. Tratamientos con productos como cera o barnices tampoco son necesarios, de hecho pueden dañar el material por obstaculizar el intercambio de dióxido de carbono.

No se debe arañar la superficie. Pequeños daños, golpes, rompimientos o arañazos pueden ser reparados durante la compactación y el pulido rellenando con pasta de tadelakt fresca del mismo color. Es preciso aclarar que pequeños patrones de grietas pueden aparecer, en general éstas no son vistas como defecto porque parecen decorativas y acentúan la especial apariencia del acabado. No afectan la impermeabilidad ni vida útil de la superficie y aparecen normalmente cuando el tadelakt ha sido presionado fuertemente y se ha secado muy rápido. Se puede tratar con varios tratamientos de jabón de aceite de oliva y la piedra de pulido (Ochs, 2010).

Los daños grandes indican un acabado defectuoso y pueden disminuir la durabilidad del tadelakt. Pueden formarse por una mala composición del material, por dejar capas muy gruesas y fuertemente presionadas, por secar

demasiado rápido o porque la capa base carece de firmeza suficiente o no proporciona suficiente anclaje mecánico para el tadelakt (Ochs, 2010).

Para reparar este tipo de daños es necesario cortar con un cutter y seguir los mismos pasos del trabajo de aplicación del tadelakt. Nunca se conseguirá una perfecta unión entre el tadelakt antiguo ya carbonatado y pulido con la zona reparada, se tendrá una cicatriz visible por tanto es necesario considerar si fuese mejor rehacer toda la pared (Leis et al., 2016).

La vida de una superficie con tadelakt original puede durar varias generaciones, reduciendo a través del tiempo el alto costo inicial de producción (Ochs, 2010).

2.6 TADELAKT Y ARQUITECTURA

Es necesario reconocer las ventajas del tadelakt y su papel dentro de la arquitectura para así comprender su importancia como material o método constructivo.

En primer lugar sobresalen sus cualidades ecológicas y sostenibles por varias razones: a) su proceso artesanal y la utilización de productos naturales a diferencia de materiales industriales que requieren de una multitud de máquinas y aditivos químicos para elaborarse. b) Su alta durabilidad ya que con el cuidado apropiado permanecerá por varias generaciones. c) La posibilidad de retornar a la naturaleza sin consecuencias negativas para el ambiente, tomando en cuenta que la cal tiene un ciclo y que regresará a ser químicamente idéntica a la piedra caliza original (Ochs, 2010).

Otros de los atributos que posee son su versatilidad de uso, ya que puede ser aplicado tanto en áreas exteriores como interiores, sobre elementos arquitectónicos (muros, pilares, escaleras, pisos, etc.), mobiliario o accesorios como jarrones y vasijas. Su alcalinidad natural previene el crecimiento de hongos siendo innecesario el uso de fungicidas y bactericidas que dañan el medio ambiente. Proporciona (especialmente cuando se aplica a una base de tierra) temperatura ambiente constante pues tiene una gran capacidad de regular la humedad existente en el aire. Por último, por la misma naturaleza de los

materiales que se emplean y por ser elaborado por artesanos, cada trabajo es único y comparable a una obra de arte (Ochs, 2010).

Un aspecto negativo ecológicamente hablando y que hay que mencionar, son las largas distancias a recorrer para el transporte de los materiales originales (como la cal de Marrakech) desde Marruecos a otros continentes.

Tradicionalmente el tadelakt es usado en el interior de cuartos húmedos, ahí las propiedades especiales del material, especialmente su superficie repelente al agua y sus efectos fungicidas y antibacteriales, son ventajosas. Incluso en habitaciones mal ventiladas es casi imposible que el moho crezca. También es muy adecuado para chimeneas, porque el material es resistente al calor intenso. La superficie continua y sin costuras del material es de gran ventaja, sobre todo para una cocina debido a que no hay uniones donde pueda acumularse polvo y suciedades; además esta característica hace posible diseños minimalistas, con lo que se puede utilizar igualmente para proyectos modernos y conservadores (Ochs, 2010).

A continuación se mencionan algunos ejemplos arquitectónicos donde aparece el tadelakt.

Los recubrimientos de tadelakt conservados de posiblemente mayor antigüedad, se pueden encontrar en un baño de vapor del supuesto kasbah más antiguo en el valle de Draa en Tamnougalt, al sur de las montañas del Atlas. Otro ejemplo es el antiguo hammam del kasbah de Taourirt en Ouarzazate, construido en 1754. Estos modelos revelan la forma marroquí de proteger la tierra del agua a través del tadelakt en espacios cerrados sometidos usualmente a altas temperaturas (45-65°C) y humedades (70-90%) (Wolff, Diederichs, & Ait el Caid, 2014).

Otros ejemplos dentro de la arquitectura islámica donde se hizo uso del tadelakt son las arcadas del alminar de Kutubiyya en Marrakech (García Bueno & Medina Flórez, 2001) y las columnas de la Mezquita de Hassan II en Casablanca, Marruecos (Woodington Barnes, 2008) .

Más cercano a la actualidad, grandes casas con patio interior llamadas riads han sido restauradas como lujosos hoteles en las últimas décadas, y las habitaciones

han sido terminadas con tadelakt. Algunos de estos riads intervenidos son: Enija, Darkoum, Elleville, Essaouira y Boussa en Marruecos (Ochs, 2010).

Como muestra de arquitectura sustentable y a pesar de no estar construido, el Dazzling Dome Bank con ubicación en Marruecos y proyectado bajo la firma del reconocido Arquitecto británico Norman Foster, propone el uso de técnicas antiguas árabes: el empleo de materiales de la zona como el granito negro y la piedra caliza gris, revestimientos exteriores de azulejos tradicionales y, por supuesto, el interior representado en tadelakt, la técnica de estuco local (Mohammadjavad, Arash, Airya, Setareh, & Narjes, 2014).

La casa piscina diseñada por los arquitectos Roz Barr en Granada, España, es una expresión de la arquitectura contemporánea en la que sus interiores están recubiertos con el tadelakt tradicional (Maclean, 2015).

Por último, al final de su libro *Tadelakt An Old Moroccan Plaster Technique Newly Discovered* Ochs, 2010 muestra un recopilado de trabajos relativamente recientes de acabados con tadelakt realizados por diferentes fabricantes y distribuidores de materiales y situados en distintos países aparte de Marruecos como Holanda, Grecia, Suiza, Alemania y Francia, es decir, el uso de la técnica se ha expandido en los últimos años más allá de su lugar de origen. En dicho compendio el tadelakt aparece en baños de residencias, cocinas, chimeneas, riads, muros interiores y exteriores, pabellones, mobiliario y vasijas de cerámica.

2.7 INVESTIGACIÓN ACTUAL SOBRE EL TADELAKT

Actualmente son varias las fuentes de referencia donde se menciona el tadelakt como tal; sin embargo, son pocas las que profundizan en él.

Difícilmente podrá ser encontrado en obras de referencia como enciclopedias o diccionarios, pero sí existen algunos libros que tratan exclusivamente sobre dicho acabado así como publicaciones y documentos especializados, lo cual indica que el tadelakt, a pesar de ser una tradición milenaria, se ha comenzado a estudiar de manera reciente.

Existen cuatro documentos de gran utilidad para esta investigación debido a la profundización que contienen del tema. El primero, *Tadelakt. An old moroccan plaster technique newly discovered* de Michael Johannes Ochs hace una descripción detallada sobre la técnica, sus propiedades químicas y aplicación, así como un repaso del tadelakt en la actualidad.

El segundo, *Tadelakt. Guía paso a paso* de Leis, T., Folache, P., Barahona, F., & Jurmann, K, se refiere a una guía muy completa de aplicación del tadelakt en la cual se especifican herramientas y materiales, aspectos de seguridad, preparación de la mezcla y de la superficie, recomendaciones, técnicas decorativas, mantenimiento, entre otros.

Por último, se contó con los artículos *Hydropobized Lime Plasters as Protective Surface in Wet Rooms in Monument Preservation* y *Non-destructive Prospection of Ancient Steam Bathes Covered with Tadelakt* de la investigadora alemana Britta Wolff. En el primero se hace un análisis de la adherencia mecánica del tadelakt y su reacción química con materiales de tierra; el siguiente se enfoca en el estudio de arquitectura antigua para demostrar que el uso de recubrimientos de cal comprimidos e hidrofobizados (tadelakt) ayudan a la preservación de monumentos.

Actualmente son muchas las empresas e instituciones en Europa que investigan, promueven, aplican o distribuyen el material: Kreidezeit y Tierrfino con sede en Alemania, Alen & Calche y Embarro en España, Säätvad Ehituslahendused en Estonia, el Instituto del Tadelakt Marroquí en Marruecos, entre otros.



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3. CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1 SIMILITUDES CLIMÁTICAS ENTRE MÉXICO Y MARRUECOS

Para esta investigación se aceptará la definición del tadelakt como una técnica o material constructivo hidrófugo de origen marroquí hecho a base de cal hidráulica, jabón, cera y pigmentos naturales.

El tadelakt por ser una técnica constructiva propia de la arquitectura popular de Marruecos se adecúa totalmente al lugar, especialmente al clima, el cual se refiere al conjunto de condiciones atmosféricas de una región, como la cantidad de lluvia, la intensidad del viento y las variaciones de temperatura (SEP, 2008) El proceso de aplicación del acabado está condicionado por este factor pues no debe trabajarse en temperaturas muy bajas ni en condiciones que influyan en su proceso de secado, de lo contrario pueden surgir grietas y dañarse. Por lo tanto, es de suma importancia considerar las condiciones ambientales del sitio donde se esté aplicando.

Dentro de la arquitectura bioclimática se señalan cuatro tipos de clima (Olgay, 2015): cálido y húmedo, cálido y árido, templado y frío. A lo largo de la historia se han determinado distintas estrategias y tipologías arquitectónicas según la zona climática teniendo como fin la búsqueda de las condiciones óptimas de confort térmico; la vivienda autóctona nace de su relación con el entorno (Olgay, 2015).

En el norte de África la construcción vernácula se caracteriza por sus muros protectores de piedra o arcilla cocida que soportan una cubierta plana y por el predominio de la proporción del macizo sobre el vano, al igual que en las regiones áridas y desérticas de México, es decir, la arquitectura propia de ambos lugares nos habla de climas similares: calientes, con escasa lluvia y grandes cambios de temperatura entre el día y la noche; no es casualidad que grupos de diferentes continentes, creencias y culturas llegaran a soluciones similares en su lucha con entornos parecidos, y que hayan establecido características regionales básicas (Olgay, 2015).

Un factor principal que hace que las condiciones atmosféricas varíen de un lugar a otro es la latitud geográfica. En Marrakech la latitud es de 31°37 N. En el caso de México, la latitud de una de las ciudades ubicadas más al norte del país, Ensenada, Baja California es de 31°52 N. Se puede observar que existe una cierta correspondencia entre las latitudes de Marruecos y la parte norte de México. Según (Heywood, 2015) el clima cálido y seco se produce en latitudes situadas entre 15 y 30° al norte y sur del Ecuador.

Otra base más específica es la clasificación climática de Köppen-Geiger, que relaciona cada tipo de clima con una nomenclatura que indica el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan dicho tipo de clima. Según esta clasificación existen varios climas en Marruecos pertenecientes al grupo B (seco), C (Templado) y D (Continental). Específicamente en Marrakesh se tiene un clima BSh, es decir, semiárido cálido. En México, obedeciendo a esta misma clasificación, se tiene una gran diversidad de climas a lo largo de su territorio. En Aguascalientes predomina al igual que en Marrakech el clima Bsh. Otras ciudades que comparten la misma nomenclatura son León, Monterrey, Santiago de Querétaro y Chihuahua. Dado lo anterior el tadelakt puede adaptarse en ciertos lugares de México de la misma forma que ocurre en Marruecos debido a las similitudes climáticas que comparten.

3.2 REGIÓN DE CLIMA CÁLIDO DE MÉXICO

Desde el inicio de este documento se ha hablado sobre la RCCM. (Región de Clima Cálido de México). Para definir esta región se tomará la clasificación de INEGI de los climas existentes en México (Figura 1); por temperatura el clima puede ser cálido o templado y de acuerdo con la humedad en el medio puede ser húmedo, subhúmedo o muy seco.



Figura 1 Climas en México (SEP, 2008)

La suma del porcentaje de los lugares de clima seco y de clima muy seco en México comprenden el 49.1%, prácticamente la mitad del territorio nacional. Se encuentran en la mayor parte del centro y norte del país, con precipitaciones anuales de 100 a 600 mm ("CONAGUA,").

Cada vez que se haga mención en este documento de la RCCM se hará referencia a las zonas de clima seco y muy seco que comprenden casi la totalidad de la península de Baja California así como la mayor parte de Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Durango, San Luis Potosí y Aguascalientes.

Ésta sería entonces la región donde pudiera funcionar correctamente la técnica del tadelakt.

3.3 ADAPTACIÓN DEL TADELAKT A MÉXICO

Algunos maestros de construcción natural de larga trayectoria profesional en México han estudiado, practicado y aplicado por años el acabado haciendo algunas modificaciones al original para adaptarlo a la región obteniendo buenos resultados.

Las principales adaptaciones realizadas tienen que ver con la materia prima necesaria para hacer tadelakt. En Marruecos para la técnica original se emplean materiales que están disponibles en el lugar; sin embargo, en México no existen o no son de fácil obtención por lo que se ha buscado sustituirlos por unos que sí lo sean, por motivos ecológicos y de viabilidad económica.

Al igual que el recubrimiento marroquí, el tadelakt en México es aplicado a dos capas, incluso tres si llegara a ser necesario. Se elabora una mezcla diferente para cada una.

El cambio más significativo consiste en sustituir la cal hidráulica de Marrakech por cal hidratada de bulto para la primera capa y en pasta para la segunda. Para la elaboración de ambas mezclas es necesario agregar arena de cualquier tipo, las mejores son las que poseen partículas con ángulos agudos y filosos como la arena caliza. Es indispensable trabajar con distintas granulometrías para obtener una capa base de tadelakt gruesa y otra fina. Todas las capas llevan pigmento, el cual puede ser mineral o sintético y no debe sobrepasar el 10% del total de la mezcla. (Figura 2).



Figura 2 Mezclas para aplicar tadelakt adaptado a México. La que aparece del lado derecho, elaborada con cal hidratada de bulto, correspondería a la primera capa. A la izquierda, la mezcla hecha con cal hidratada en pasta se aplicaría para la segunda capa.

El recubrimiento más grueso se aplica con llana sobre una superficie húmeda, de preferencia un repellado base de 1.00-1.50 cm de espesor de mortero cal-arena (figura 3). Una vez que la capa ha perdido humedad superficial es trabajada con una flota de madera de pino por ser una madera suave que entra a mayor profundidad y/o una flota con esponja. Esta parte del proceso ayuda a abrir los poros de la superficie generando un buen anclaje mecánico para recibir el repellado mediano que puede ser o no el acabado final. La mezcla es a base de cal en pasta (aunque también pudiera emplearse cal hidratada) la cual debe ser pulida y comprimida con la piedra.



Figura 3 Primera capa de tadelakt aplicada sobre muro por maestro de construcción natural, previa a ser trabajada con la flota de madera (fotografía propia del autor).

Si no se llegara a tener una terminación bien cerrada es necesario aplicar un repellado fino hecho a partir de cal en pasta y pigmento, no se coloca arena en la mezcla. Es importante aplicar las capas en fresco trabajando toda la superficie el mismo día para que el resultado sea un único recubrimiento. Posteriormente, deben aplicarse dos o tres manos de solución de jabón con agua dependiendo del tiempo de absorción de éste, incluso en algunos casos pudieran requerirse más. Es importante que el jabón sea aplicado en forma líquida para que pueda ser presionado correctamente con la piedra (figura 4). En este momento es donde se obtiene el estearato cálcico. Por último, al

día siguiente de la aplicación del tadelakt se pasa un trapo suave con la solución de jabón sobre la superficie. Ya no hay pulido después de este paso.



Figura 4 Apariencia de muro recubierto con tadelakt después de haberse aplicado y pulido la solución de jabón.

Como se mencionó anteriormente, el jabón en Marruecos es a base de hidróxido de potasio (KOH); no obstante, en México se carece de este material ya que los jabones domésticos son elaborados a partir de hidróxido de sodio (NaOH). En teoría éste también funciona para formar el estearato cálcico, sin embargo, no mejor que el primero.

3.4 UN NUEVO MATERIAL CONSTRUCTIVO

El tadelakt original es un material único por su tradición, el arraigo con su lugar de origen, su valor dentro de la arquitectura (sobre todo la islámica), por la particularidad de materiales, herramientas y procesos que utiliza, etc.; es por eso que al pretender adaptarlo a la región de clima cálido de México (RCCM). en términos de viabilidad técnica y económica, este trabajo no busca restarle valor, sino crear un material constructivo similar que retome los principios técnicos y sustentables del original obteniendo las mismas propiedades y beneficios.

Si el tadelakt se aplicara en México con cal de Marrakesh, jabón negro y cera de carnauba, la importación repercutiría fuertemente en el costo incrementándolo aún más que el original, haciendo del material algo inaccesible; así mismo la técnica dejaría de ser ecológica.

El material original es de alto costo por su producción artesanal y elaborada; sin embargo, pudieran reducirse costos de mano de obra si se mejora la técnica empleando tecnología sencilla para crear procesos mecanizados, simplificados, automatizados y por lo tanto más rápidos.

La aplicación de una técnica de este tipo y el uso de materia prima local, lleva a hablar de un nuevo material/ método constructivo, que no compite ni reemplaza al original.

3.5 INVESTIGACIÓN DE REFERENCIA

Wolff (2013) presenta información sobre los coeficientes obtenidos de pruebas de absorción de agua y adherencia realizadas a muestras de tadelakt original en comparación con otros materiales naturales de construcción (tabla 1).

Es posible observar que el tadelakt tiene una reducida capacidad de absorción de agua en comparación con otros recubrimientos hechos de cal o de tierra.

Tabla 1 Coeficientes de absorción de agua de diferentes materiales naturales de construcción (Wolff 2013, 67).

Material de construcción	Coeficiente w absorción de agua	Referencia
Tadelakt	0.2 (0.04-1.9)	Resultados propios de la prueba
Recubrimiento de pasta de cal, pulido	0.24	
Recubrimiento de pasta de cal, mate	1.5	
Recubrimiento de pasta de cal, rugoso	2.4	
Recubrimiento adhesivo de cal	12.9	
Recubrimiento base de tierra, suave	5.8	
Recubrimiento de tierra, rugoso	10.9	
Recubrimiento de tierra, rugoso	7.7	Resultados según Minke [13]
Block de tierra, limoso 1900 kg/m3	3.7	
Block de tierra, arcilla 1940 kg/m3	1.6	

Material de construcción	Coefficiente w absorción de agua	Referencia
Arcilla ligera mezclada con paja, 450 kg/m ³	2.4	Resultados según Minke [13]
Arcilla ligera mezclada con paja, 850 kg/m ³	3.6	
Arcilla ligera mezclada con paja, 1150 kg/m ³	3.1	
Ladrillo, 1750 kg/m ³	25.1	Según Buss [13]

Para establecer la fuerza adhesiva en las pruebas se usaron diferentes recubrimientos base y se utilizó un dispositivo de ensayo de resistencia adhesiva junto con un taladro de núcleo (tabla 2).

Tabla 2 Resistencia adhesiva de recubrimientos de cal sobre tierra (Wolff, 2013).

Superficie de la muestra	Int. No.	Recubrimiento base	Recubrimiento	β_{HF} N/mm ²	Clasificación / comentarios	Edad de la cal
1	4	Tablero de barro de construcción (Tierra, cañas, yute) 18 mm	Tadelakt 5% luz verde umbra,	0.034	Insuficiencia de cohesión (rompimiento en forma de cráter en el centro de la placa de arcilla de construcción sobre cañas)	10 semanas
2			2 capas	0.020		
3	10	Acabado de tierra, 5mm grueso	Tadelakt 10% rojo ocre, 2 capas	0.78	Fracaso de cohesión (rotura regular en el área completa del recubrimiento de tierra debajo del Tadelakt)	9 semanas
4	A	Tablero de arcilla de construcción	Recubrimiento adhesivo de cal, fino	0.028	Falla de cohesión (Rompimiento en forma de cráter en el centro de la placa de tierra de construcción sobre cañas)	1 semana
5		Tablero de arcilla de la construcción (pre-humedecido)		0.031		
6		Tablero de arcilla de construcción		0.032		

Superficie de la muestra	Int. No.	Recubrimiento base	Recubrimiento	β_{HF} N/mm ²	Clasificación / comentarios	Edad de la cal
7	B	Revestimiento de tierra 5mm en Fermacell	Recubrimiento adhesivo de cal, fino	0.133	80% de falla media a cal pl. 20% de falla de adherencia a Fermacell / recubrimiento de tierra	1 semana
8		Revestimiento de tierra 5mm pre-humedecido en Fermacell		0.091		
9	C	Recubrimiento de tierra 5mm	Cal desnatada sin pulir 2 capas.	0.35	Fracaso de cohesión (rotura regular del área completa del recubrimiento de tierra debajo del tadelakt)	2 semanas
10	D	Recubrimiento de tierra, 5mm, pre-humedecido.	Recubrimiento adhesivo de cal, fino	0.057	Falla de cohesión media al recubrimiento de cal Falla de cohesión media al recubrimiento de cal Falla de cohesión media al recubrimiento de cal Falla de cohesión en recubrimiento de tierra, granulación de cal visible en agujeros	3 semanas
11		Pre-humedecido + llave de llana		0.062		
12		Pre-humedecido + llave de llana		0.051		
13		Perforado con tablero de uñas		0.065		

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

4. CAPÍTULO IV. DISEÑO DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

El tadelakt, junto con otros acabados naturales, es un material que se emplea poco, inclusive fuera de México. Esto se debe al desconocimiento científico y a la falta de regulaciones y estándares de construcción que brinden seguridad y garantía de su funcionamiento, haciendo que el uso generalizado de este recubrimiento esté lleno de riesgos e incertidumbre. Por este motivo es difícil considerarlo una alternativa ante otros materiales como azulejos o pisos cerámicos cuyo uso casi no se puede evitar en espacios en constante contacto con agua y/o humedad (Wolff, 2013).

Con la finalidad de evaluar la aplicabilidad de la técnica en México (dadas sus semejanzas climáticas con el sitio donde se originó el material) se optó por aplicar un acabado equivalente elaborado con materiales locales fácilmente disponibles, consiguiendo una técnica similar a la original. Para la campaña experimental se decidió evaluar específicamente dos propiedades al tadelakt: absorción y adherencia, con lo cual será posible obtener una comprensión medible y cuantitativa del acabado y por consiguiente determinar su efectividad al ser elaborado con los distintos materiales locales.

4.1 DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS

Los sustratos seleccionados para realizar las pruebas son el tabique de barro rojo recocido, el block de concreto y el concreto recubiertos con un repellado base de cal-arena prop. 1:3.

Tanto por su fabricación, que puede ser a base de una cierta variedad de insumos, como por la técnica de aplicación tan elaborada, el tadelakt se encuentra determinado por numerosas variables; sin embargo, para esta investigación se consideraron las siguientes variables independientes:

- Tipo de arena: triturada o de río.
- Tipo de cal: en pasta o de bulto (para la segunda capa).
- Tipo de jabón: a base de potasa cáustica o sosa cáustica.

En el caso de la arena, se eligieron la arena triturada y la de río por tener un costo menor, en comparación de la marmolina por ejemplo, lo cual las hace más aptas para ser aplicadas en vivienda de interés social, aun así se hicieron algunas pruebas piloto utilizando marmolina por ser la arena mayormente recomendada por los maestros de construcción natural en México, tanto por sus ángulos filosos que se adhieren mejor al sustrato como por su color blanco que permite una exposición más pura del color y tono del pigmento.

A todas las muestras se le añadió una primera capa a base de cal hidratada de bulto (por ser más económica que la cal hidratada en pasta), por lo que la variable del tipo de cal aplica sólo para la segunda capa.

Cabe también señalar que a ninguna de las mezclas hechas para la elaboración de los especímenes se les añadió pigmento, ni para la primera ni para la segunda capa.

En la tabla 3 se muestra el número de probetas realizadas según las variables y sustratos optados, teniendo un total de 24 probetas (tabla 3).

Tabla 3 Número de probetas según las variables y sustratos considerados para la etapa experimental.

Sustratos	Aplicación a vivienda de interés social								
	Arena Triturada				Arena de Río				
	Cal en pasta Jabón potásico	Cal en pasta Jabón Normal	Cal de bulto Jabón Potásico	Cal de bulto Jabón Normal	Cal en pasta Jabón potásico	Cal en pasta Jabón Normal	Cal de bulto Jabón Potásico	Cal de bulto Jabón Normal	
Tabique (Con Repellado Base)	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Concreto (Con Repellado Base)	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Block (Con Repellado Base)	1	1	1	1	1	1	1	1	8
	3	3	3	3	3	3	3	3	24

4.2 SUSTRATOS

Se optó por aplicar el tadelakt sobre diferentes sistemas constructivos modernos utilizados en la región centro-norte de México: el tabique de barro rojo recocido, el block de concreto y el concreto (figura 5) para analizar el comportamiento del acabado y, por lo tanto, su efectividad en cada uno de ellos.



Figura 5 Materiales base considerados para la aplicación del tadelakt. Aparece de izquierda a derecha: block de concreto, pieza de concreto y tabique de barro rojo recocido.

Las piezas de tabique usadas para esta investigación fueron obtenidas dentro del estado de Aguascalientes con medidas de 7cm x 14cm x 28cm. En el caso del block de concreto se utilizaron piezas prefabricadas de fácil obtención en la región con medidas de 12cm x 20cm x 40cm.

Por último, las piezas de concreto fueron fabricadas en laboratorio. Se utilizaron a manera de cimbra moldes de madera de pino de 3ª de 1" de espesor y dimensiones de 15cm x 30cm, fueron lubricados con líquido desmoldante antes de que se realizara el colado de los elementos con concreto cemento-grava-arena proporciones 1:1:1.5 (figura 6; figura 7). Se dejaron fraguar durante 1:30 hr para darles un acabado final cerrado con llana de acero y así obtener un acabado similar al de un elemento constructivo de albañilería como un castillo o una cadena de desplante o cerramiento (figura 8).



Figura 6 Moldes de madera utilizados como cimbra. A un lado aparece la mezcla de concreto previa al colado de las piezas.



Figura 7 Pieza de concreto recién colada.



Figura 8 Pieza de concreto con acabado cerrado con llana de acero.

A todas las probetas, independientemente del tipo de sustrato y previo a la aplicación del tadelakt, se les aplicó un repellado base de 1cm – 1.5cm de grosor de cal-arena con proporciones 1:4 (figura 9). Es posible aplicar tadelakt

sobre un repellado de cemento, sin embargo esto puede ocasionar problemas a futuro debido a que el tadelakt es un material repelente y resistente al agua más no impermeable, de hecho es permeable, no permite el paso de las moléculas de agua pero deja pasar vapor. Por lo tanto, es posible que esta transpiración posteriormente dañe no al repellado base si no al mismo tadelakt por problemas de retención de agua causados por la impermeabilidad del cemento.



Figura 9 Diferentes materiales constructivos recubiertos con repellado base hecho de cal y arena.

El tadelakt, por ser un acabado delgado de no más de 5mm de espesor, difícilmente podrá absorber imperfecciones u oquedades existentes del plano donde se aplique, por lo que es necesario tener el repellado base el cual le otorga una superficie uniforme de un mismo material y textura y que además le permite tener un secado regular previniendo posteriores fisuras.

4.3 ELABORACIÓN DE JABÓN POTÁSICO

Parte de la efectividad del tadelakt original se debe al jabón pues es el que le otorga su brillo e hidrofobicidad. Este jabón, como ya se explicó anteriormente, es a base de hidróxido de potasio (KOH) y es el jabón doméstico empleado mayormente en Marruecos el cual puede ser jabón negro o de aceite de oliva;

en México un jabón de este tipo es de difícil obtención debido a que la mayoría de los jabones se elaboran a partir de hidróxido de sodio (NaOH). Según los el primero funciona mejor que el segundo para obtener el estearato cálcico en conjunción con la cal, por lo cual se optó por fabricarlo en laboratorio y posteriormente compararlo con uno de fácil obtención a base de hidróxido sódico o sosa cáustica (NaOH).

Se necesitaron tres ingredientes para la elaboración del jabón potásico:

- A. Potasa cáustica o hidróxido de potasio (KOH)
- B. Aceite de oliva virgen
- C. Agua destilada

Se llevó a cabo el siguiente proceso para su fabricación:

1.4 Se aplicaron 35 gr de hidróxido de potasio en un vaso de precipitados con agua destilada (80 gr) formándose así una reacción exotérmica. Para establecer de manera correcta las cantidades de los componentes, fue necesaria la utilización de una báscula bien calibrada (figura 10; figura 11; figura 12).

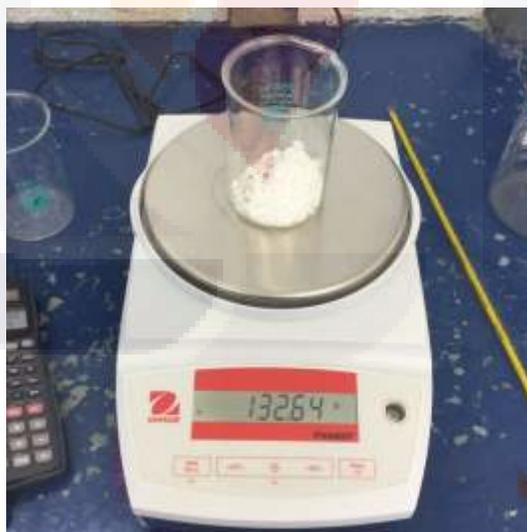


Figura 10 Determinación de la cantidad de hidróxido de potasio con la utilización de la báscula.



Figura 11 Determinación de la cantidad de agua destilada con la utilización de la báscula.

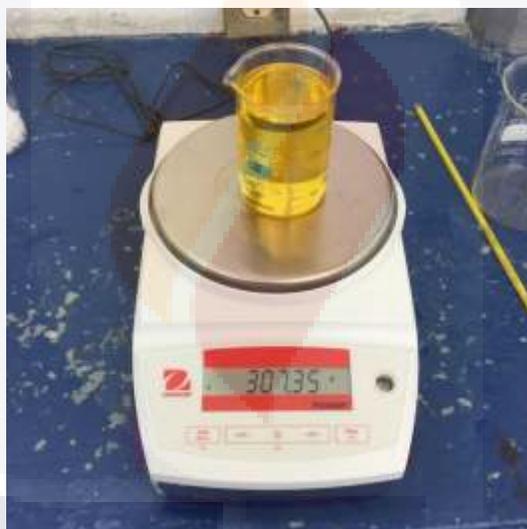


Figura 12 Determinación de aceite de oliva virgen con la utilización de la báscula.

2.4 Al mismo tiempo, se calentaron 210 gr de aceite de oliva virgen dentro de un vaso de precipitados hasta que alcanzó una temperatura de 60°C (figura 13).



Figura 13 Aumento de la temperatura del aceite de oliva virgen con ayuda de una parrilla de gas.

3.4 Las temperaturas del contenido de ambos vasos se midieron con termómetro (figura 14). Una vez que llegaron a la misma temperatura (60°C) se vació la solución de potasa cáustica y agua destilada sobre el aceite y se mezclaron, despacio al inicio con un agitador y posteriormente de manera más rápida con batidora eléctrica de cocina (figura 15).



Figura 14 Medición de la temperatura con termómetro de la solución de hidróxido de potasio (KOH) con agua destilada y del aceite de oliva virgen.



.Figura 15 Mezcla con batidora eléctrica de la solución de hidróxido de potasio (KOH) y agua destilada con el aceite de oliva virgen.

4.4 APLICACIÓN DEL TADELAKT

Para la aplicación de la técnica se siguió el método empleado por los maestros de construcción natural explicado en el capítulo anterior, además de haberse considerado las indicaciones y recomendaciones pertinentes expresadas en la literatura.

De manera general se respetaron los siguientes parámetros para la elaboración de las muestras:

- a) Las herramientas que se utilizaron a lo largo del proceso de aplicación del tadelakt fueron: llana de acero, flota de madera, flota con esponja, piedras de granito, brocha y herramienta sencilla de albañilería como cuchara, espátulas y halcón (figura 16).



Figura 16 Herramientas utilizadas durante el proceso de aplicación del tadelakt.

Las piedras de granito se obtuvieron a partir de los segmentos de una placa de 3cm de espesor; fueron trabajadas y pulidas por maestros marmoleros del estado de Aguascalientes para cumplir con las características requeridas por la técnica dejando una cara plana con cantos redondeados.

- b) El repellado base se elaboró a partir de mortero cal-arena proporción 1:3, de 1 cm de espesor (figura 17).



Figura 17 Probetas con repellado base de mortero cal-arena previas a la aplicación del tadelakt.

- c) El tadelakt se colocó a dos capas.

- d) A las probetas cuya elaboración requirió la utilización de ambos tipos de cal, se usó cal hidratada en bulto para la primera capa y cal en pasta para la segunda.
- e) Se emplearon los siguientes tamaños de marmolina para las probetas que la contienen, que son sólo algunas de las pruebas piloto: malla del número 16 y del número 20 para la primera y sólo del número 20 para la segunda. A ambos morteros se les agregó blanco de España, material impalpable inferior a la malla número 200 para hacerlos más trabajables (figura 18).



Figura 18 Agregados de distintos grosores incorporados a la mezcla: marmolina y blanco de España.

- f) Para las muestras que contienen arena triturada y arena de río, se eligió trabajar con la malla número 30 debido a que este tamaño permite un mejor pulido con la piedra, más trabajable y suave.
- g) Se añadió no más del 5% de pigmento a las probetas que lo contienen (únicamente se añadió a algunas pruebas piloto) (figura 19).



Figura 19 Ejemplo de mezcla de tadelakt con pigmento.

- h) Para la primera capa se aplicó con llana de acero una mezcla proporción 1:3 cal-arena. Posteriormente se trabajó la superficie con la flota de madera y la flota con esponja (figura 20).



Figura 20 Probetas con la primera capa de tadelakt aplicada y trabajada con la flota de madera y la flota con esponja.

- i) Para la segunda capa se aplicó con llana de acero una mezcla proporción 1:1 cal-arena. Se pulió con la piedra de granito (figura 21).



Figura 21 Probeta con la segunda capa de tadelakt aplicada y pulida con piedra de granito.

- j) La solución de jabón, potásico o normal, se aplicó con brocha a tres manos.

4.5 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD AL TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO

Para determinar la permeabilidad del tadelakt aplicado sobre diferentes materiales fue necesario emplear el método del tubo de Karsten con el cual se midió la absorción de agua del material antes y después de la aplicación del acabado.

Se creó una columna de agua destilada de 10 cm (4 ml) sobre una superficie de 3 cm² que corresponde a una presión de 0.01 bar que simula la presión que genera una alta velocidad de viento/ lluvia sobre el muro de una casa.

La unión entre la superficie del material a estudiar y la base del tubo se selló con material epóxico para evitar fugas de agua (figura 22).



Figura 22 Ensayo con tubo de Karsten en una de las probetas.

A cada probeta se le realizaron mediciones a lo largo de media hora; se registró la cantidad de agua absorbida cada cinco minutos hasta que se cumplieron los 30 minutos. Cada vez que la cantidad era registrada el tubo era rellenado para mantener el nivel constante de agua de 4 ml y por lo tanto una misma presión hidrostática.

4.6 PRUEBAS DE ADHERENCIA AL TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO

La prueba de adherencia permite determinar qué tipo de mezclas (según los materiales locales con las que hayan sido fabricadas) presentan un mejor comportamiento sobre un determinado sustrato, ya sea tabique de barro rojo recocido, block de concreto o concreto. Se trata de una prueba destructiva, es decir, la pieza resulta afectada una vez que es llevada a cabo.

Para la realización de las pruebas se utilizó un equipo digital de ensayo de adherencia (figura 23) el cual permite la medición de la resistencia al arranque de una porción definida de material al aplicar una fuerza de tracción directa perpendicular a la superficie de la probeta. Esta fuerza es aplicada de manera gradual a un disco de metal pegado a dicha superficie.



Figura 23 Equipo de ensayo de adherencia (GROUP, 2015)

El resultado de la prueba es la resistencia al desprendimiento del material bajo examen calculado como la relación entre la lectura de carga de falla en el calibre del instrumento y el área de superficie del disco de metal utilizado en la prueba.

El procedimiento de la prueba consiste en usar un taladro de núcleo para cortar una incisión circular en la superficie de la muestra. Se pega el disco de metal a la superficie, dentro del área marcada por el taladro. Se inserta el perno con cabeza esférica en el disco de metal y se gira la palanca localizada a un costado del equipo para alinear el índice al valor máximo (60 mm) y el indicador digital se ajusta a cero. Se coloca el instrumento de tal manera que quede lo más paralelo posible con respecto a la superficie de la muestra. Se aprieta la rueda de mano central hasta que se aplica una ligera presión de tracción (la carga indicada en el medidor será ligeramente superior a cero). Suave y uniformemente se gira la palanca de aplicación de carga para ejecutar la prueba (figura 24). En términos generales el ritmo de carga a usarse debe ser tal que la falla de la muestra se obtenga entre 20 y 60 segundos. Durante la prueba la pantalla muestra en tiempo real la carga aplicada y la resistencia correspondiente ("CONTROLS Digital tester for bond strengt Instruction Manual,").



Figura 24 Esquema de funcionamiento de equipo de ensayo de adherencia (GROUP, 2015)



CAPÍTULO V

EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

5. CAPÍTULO V. EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

5.1 PRUEBAS PILOTO PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO

Antes de iniciar con la metodología para la campaña experimental, fue necesaria la realización de algunas probetas preliminares que demostraran resultar efectivas en cuanto a la elección de materiales (tipo de cal, tipo y granulometría de la arena, tipo de jabón) y el proceso de aplicación.

Las primeras probetas que se realizaron se elaboraron con marmolina como agregado y jabón potásico hecho en laboratorio según el método explicado en el capítulo anterior (figura 25).



Figura 25 Primeras pruebas de tadelakt sobre block de concreto.

A los pocos días estas muestras presentaron graves problemas de fisuración además de que a simple impresión no cumplían con ser resistentes y/o repelentes al agua, al contrario se obtuvo un acabado muy absorbente. Este resultado probablemente se debió a que no se humedeció suficientemente la superficie antes de aplicar el tadelakt y a que se eligió una granulometría muy gruesa para

el agregado lo que además dificultó el proceso de pulido con la piedra, en consecuencia los poros quedaron muy abiertos (figura 26).



Figura 26 Fisuras presentadas por una de las muestras al día siguiente de haber sido elaborada.

Las siguientes probetas mostraron resultados más favorables. A comparación de las muestras anteriores se empleó una granulometría más fina del agregado dando como resultado capas más delgadas; se usó la arena retenida en las mallas número 16, 20 y menor a 200 para la primera capa y sólo la retenida en las mallas número 20 y menor a 200 para la segunda capa (figura 27). A simple vista estas probetas ya presentaban una cierta repelencia al agua (figura 28). Algunas se hicieron con un repellado base de mortero cal-arena proporción 1:3 de un cm de espesor y otras no, no se empleó pigmento de ningún tipo. Los resultados se compararon con el nivel de absorción del material base sin la colocación de ningún repellado ni acabado.



Figura 27 Prueba piloto. En la fotografía del lado derecho se observa que el grano del agregado tiene gran presencia visual en el acabado.



Figura 28 En estas probetas se observa que el acabado ya muestra cierta repelencia al agua.

Se obtuvieron los siguientes resultados en las pruebas realizadas con los tubos de Karsten (tabla 4):

Tabla 4 Resultados de las pruebas de permeabilidad con tubos de Karsten para muestras piloto.

No. De probeta	Material base	Repellado base	Tadelakt	Volumen de agua absorbida (ml)
1	Tabique de barro rojo recocido 7*14*28 cm	No	No	124.5
2	Tabique de barro rojo recocido 7*14*28 cm	No	Si	1.55
3	Tabique de barro rojo recocido 7*14*28 cm	Si	Si	3.05
4	Block de concreto 10*20*40 cm	No	No	-
5	Block de concreto 10*20*40 cm	No	Si	9.8
6	Block de concreto 10*20*40 cm	Si	Si	7
7	Concreto f'c= 150 kg/cm ² 4*15*30 cm	No	No	1.17
8	Concreto f'c= 150 kg/cm ² 4*15*30 cm	No	Si	26.4
9	Concreto f'c= 150 kg/cm ² 4*15*30 cm	Si	Si	12.4

Es posible observar que aún después de las modificaciones a la técnica los niveles de permeabilidad fueron relativamente altos. Esto puede deberse a las siguientes razones:

- A. La granulometría seleccionada del agregado no fue la más adecuada, se puede observar que el grano de arena tiene bastante presencia en el acabado, es muy gruesa y esto repercute en un mal pulido, la arena difícilmente se reacomoda con el uso de la piedra.
- B. La forma de las piedras empleadas no favorecieron el proceso de pulido y compresión ya que por su misma geometría (poca superficie de contacto comparada con la superficie de agarre) se ejercía demasiada presión, sin poder lograr un amasado suave.
- C. La cal hidratada en pasta, utilizada para la capa final del acabado poseía ciertas partículas de tamaño considerable que no permitía realizar bien el pulido por lo que posteriormente fue necesario cribarla con malla del #100.
- D. El jabón potásico elaborado en el laboratorio no tiene las mismas propiedades y por lo tanto no tiene el mismo efecto que un jabón potásico marroquí.

Se consiguió una muestra de tadelakt hecha con materiales de fácil obtención en México preparada por la empresa Oxical, en el estado de Puebla. Este espécimen fue elaborado siguiendo un método un tanto distinto al empleado en las otras probetas. Se tuvieron las siguientes variaciones:

- A. El acabado se aplicó en tres capas a diferencia de las otras muestras en las que sólo se colocaron dos capas.
- B. Las tres capas se aplicaron usando la misma mezcla, usando sólo cal hidratada en pasta con arena fina retenida en la malla número 100, en ninguna capa se empleó cal hidratada de bulto.
- C. Se usó jabón doméstico típico en México a base de sosa cáustica.

Se le realizó una prueba de absorción (figura 29) a lo largo de una hora obteniendo los resultados presentados en la tabla 5.



Figura 29 Realización de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en probeta de tadelakt conseguida por medio de la empresa Oxical.

Tabla 5 Resultados de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en probeta de tadelakt conseguida por medio de la empresa Oxical.

Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
1	4	0
2	4	0
3	4	0
4	4	0
5	4	0
10	4	0
15	4	0.1
20	4	0
25	4	0
30	4	0.05
40	4	0.05
50	4	0.04
60	4	0.04
Total		0.28

Esta muestra absorbió menor cantidad de agua a comparación de los especímenes anteriores, absorbió 0.28 ml a lo largo de una hora.

Posteriormente se realizó una muestra de tadelakt pero usando los materiales originales (figura 30): cal hidráulica de Marrakesh, pigmentos minerales y jabón doméstico marroquí siguiendo el proceso tradicional, incluyendo el pulido con una piedra de granito moldeada correctamente para trabajar el tadelakt e importada de Marruecos (figura 31), solo que en este caso el proceso se realizó en un lapso menor del tiempo necesario debido a la duración del taller en el que se llevó a cabo la realización de esta muestra, todo el proceso de aplicación se realizó en menos de cuatro horas comparadas con las seis a ocho horas que normalmente se requieren. Al realizarle las pruebas de permeabilidad con los tubos de Karsten se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 6.



Figura 30 Probeta fabricada con los materiales y la técnica original marroquí.



Figura 31 Piedras importadas de Marruecos utilizadas para el pulido y comprimido de la muestra.

Tabla 6 Resultados de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en probeta de tadelakt elaborada con materiales y con la técnica original marroquí.

Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
1	4	0.3
2	4	0.3
3	4	0.2
4	4	0.3
5	4	0.3
10	4	1
15	4	0.9
20	4	0.8
25	4	0.8
30	4	0.75
40	4	1.2
50	4	1.2
60	4	1
Total		9.05

El haber aplicado el acabado en menor tiempo del requerido repercutió en un agrietamiento del acabado y por consiguiente en una mayor absorción de agua, mayor a nueve mililitros en una hora.

Por último, se elaboraron otras dos probetas pero esta vez empleando materiales locales, se les añadió pigmento rojo óxido. La primera resultó más similar al tadelakt original, tanto en la consistencia y el manejo de las mezclas, el proceso de pulido y comprimido con la piedra y la aplicación del jabón ya que se empleó jabón potásico marroquí. La granulometría que se empleó para el agregado fue la arena retenida en las mallas del número 40, 100 y menor a 200 para la mezcla de la primera capa y la retenida en las mallas del número 100 y menor a 200 para la mezcla de la segunda capa (figura 32).



Figura 32 Prueba piloto elaborada con materiales locales y jabón potásico marroquí.

Se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 7.

Tabla 7 Resultados de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en prueba piloto.

Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.3
10	4	0.2
15	4	0.1
20	4	0.08
25	4	0.1
30	4	0.1
Total		0.88

La última muestra piloto se realizó empleando sólo materiales locales, según el proceso sugerido por la empresa Oxical en el cual se aplicaron tres capas de cal en pasta con arena fina y se utilizó jabón doméstico a base de sosa cáustica de fácil obtención en México (figura 33). Las pruebas de permeabilidad arrojaron los datos presentados en la tabla 8.



Figura 33 Probeta elaborada con materiales locales.

Tabla 8 Resultados de la prueba de permeabilidad con tubos de Karsten en prueba piloto elaborada únicamente con materiales locales.

Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.12
10	4	0.1
15	4	0.1
20	4	0
25	4	0.08
30	4	0.05
Total		0.45

A pesar de haber obtenido un resultado de absorción relativamente bajo con esta última prueba, se optó por no seguir esta metodología de aplicación de tadelakt para la campaña experimental debido a que resultaría muy costosa para su utilización en vivienda de interés social por la cantidad de cal en pasta requerida por lo que el resultado de la prueba se tomó sólo como referencia.

Cabe mencionar que estas dos últimas probetas fueron las primeras que se realizaron en el laboratorio en las que se pudo obtener el estearato cálcico y por

lo tanto un brillo muy similar al del tadelakt marroquí además de presentar los niveles de absorción más bajos.

Después de que las pruebas piloto mostraron tener un mejor comportamiento repelente/ resistente al agua se prosiguió a realizar las probetas sujetas a estudio determinadas en el diseño de la campaña experimental.

5.2 REALIZACIÓN DE PROBETAS DE TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO

Una vez que se realizaron las pruebas piloto y que quedaron definidos los materiales y procesos de aplicación debido a las similitudes físicas con el acabado original y los resultados favorables obtenidos, se procedió a la realización de las probetas que posteriormente quedarían sujetas a pruebas de permeabilidad y adherencia.

Antes de aplicar el acabado fue necesario colocar a todos los sustratos un repellado cal-arena proporción 1:3 para simular de manera más precisa la aplicación del tadelakt en una construcción real (figura 34). Después de la colocación de este repellado en la probeta, fue necesario esperar mínimo dos semanas para dejar que endureciera la cal lo suficiente y posteriormente aplicar el acabado de tadelakt.



Figura 34 Repellado base cal-arena aplicado en probeta de block de concreto, tabique y pieza de concreto.

Para la elaboración de una probeta son necesarias entre seis y ocho horas para poder completar todas las fases del proceso en un mismo día. A continuación se describe de manera detallada el procedimiento que se llevó a cabo para aplicación del tadelakt en las probetas.

1. Se prepararon dos mezclas correspondientes a las capas a aplicar. La mezcla para la primera capa se elaboró con cal hidratada de bulto y el agregado, ya sea arena triturada o arena de río según sea el caso, proporción 1:2 cal-arena. Se emplearon tres granulometrías diferentes para la arena: 30% fue de la retenida en la malla número 40, 60% fue de la retenida en la malla número 100 y 10% fue de material impalpable, menor a la malla número 200 (figura 35).



Figura 35 Ejemplo de mezcla aplicada en la primera capa.

Para la mezcla correspondiente a la segunda capa se utilizó una proporción 1:1 cal-arena; se empleó cal hidratada en crema cribada con la malla de número 100 y arena fina del número 100. Se agregó algo de material impalpable para darle mayor manejabilidad a la mezcla (figura 36).



Figura 36 Ejemplo de mezcla empleada en la segunda capa.

Se aplicó sobre el repellado base la primera capa con llana de acero; una vez seca superficialmente se pasó una flota de madera para darle un acabado rugoso y así generar un anclaje mecánico con la siguiente capa (figura 37).



Figura 37 Primera capa aplicada sobre una de las probetas.

Se aplicó la segunda capa con llana de acero, dejando el acabado lo más pulido posible. Una vez que secó superficialmente se pasó la piedra haciendo movimientos circulares, este proceso de pulido/ comprimido con la piedra ayuda a cerrar los poros que no cerraron al pasar la llana de acero (figura 38).



Figura 38 Segunda capa aplicada sobre una de las probetas.

2. El siguiente paso fue aplicar el jabón (figura 39). Para algunas muestras se utilizó jabón doméstico marroquí a base de potasa cáustica, para el resto de las muestras se empleó jabón a base de sosa cáustica, muy comercial en México. El número de capas de jabón varía según lo "exija" la muestra, si absorbe muy rápido es necesario agregar una capa más, generalmente fue necesario aplicar dos o tres manos por muestra.

Para hacer la solución se agregó una poca cantidad de jabón (ya sea a base de potasa cáustica o de sosa cáustica según fuera el caso) en un vaso de precipitado lleno con agua. La cantidad de jabón era tal que el color de la solución se observara opaca, ligeramente del color del jabón, en una proporción aproximada 1:20 (jabón - agua) como indica la bibliografía. En el caso del jabón de sosa cáustica fue necesario calentar la mezcla en estufa para integrar el jabón en el agua; este paso no es necesario con el jabón doméstico marroquí debido a que éste tiene una consistencia líquida, a diferencia del jabón a base de sosa cáustica que es sólido.



Figura 39 Ejemplos de probetas con el tadelakt terminado.

5.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

Las pruebas de permeabilidad se realizaron a lo largo de 30 minutos para cada probeta, registrando la cantidad de agua absorbida cada cinco minutos; no se optó por el registro de datos a un lapso menor de tiempo debido a las cantidades mínimas de absorción de agua. Enseguida se presentan los resultados de las pruebas de permeabilidad por probeta. Las iniciales que aparecen en el título de cada tabla corresponden al tipo de sustrato, tipo de agregado, tipo de cal y tipo de jabón (en este orden) según se señala a continuación (tabla 9):

Tabla 9 Nomenclatura para las probetas según el sustrato, el agregado, la cal y el jabón.

Sustrato	T	Tabique
	C	Concreto
	B	Block de concreto
Agregado	AT	Arena triturada
	AR	Arena de río
Cal	CC	Cal en crema
	CB	Cal de bulto
Jabón	JP	Jabón potásico
	JN	Jabón normal ¹

¹Al decir jabón "normal" se hace referencia al jabón normal utilizado en México que es el jabón a base de sosa cáustica.

Tabla 10 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón potásico sobre tabique.

T, AT, CC, JP		
Sustrato:	Tabique	
Agregado:	Arena triturada	
Cal:	En crema	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.40
10	4	0.30
15	4	0.25
20	4	0.25
25	4	0.20
30	4	0.20
Total		1.60

Tabla 11 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón normal sobre tabique

T, AT, CC, JN		
Sustrato:	Tabique	
Agregado:	Arena triturada	
Cal:	En crema	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.10
10	4	0.10
15	4	0.10
20	4	0.10
25	4	0.10
30	4	0.10
Total		0.60

Tabla 12 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en bulto y jabón potásico sobre tabique.

T, AT, CB, JP		
Sustrato:	Tabique	
Agregado:	Arena triturada	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.10
10	4	0.10
15	4	0.10
20	4	0.10
25	4	0.10
30	4	0.10
Total		0.60

Tabla 13 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en bulto y jabón normal sobre tabique.

T, AT, CB, JN		
Sustrato:	Tabique	
Agregado:	Arena triturada	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.10
10	4	0.10
15	4	0.10
20	4	0.10
25	4	0.10
30	4	0.10
Total		0.60

Tabla 14 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón potásico sobre tabique.

T, AR, CC, JP		
Sustrato:	Tabique	
Agregado:	Arena de río	
Cal:	En crema	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.20
10	4	0.20
15	4	0.20
20	4	0.15
25	4	0.20
30	4	0.18
Total		1.13

Tabla 15 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón normal sobre tabique.

T, AR, CC, JN		
Sustrato:	Tabique	
Agregado:	Arena de río	
Cal:	En crema	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.10
10	4	0.12
15	4	0.10
20	4	0.10
25	4	0.10
30	4	0.10
Total		0.62

Tabla 16 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón potásico sobre tabique.

T, AR, CB, JP		
Sustrato:	Tabique	
Agregado:	Arena de río	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.20
10	4	0.10
15	4	0.10
20	4	0.10
25	4	0.10
30	4	0.10
Total		0.70

Tabla 17 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón normal sobre tabique.

T, AR, CB, JN		
Sustrato:	Tabique	
Agregado:	Arena de río	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.12
10	4	0.08
15	4	0.05
20	4	0.05
25	4	0.08
30	4	0.05
Total		0.43

Tabla 18 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón potásico sobre pieza de concreto.

C, AT, CC, JP		
Sustrato:	Concreto	
Agregado:	Triturada	
Cal:	En crema	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.90
10	4	0.70
15	4	0.60
20	4	0.50
25	4	0.50
30	4	0.50
Total		3.70

Tabla 19 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón normal sobre pieza de concreto.

C, AT, CC, JN		
Sustrato:	Concreto	
Agregado:	Triturada	
Cal:	En crema	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.25
10	4	0.20
15	4	0.20
20	4	0.15
25	4	0.15
30	4	0.12
Total		1.07

Tabla 20 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón potásico sobre pieza de concreto.

C, AT, CB, JP		
Sustrato:	Concreto	
Agregado:	Triturada	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.10
10	4	0.10
15	4	0.10
20	4	0.05
25	4	0.05
30	4	0.05
Total		0.45

Tabla 21 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón normal sobre pieza de concreto.

C, AT, CB, JN		
Sustrato:	Concreto	
Agregado:	Triturada	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.10
10	4	0.10
15	4	0.10
20	4	0.18
25	4	0.18
30	4	0.18
Total		0.84

Tabla 22 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón potásico sobre pieza de concreto.

C, AR, CC, JP		
Sustrato:	Concreto	
Agregado:	De río	
Cal:	En crema	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.20
10	4	0.20
15	4	0.20
20	4	0.15
25	4	0.20
30	4	0.18
Total		1.13

Tabla 23 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón normal sobre pieza de concreto.

C, AR, CC, JN		
Sustrato:	Concreto	
Agregado:	De río	
Cal:	En crema	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.75
10	4	0.30
15	4	0.30
20	4	0.40
25	4	0.30
30	4	0.30
Total		2.35

Tabla 24 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón potásico sobre pieza de concreto.

C, AR, CB, JP		
Sustrato:	Concreto	
Agregado:	De río	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.38
10	4	0.25
15	4	0.28
20	4	0.28
25	4	0.30
30	4	0.30
Total		1.79

Tabla 25 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón normal sobre pieza de concreto.

C, AR, CB, JN		
Sustrato:	Concreto	
Agregado:	De río	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.40
10	4	0.30
15	4	0.20
20	4	0.15
25	4	0.20
30	4	0.10
Total		1.35

Tabla 26 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón potásico sobre block de concreto.

B, AT, CC, JP		
Sustrato:	Block de concreto	
Agregado:	Arena triturada	
Cal:	En crema	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	1.20
10	4	0.90
15	4	0.80
20	4	0.80
25	4	0.80
30	4	0.70
Total		5.20

Tabla 27 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal en crema y jabón normal sobre block de concreto.

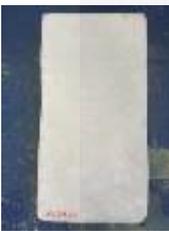
B, AT, CC, JN		
Sustrato:	Block de concreto	
Agregado:	Arena triturada	
Cal:	En crema	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.10
10	4	0.20
15	4	0.15
20	4	0.15
25	4	0.15
30	4	0.15
Total		0.90

Tabla 28 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón potásico sobre block de concreto.

B, AT, CB, JP		
Sustrato:	Block de concreto	
Agregado:	Arena triturada	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.80
10	4	0.60
15	4	0.50
20	4	0.50
25	4	0.45
30	4	0.45
Total		3.30

Tabla 29 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón normal sobre block de concreto.

B, AT, CB, JN		
Sustrato:	Block de concreto	
Agregado:	Arena triturada	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.80
10	4	0.60
15	4	0.50
20	4	0.45
25	4	0.40
30	4	0.40
Total		3.15

Tabla 30 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón potásico sobre block de concreto.

B, AR, CC, JP		
Sustrato:	Block de concreto	
Agregado:	Arena de río	
Cal:	En crema	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.20
10	4	0.15
15	4	0.12
20	4	0.15
25	4	0.12
30	4	0.10
Total		0.84

Tabla 31 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal en crema y jabón normal sobre block de concreto.

B, AR, CC, JN		
Sustrato:	Block de concreto	
Agregado:	Arena de río	
Cal:	En crema	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.05
10	4	0.05
15	4	0.01
20	4	0.05
25	4	0
30	4	0.02
Total		0.18

Tabla 32 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón potásico sobre block de concreto.

B, AR, CB, JP		
Sustrato:	Block de concreto	
Agregado:	Arena de río	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Potásico	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.50
10	4	0.30
15	4	0.25
20	4	0.20
25	4	0.09
30	4	0.15
Total		1.49

Tabla 33 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena de río, cal de bulto y jabón normal sobre block de concreto.

B, AR, CB, JN		
Sustrato:	Block de concreto	
Agregado:	Arena de río	
Cal:	De bulto	
Jabón:	Normal	
Tiempo (min)	Lectura (ml)	Volumen de agua absorbida (ml)
5	4	0.27
10	4	0.29
15	4	0.20
20	4	0.20
25	4	0.25
30	4	0.15
Total		1.36

5.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ADHERENCIA

Se realizaron pruebas de adherencia a siete probetas usando el equipo de ensayo de adherencia descrito en el apartado 4.6 y siguiendo el procedimiento indicado. En la tabla 35 se incluyen los resultados obtenidos de dichas pruebas, las iniciales que aparecen en la columna de características corresponden al tipo de agregado, tipo de cal y tipo de jabón (en este orden) según se señala a continuación (tabla 34):

Tabla 34 Nomenclatura para las probetas según sus características de sustrato, agregado, cal y jabón.

Agregado	AT	Arena triturada
	AR	Arena de río
Cal	CC	Cal en crema
	CB	Cal de bulto
Jabón	JP	Jabón potásico
	JN	Jabón normal ²

Tabla 35 Resultados de las pruebas de adherencia en algunas probetas de tadelakt.

SUSTRATO	CARACTERÍSTICAS	KN	MPa	IMAGEN
Tabique	AT, CB, JP	0.1 KN	0.0 MPa	
Tabique	AT, CB, JN	0.273 KN	0.13 MPa	

² Al decir jabón "normal" se hace referencia al jabón normal utilizado en México que es el jabón a base de sosa cáustica.

SUSTRATO	CARACTERÍSTICAS	KN	MPa	IMAGEN
Tabique	AR, CC, JP	0.129 KN	0.6 MPa	
Tabique	AR, CC, JN	0.53 KN	0.2 MPa	
Block de concreto	AR, CB, JP	0.35 KN	0.1 MPa	
Concreto	AT, CC, JP	0.11 KN	0.0 MPa	
Concreto	AR, CC, JN	0.3 KN	0.0 MPa	
Concreto	AR, CB, JN	0.8 KN	0.0 MPa	

Según los resultados obtenidos de las pruebas, se observó que el terminado necesita una mayor cantidad de mega pascuales para ser sustraído del tabique en comparación con los demás sustratos; no obstante se vio que en las pruebas de adherencia realizadas los resultados que proporciona el equipo corresponden a la adherencia del repellado base sobre la superficie (concreto, block, tabique) y no del tadelakt sobre el repellado base. Esto debido a que al momento de realizar el ensayo tanto el acabado de tadelakt como el repellado eran sustraídos por la bola metálica.

Este fenómeno indica que son otras las variables que intervienen en la adherencia del acabado relacionadas con la composición del repellado base, es decir, el tipo de arena con el que se fabricó el mortero, la proporción de cal y arena, etc. Particularmente para este experimento, las características del tadelakt no definen su adherencia sobre la superficie ya que la capa de este terminado no tiene contacto con el sustrato si no con el repellado, del cual no se desprendió en ninguna de las pruebas realizadas, por lo tanto, independientemente del tipo de arena, cal y jabón con que se elaboró el tadelakt, no es posible definir su capacidad de adherencia sobre la superficie utilizando el equipo de medición empleado para estos ensayos, por lo que es necesario recurrir a otros métodos, por ejemplo el descrito en la norma internacional ASTM 3359 con ayuda de un kit de adherencia. Para esta investigación no se llevaron a cabo estas pruebas por limitantes de tiempo, sin embargo quedan señaladas en los nichos de investigación al final del documento.



CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO

6. CAPÍTULO VI. ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1 ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DEL TADELAKT ADAPTADO A MÉXICO

Uno de los objetivos de esta investigación es determinar si el tadelakt adaptado a México es apropiado para aplicarse en vivienda de interés social, un factor indispensable a considerar para tal fin es el costo económico que requiere la técnica por lo que es indispensable obtener el precio unitario del tadelakt (fabricado con los materiales más económicos: cal hidratada de bulto, arena de río y jabón doméstico a base de sosa cáustica) aplicado en un metro cuadrado de muro. Se consideró la colocación del acabado a dos capas sobre un repellado uniforme de cal-arena, por lo que en cualquier sistema constructivo se supuso un mismo costo de material y mano de obra. Cabe señalar que para el análisis del precio unitario se tomaron costos actuales de los materiales (sin I.V.A) y un salario mínimo vigente de \$88.36; para el oficial de albañilería el salario mínimo vigente es de \$114.95 con un factor de demanda de 2.6 y un factor de salario real (F.S.R.) de 1.7167, teniendo un costo total de \$513.97 por jornada. No se incluyó I.V.A.

Para el análisis del precio unitario fue necesario obtener previamente el auxiliar de la mezcla de la primera capa y el auxiliar de la mezcla de la segunda capa ya que difiere el volumen de los materiales que las componen, la segunda mezcla requiere más cal en su composición lo que indica un costo mayor. El análisis de los auxiliares incluye el costo de cal hidratada de bulto, arena de río, pigmento sintético y agua según los volúmenes requeridos para fabricar un m³ de tadelakt, además se considera el costo por mano de obra de un peón para el harnado de la arena y la elaboración de los morteros con ayuda de una máquina revolvedora para disminuir costos. De igual manera se obtuvo el auxiliar de la solución de jabón según los volúmenes y costos de jabón y agua así como el costo horario de la estufa con la que se calienta la solución y el costo por mano de obra. En todos los auxiliares se consideraron la herramienta (2% sobre el costo

de la mano de obra), el equipo de protección (1% sobre el costo de la mano de obra) y los mandos intermedios (10% sobre el costo de la mano de obra).

En la integración del precio unitario, además de los auxiliares se aunó la mano de obra según el rendimiento indicado en la bibliografía, la cual señala que un maestro tadelaktero (en este caso un oficial albañil) rinde 16.5 pies cuadrados (Ochs, 2010) que equivale a 1.53 metros cuadrados por jornada.

CONCEPTO:

Suministro y aplicación del tadelakt a dos capas de 4mm de espesor elaborado a base de mortero de cal hidratada de bulto y arena de río prop. 1:2 para la primera capa y prop. 1:1 para la segunda capa, hecho con revolvedora, empleando pigmento sintético y jabón doméstico y aplicado sobre cualquier tipo de muro. Incluye: materiales, herramienta, mano de obra, limpieza y acarreo.

AUXILIAR DE MORTERO DE TADELAKT PRIMERA CAPA

Tabla 36 Auxiliar de mortero de tadelakt adaptado a México para la primera capa.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$2,811.08
ARENA DE RÍO	m ³	0.667	\$300.00	\$200.10
CAL HIDRATADA DE BULTO	m ³	0.316	\$1,158.57	\$366.11
PIGMENTO SINTÉTICO	m ³	0.006	\$22,000.00	\$132.00
AGUA	m ³	0.2	\$45.00	\$9.00
PEON	jor	5	\$373.32	\$1,866.61
REVOLVEDORA	hora	1	\$82.64	\$82.64
HERRAMIENTA	(%)mo	0.03	\$1,104.50	\$33.13
EQUIPO DE PROTECCIÓN	(%)mo	0.01	\$1,104.50	\$11.04
MANDOS INTERMEDIOS	(%)mo	0.1	\$1,104.50	\$110.45

AUXILIAR DE MORTERO DE TADELAKT SEGUNDA CAPA

Tabla 37 Auxiliar de mortero de tadelakt adaptado a México para la segunda capa.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$2,974.15
ARENA DE RÍO	m ³	0.5	\$300.00	\$150.00
CAL HIDRATADA DE BULTO	m ³	0.5	\$1,158.57	\$579.28
PIGMENTO SINTÉTICO	m ³	0.006	\$22,000.00	\$132.00
AGUA	m ³	0.2	\$45.00	\$9.00
PEON	jor	5	\$373.32	\$1,866.61
REVOLVEDORA	hora	1	\$82.64	\$82.64
HERRAMIENTA	(%)mo	0.03	\$1,104.50	\$33.13
EQUIPO DE PROTECCIÓN	(%)mo	0.01	\$1,104.50	\$11.04
MANDOS INTERMEDIOS	(%)mo	0.1	\$1,104.50	\$110.45

AUXILIAR DE SOLUCIÓN DE JABÓN

Tabla 38 Auxiliar de solución de jabón para el tadelakt adaptado a México.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$12.20
JABON DE BARRA BLANCO	pieza	0.05	\$25.00	\$1.25
PEON	jor	0.025	\$373.32	\$9.33
ESTUFA ELÉCTRICA	hora	0.16667	\$5.03	\$0.84
HERRAMIENTA	(%)mo	0.03	\$5.52	\$0.17
EQUIPO DE PROTECCIÓN	(%)mo	0.01	\$5.52	\$0.06
MANDOS INTERMEDIOS	(%)mo	0.1	\$5.52	\$0.55

COSTO HORARIO ESTUFA ELÉCTRICA

Para el cálculo del costo horario de la estufa eléctrica con la cual se calentaría el jabón mezclado con agua para formar la solución de jabón, se consideraron los siguientes criterios:

VALOR DE ADQUISIÓN (Vad): \$560.00 (sin I.V.A.)

VALOR NETO (Vm= Vad-Pa): \$370.00

VIDA ÚTIL (V): 5 años

TIEMPO TRABAJADO POR AÑO (Hea): 50 hrs.

VIDA ECONÓMICA (Ve= V*Hea): 250 hrs.

TASA DE INTERÉS ANUAL (i): 12%

PRIMA DE SEGUROS ANUAL (s): 3%

FACTOR DE MANTENIMIENTO (Ko): 0.50

PORCENTAJE DE RESCATE (r): 20%

VALOR DE RESCATE (Vr=Vm*r): \$74.00

VIDA ECONÓMICA DE PIEZAS ESPECIALES (Va): 100 hrs.

ENERGÍA (Gh): 0.880 kw/hr

En base a estos criterios se obtuvieron los costos fijos y los costos por consumo de la estufa eléctrica mostrados en las tablas siguientes.

COSTOS FIJOS (C.F.)

Tabla 39 Costos fijos (C.F.) de estufa eléctrica para fabricar la solución de jabón.

DESCRIPCIÓN		TOTAL
		\$2.43
DEPRECIACIÓN	$D=(Vm-Vr)/ Ve$	\$1.18
INVERSIÓN	$Im= ((Vm+Vr)*I)/(2*Hea)$	\$0.53
SEGUROS	$Sm=((Vm+Vr)/2*Hea)*s$	\$0.13
MANTENIMIENTO	$Mn=Ko*D$	\$0.59

COSTOS POR CONSUMO (C.C.)

Tabla 40 Costos por consumo (C.C.) de estufa eléctrica para fabricar la solución de jabón.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
				\$2.60
ENERGÍA ELÉCTRICA	kw/h	0.88	\$0.79	\$0.70
PIEZAS ESPECIALES	pieza	0.01	\$190.00	\$1.90

Para el costo de la energía se consideró la tarifa marcada actualmente por la Comisión Federal de electricidad (CFE) para servicio doméstico para consumo básico el cual corresponde a \$0.793 por cada uno de los primeros 75 kilowatts-hora (CFE, 2018).

Entonces el costo horario resulta de la suma de los costos fijos (C.F.) y los costos por consumo (C.C.):

$$CF+CC= \$5.03$$

INTEGRACIÓN DEL CONCEPTO

Tabla 41 Precio unitario del tadelakt adaptado a México.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$417.82
MORTERO DE TADELAKT 1A. CAPA	m ³	0.0072	\$2,811.08	\$20.24
MORTERO DE TADELAKT 2A. CAPA	m ³	0.0045	\$2,974.15	\$13.38
SOLUCIÓN DE JABÓN	litro	0.625	\$12.20	\$7.63
MAESTRO ALBAÑIL	jor	0.654	\$505.09	\$330.33
HERRAMIENTA	(%)mo	0.03	\$330.33	\$9.91
EQUIPO DE PROTECCIÓN	(%)mo	0.01	\$330.33	\$3.30
MANDOS INTERMEDIOS	(%)mo	0.1	\$330.33	\$33.03

En total, el costo por metro cuadrado de tadelakt es de \$417.82. Es posible observar que la mano de obra incide notablemente en el precio unitario ya que representa el 79% del costo total, esto se debe al proceso artesanal de la técnica. A continuación se presenta el análisis del precio unitario para el suministro y colocación de azulejo en una vivienda de interés social para realizar una comparativa con el precio unitario del tadelakt y determinar la viabilidad de éste para ser aplicado en dicho tipo de vivienda. En cuanto a la mano de obra el F.S.R. se siguió tomando de 1.69, para el azulejero se consideró un salario mínimo vigente de \$112.38 y un factor de demanda de 2.6; en el caso del ayudante se consideró de igual manera un factor de demanda de 2.6 por ser especializado.

6.2 ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO PARA EL SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE AZULEJO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

Suministro y colocación de azulejo porcelánico asentado con pegazulejo, emboquillado con boquilla sin arena a cualquier altura, incluye: cortes rectos, remates, desperdicios, emboquillado a 45°, fletes, acarreo hasta el lugar de la obra, maniobras de elevación, materiales, mano de obra, herramienta y equipo necesario.

Tabla 42 Precio unitario para el suministro y colocación de azulejo en vivienda de interés social.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$209.21
AZULEJO	m ²	1.05	\$94.48	\$99.20
PEGAZULEJO	saco	0.25	\$78.00	\$19.50
BOQUILLA	saco	0.05	\$113.37	\$5.67
AGUA	m ³	0.02	\$45.00	\$0.90
AZULEJERO	jor	0.0833	\$493.80	\$41.13
AYUDANTE	jor	0.0833	\$388.25	\$32.34
HERRAMIENTA	(%)mo	0.03	\$74.78	\$2.24
EQUIPO DE PROTECCIÓN	(%)mo	0.01	\$74.78	\$0.75
MANDOS INTERMEDIOS	(%)mo	0.1	\$74.78	\$7.48

El costo total por metro cuadrado por el suministro y colocación de azulejo porcelánico en una vivienda de interés social es de \$209.2, mientras que el costo total de \$417.82 por metro cuadrado de tadelakt prácticamente lo duplica. Esta diferencia de costo, aunada con el proceso artesanal de la técnica, contrario a los métodos simples y rápidos empleados en una vivienda de interés social (que precisamente se prefieren para reducir costos), indica la poca viabilidad de este acabado de cal para ser empleado en baños y cocinas en vivienda de este nivel.

Para concluir este capítulo, se presenta el análisis económico del acabado fabricado con los materiales originales marroquíes para comparar el costo unitario

de un tadelakt original aplicado en México y un tadelakt hecho con materiales locales para adaptarlo a la región.

6.3 ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE TADELAKT ELABORADO CON MATERIALES DE LA TÉCNICA ORIGINAL

Suministro y aplicación del tadelakt a dos capas de 4mm de espesor elaborado a base de mortero de cal hidráulica de Marrakech, hecho con revolvedora, empleando pigmento mineral y jabón negro marroquí y aplicado sobre cualquier tipo de muro. Incluye: materiales, herramienta, mano de obra, limpieza y acarreos.

AUXILIAR DE MORTERO DE TADELAKT MARROQUÍ

Para este auxiliar se consideró el rendimiento de cal que los vendedores indican, que es de 4-5 kg para cubrir 1m² de superficie. De pigmento se recomienda no agregar más del 5% del total de la mezcla.

En cuanto a los costos, los materiales de la técnica original (cal de Marrakech, pigmentos minerales y jabón negro marroquí) se cotizaron en febrero del 2017 con una empresa española dedicada a su comercialización (ver ANEXO 1) por lo que se tomaron en cuenta los precios señalados en dicho documento. El euro se tomó a \$23.88 según su valor a inicios del mes de Junio del 2018.

Tabla 43 Auxiliar de mortero de tadelakt marroquí.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$68,878.86
CAL DE MARRAKECH	m ³	1	\$46,031.09	\$46,031.09
PIGMENTO SINTÉTICO	m ³	0.05	\$454,402.28	\$22,720.11
AGUA POTABLE	m ³	0.2	\$45.00	\$9.00
PEON	jor	0.143	\$220.90	\$31.59
REVOLVEDORA	hora	1	\$82.64	\$82.64
HERRAMIENTA	(%)mo	0.03	\$31.59	\$0.95
EQUIPO DE PROTECCIÓN	(%)mo	0.01	\$31.59	\$0.32
MANDOS INTERMEDIOS	(%)mo	0.1	\$31.59	\$3.16

AUXILIAR DE SOLUCIÓN DE JABÓN NEGRO MARROQUÍ

Tabla 44 Auxiliar de solución de jabón negro marroquí.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$8.55
JABON NEGRO MARROQUÍ	kg	0.01	\$623.268	\$6.23
PEON	jor	0.01	\$220.90	\$2.21
HERRAMIENTA	(%)mo	0.03	\$2.21	\$0.07
EQUIPO DE PROTECCIÓN	(%)mo	0.01	\$2.21	\$0.02
MANDOS INTERMEDIOS	(%)mo	0.1	\$2.21	\$0.22

INTEGRACIÓN DEL CONCEPTO

Tabla 45 Precio unitario del tadelakt original marroquí.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$935.72
MORTERO DE TADELAKT	m3	0.0082	\$68,878.86	\$564.81
SOLUCIÓN DE JABÓN	litro	0.625	\$8.55	\$5.34
MAESTRO ALBAÑIL	jor	0.625	\$513.07	\$320.67
HERRAMIENTA	(%)mo	0.03	\$320.67	\$9.62
EQUIPO DE PROTECCIÓN	(%)mo	0.01	\$320.67	\$3.21
MANDOS INTERMEDIOS	(%)mo	0.1	\$320.67	\$32.07

El precio por metro cuadrado de tadelakt marroquí corresponde a \$935.72, a este costo habría que añadir el I.V.A. de los materiales que marca la ley de España que es del 21% además de los gastos de envío a México. El costo de envío de 25 kg de cal es de 261.00 €. Se podría considerar entonces que para el envío de 1 kg de cal corresponderían más o menos 10.44 €, entonces para 5 kg de cal, cantidad necesaria para cubrir 1 m² de superficie, el envío costaría aproximadamente 52.20 € que equivalen actualmente a \$1,246.54 pesos mexicanos. Para cubrir 1 m² de muro con tadelakt marroquí en México el costo sería de \$2,183.26 incluyendo gastos de envío (sin I.V.A.). Es posible observar que los gastos de envío superan el

costo de los componentes y la aplicación del acabado, por lo que es posible concluir que emplear como recubrimiento el material original no es una opción viable económicamente ni en términos de sustentabilidad, a diferencia del tadelakt adaptado a México cuyo costo es cinco veces menor y no es necesario transportar largas distancias la materia prima ya que es sumamente accesible.



CAPÍTULO VII

PULIDO DEL TADELAKT POR MEDIOS MECÁNICOS

7. CAPÍTULO VII. PULIDO DEL TADELAKT POR MEDIOS MECÁNICOS

Una manera de reducir el costo por m² de tadelakt es realizar el pulido de manera mecánica debido a que es la parte de la técnica que requiere más tiempo si se realiza de manera artesanal, lo cual incrementa el costo del acabado.

Para comprobar que este método es posible, se adaptó la piedra de pulido a un torno mecánico de velocidad variable (figura 40), para este ejercicio se usó la velocidad más baja de la máquina, 120 revoluciones por minuto para evitar en mayor medida un desprendimiento del acabado. Se fijó la piedra a una placa metálica (figura 41) y esta, a su vez, a la broca del equipo (figura 42) con el fin de prevenir que la piedra se desprendiera durante el funcionamiento de la máquina.



Figura 40 Torno mecánico de velocidad variable.



Figura 41 Piedra fijada a placa metálica



Figura 42 Fijación de la piedra a la broca del equipo

Una vez fijada la piedra, se prosiguió a colocar la muestra por debajo, al encender el equipo la piedra comenzó a girar circularmente alrededor del eje de la broca (el cual no era el mismo de la herramienta ya que se colocó a mayor distancia para lograr un movimiento más amplio) según la velocidad establecida en el equipo (120 revoluciones por minuto); se observó un pulido mucho más rápido y que proporcionó más brillo en la muestra que el pulido a mano, sin embargo también se observaron problemas de agrietamiento y desprendimiento

de material en algunas zonas (figura 43). Esto pudo deberse a las siguientes razones:

- A. Algunas zonas de la pieza estaban aún muy frescas cuando se sometió al pulido mecánico por lo que faltó dejar pasar más tiempo antes de este proceso para que la superficie seicara por completo, se adhiriera mejor el tadelakt al sustrato y resistiera el pulido sin ser sustraído fácilmente por el movimiento de la .
- B. La piedra y la muestra no estaban niveladas una respecto a la otra por lo que al momento de pasar la piedra algunos de sus cantos entraban a mayor profundidad en algunas partes del terminado.



Figura 43 Muestra de tadelakt después de haber sido pulida por medios mecánicos

Esta prueba demuestra que el tadelakt sí puede ser pulido por medios mecánicos obteniendo superficies menos porosas y más brillantes, no obstante es necesario tener los cuidados necesarios ya que es un acabado delicado en el sentido de que si ocurren agrietamientos o desprendimientos es muy difícil corregirlos, el medio mecánico puede ser un mecanismo violento para el acabado si se aplica de manera temprana o si no se nivela la piedra respecto a la superficie.

Se realizaron pruebas de absorción a dos probetas de tadelakt aplicado sobre block y pulido con ayuda del equipo (tabla 46; tabla 47).

Tabla 46 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón potásico sobre block de concreto y pulido con medios mecánicos.

B, AT, CB, JP. PULIDO MECANICO		
SUSTRATO:	BLOCK DE CONCRETO	
AGREGADO:	ARENA TRITURADA	
CAL:	DE BULTO	
JABÓN:	POTÁSICO	
TIEMPO (MIN)	LECTURA	ML ABSORBIDOS
5	4	0.9
10	4	0.6
15	4	0.6
20	4	0.6
25	4	0.6
30	4	0.5
Total		3.8
Circunferencia		Propia del tubo karsten

Tabla 47 Resultados de las pruebas de permeabilidad en probeta de tadelakt elaborado con arena triturada, cal de bulto y jabón normal sobre block de concreto y pulido con medios mecánicos.

B, AT, CB, JN. PULIDO MECANICO		
SUSTRATO:	BLOCK DE CONCRETO	
AGREGADO:	ARENA TRITURADA	
CAL:	DE BULTO	
JABÓN:	NORMAL	
TIEMPO (MIN)	LECTURA	ML ABSORBIDOS
5	4	0.8
10	4	0.5
15	4	0.4
20	4	0.4
25	4	0.4
30	4	0.3
Total		2.8
Circunferencia		Propia del tubo karsten

La permeabilidad no varía en gran medida si el acabado se pule de manera artesanal o mecánica si estos resultados de 3.8 y 2.8 ml absorbidos en 30 minutos se comparan con los obtenidos en las pruebas de permeabilidad del tadelakt

pulido a mano y utilizando los mismos materiales de composición, que son 3.30 y 3.15 ml en 30 minutos (ver tablas 28 y 29); sin embargo, no se tiene la cantidad de datos necesarios para realizar las pruebas estadísticas pertinentes y concluir si la permeabilidad del tadelakt varía utilizando un método u otro ya que este punto no forma parte de los alcances de este estudio por lo que queda señalado en los nichos de investigación al final de este documento.



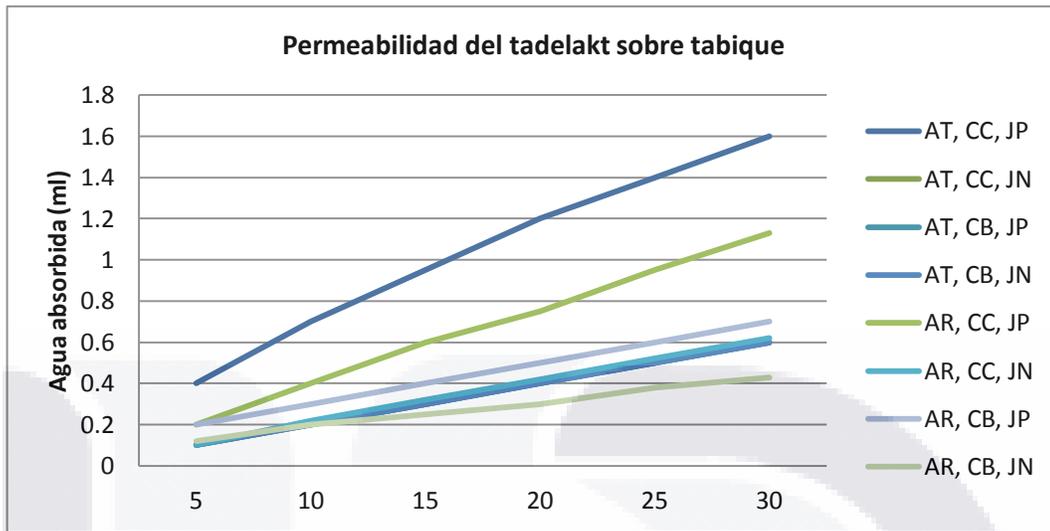
CAPÍTULO VIII

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8. CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

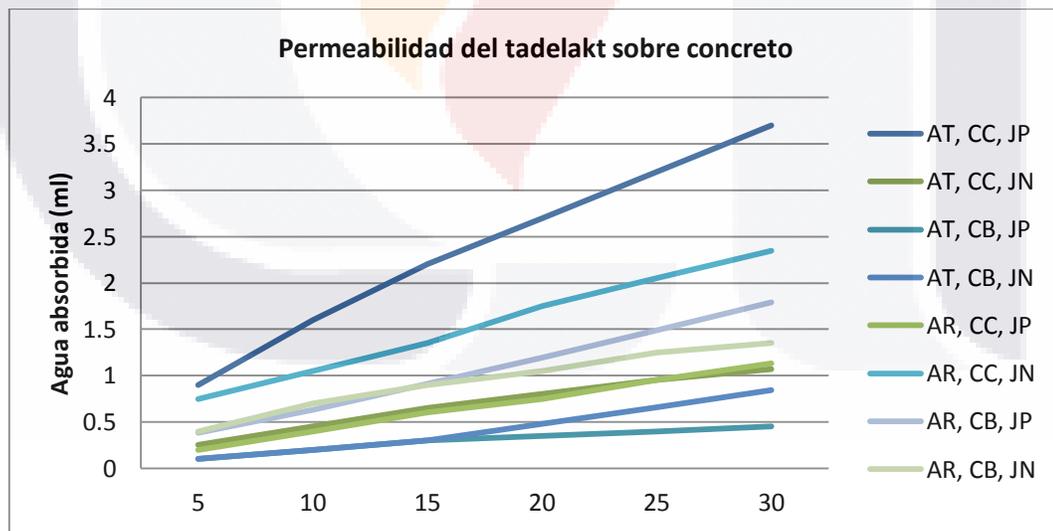
Una vez que se realizaron las pruebas de absorción y se registraron los resultados, se prosiguió a graficarlos para entender mejor el comportamiento del acabado según los diferentes sustratos y materiales de composición. Las primeras gráficas representan el comportamiento de permeabilidad de cada probeta según el tipo de sustrato (tabique, concreto y block de concreto) para entender qué combinación de materiales (tipos de arena, cal y jabón) funciona mejor sobre cada sustrato; enseguida se graficó el promedio de agua absorbida del tadelakt sobre tabique, concreto y block de concreto en general, para así observar en cuál de los tres sustratos el acabado presenta menor permeabilidad; también se graficó la absorción promedio del tadelakt tomando en cuenta el tiempo, en un lapso de cinco minutos; por último, se representó la permeabilidad de las muestras según los tipos de materiales que se emplearon para la mezcla y comparar qué tipo de arena (triturada o de río), cal (en crema o de bulto) y jabón (potásico o normal) funcionan mejor para el acabado.

En la gráfica 1 se puede observar que el tadelakt, en el caso de las muestras hechas sobre tabique, las que obtuvieron comportamientos de mayor permeabilidad fueron las elaboradas con arena triturada y cal en crema, sobre todo a la que se le aplicó jabón potásico mientras que la que obtuvo un mejor comportamiento ante el agua (menor absorción) fue la hecha con los materiales opuestos, es decir, arena de río, cal en bulto y jabón normal.



Gráfica 1 Absorción de agua presentada por las muestras de tadelakt hechas sobre tabique durante los 30 minutos de duración de la prueba de permeabilidad.

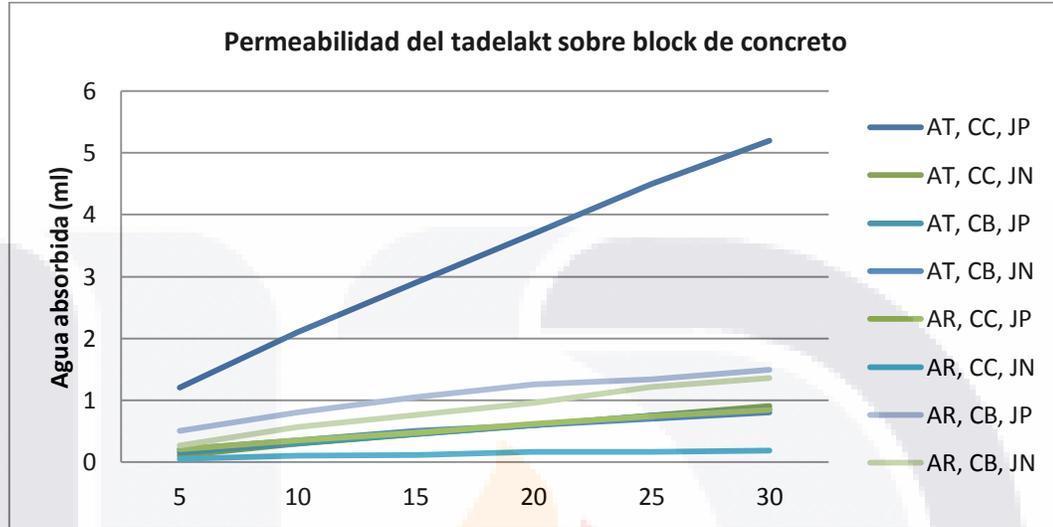
En cuanto a las muestras hechas sobre concreto la que absorbió más agua fue, de igual manera, la elaborada con arena triturada, cal en crema y jabón potásico y la que absorbió menos fue la de arena triturada, cal de bulto y jabón potásico (gráfica 2).



Gráfica 2 Absorción de agua presentada por las muestras de tadelakt hechas sobre las piezas de concreto durante los 30 minutos de duración de la prueba de permeabilidad.

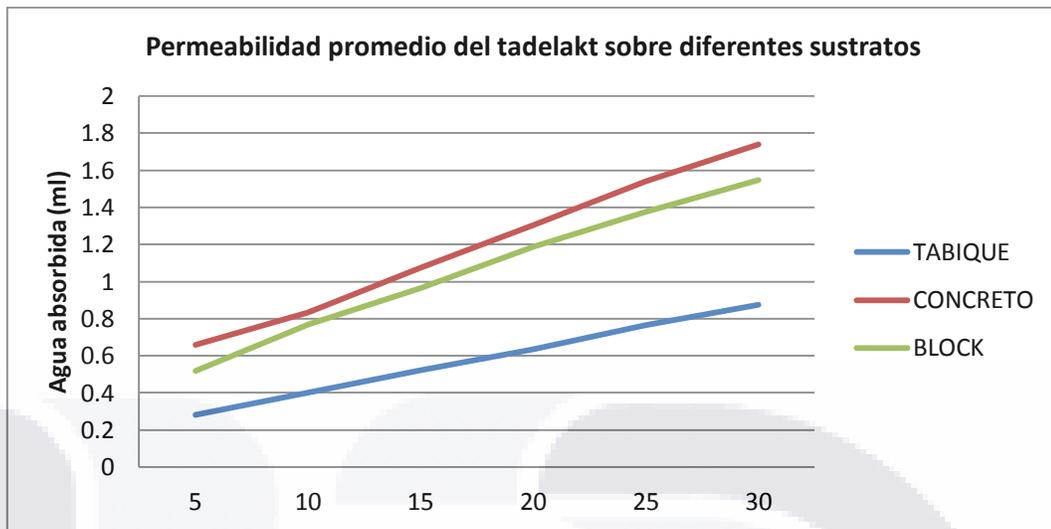
En el caso del block de concreto, el tadelakt que tuvo una mayor absorción de agua y con gran diferencia respecto al resto de las demás muestras fue también

la fabricada con arena triturada, cal en crema y jabón potásico mientras que la menos permeable fue la hecha con arena de río, cal en crema y jabón normal (gráfica 3).



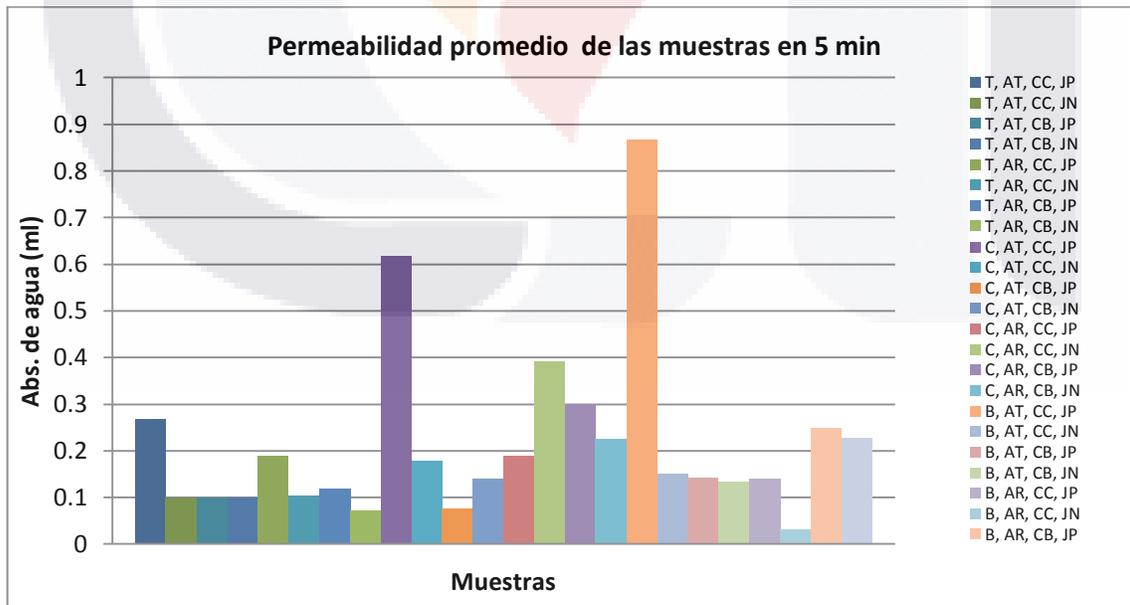
Gráfica 3 Absorción de agua presentada por las muestras de tadelakt hechas sobre block de concreto durante los 30 minutos de duración de la prueba de permeabilidad.

Al promediar los resultados anteriores se puede observar que las probetas de tabique mostraron mejor comportamiento ante el agua por ser menos permeables con una absorción menor a 1 ml de agua durante los 30 minutos que duró la prueba, seguidas por las de block de concreto y después las de concreto (gráfica 4). Esto puede deberse a que de los tres sustratos el tabique, por sus propiedades físicas, es el que tiene mayor similitud con la tierra apisonada, superficie donde en teoría funciona mejor el acabado debido a que tiene mayor retención de agua y por lo tanto propicia un secado lento y natural del tadelakt.



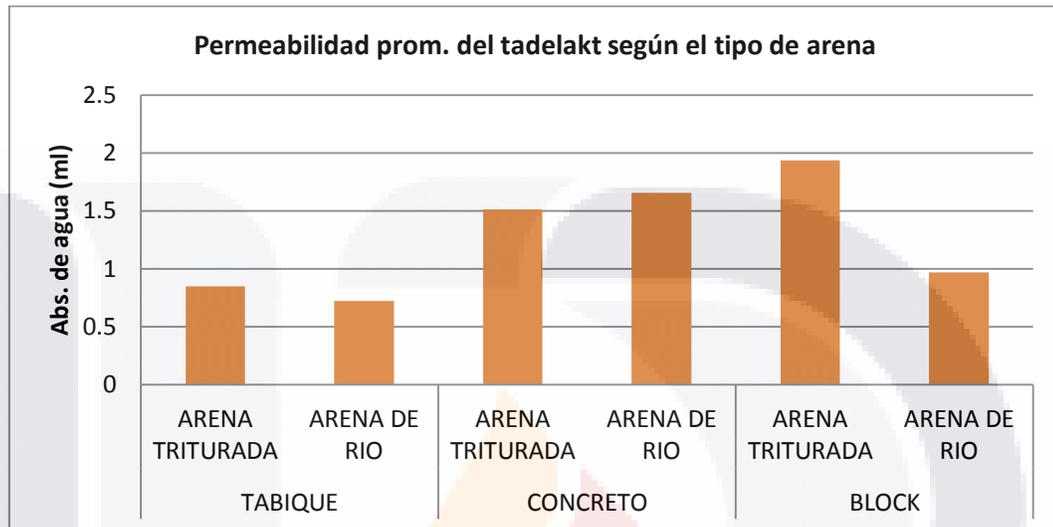
Gráfica 4 Absorción de agua promedio del tadelakt aplicado sobre los diferentes sustratos.

La probeta que absorbió más agua promedio en un lapso de cinco minutos fue la del tadelakt hecho con arena triturada, cal en crema y jabón potásico aplicado sobre block de concreto seguida por el tadelakt elaborado con los mismos ingredientes pero aplicado sobre concreto; la de menor absorción promedio fue la del acabado aplicado sobre block de concreto y hecho con arena de río, cal en crema y jabón normal (gráfica 5).



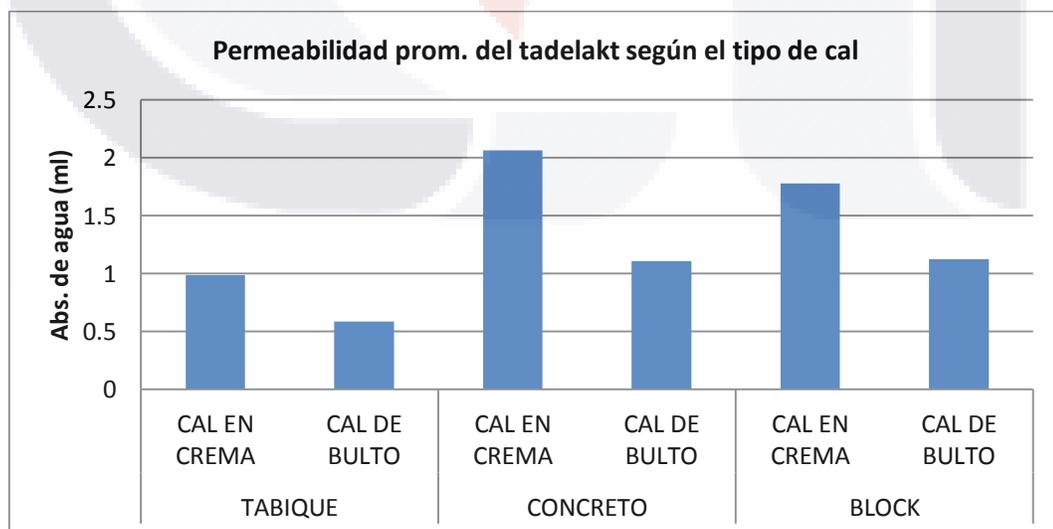
Gráfica 5 Absorción de agua promedio del tadelakt en un lapso de 5min.

Analizando las muestras que se hicieron ya sea con arena triturada o arena de río se observa que no existe un comportamiento constante en cuanto a la permeabilidad, por lo que probablemente no exista una relación entre ambas variables (gráfica 6).



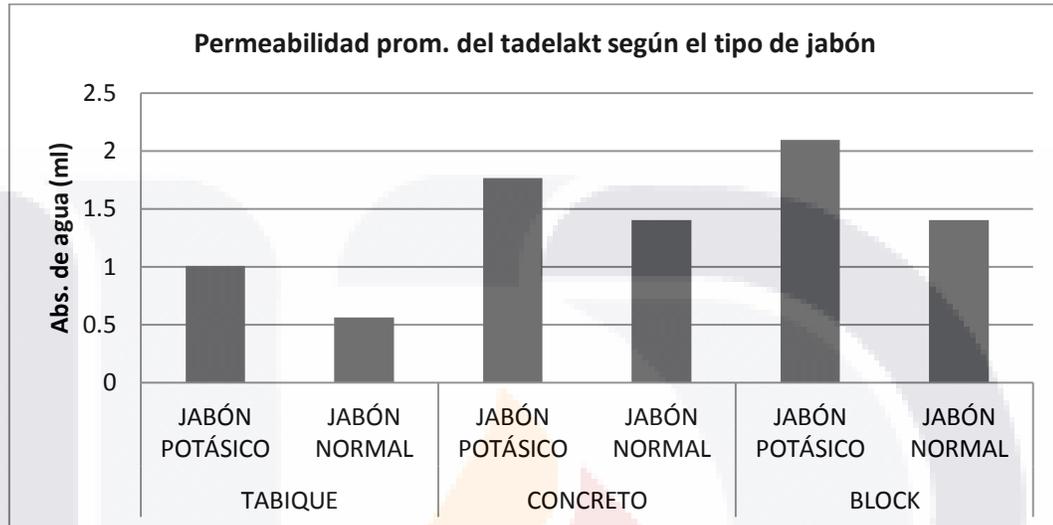
Gráfica 6 Absorción de agua promedio del tadelakt según el tipo de arena.

Analizando las muestras que se hicieron ya sea con cal en crema o cal de bulto, se observa que las realizadas con cal de bulto presentan menor permeabilidad tanto en las muestras hechas sobre tabique como en las de concreto y las de block de concreto (gráfica 7).



Gráfica 7 Absorción de agua promedio del tadelakt según el tipo de cal.

Por último, según las muestras que se hicieron ya sea con jabón potásico o jabón normal, se observa que las realizadas con jabón potásico presentan mayor permeabilidad que las realizadas con jabón normal, tanto en las muestras hechas sobre tabique como en las de concreto y las de block de concreto.



Gráfica 8 Absorción de agua promedio del tadelakt según el tipo de jabón.

8.1 EVALUACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LOS RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE AGUA DEL TADELAKT SOBRE LOS DISTINTOS SUSTRATOS

Para las tres pruebas de normalidad se plantean las siguientes hipótesis:

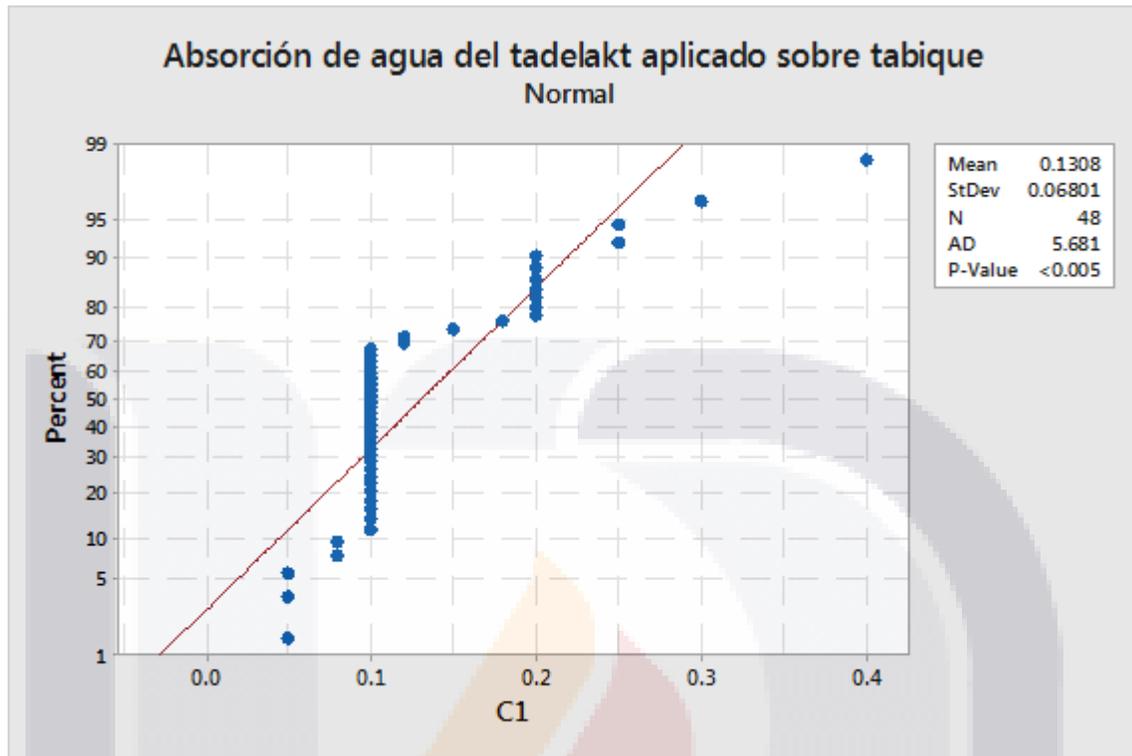
H_0 = La variable dependiente "X= valor de absorción del tadelakt en un lapso de tiempo de cinco minutos" presenta una distribución Normal.

H_1 = La variable dependiente "X= valor de absorción del tadelakt en un lapso de tiempo de cinco minutos" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE TABIQUE

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$\alpha = 0.05$



Gráfica 9 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente “Y1: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique”. Elaboración propia.

Dado que:

- 1) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 5.681 $\neq 0$ y;
- 2) El valor $p = 0.005 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

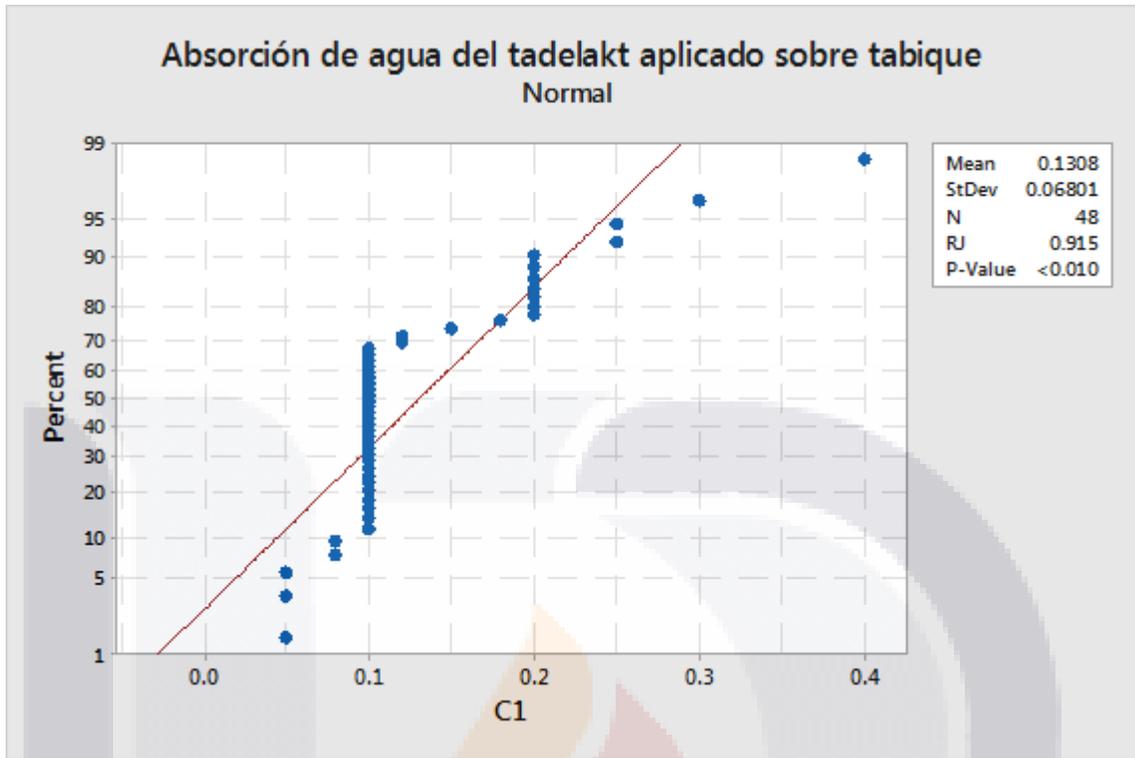
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y1: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE TABIQUE

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$\alpha = 0.05$



Gráfica 10 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente “Y1: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique”. Elaboración propia.

Dado que:

- 1) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ)= 0.915 < 1 y;
- 2) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

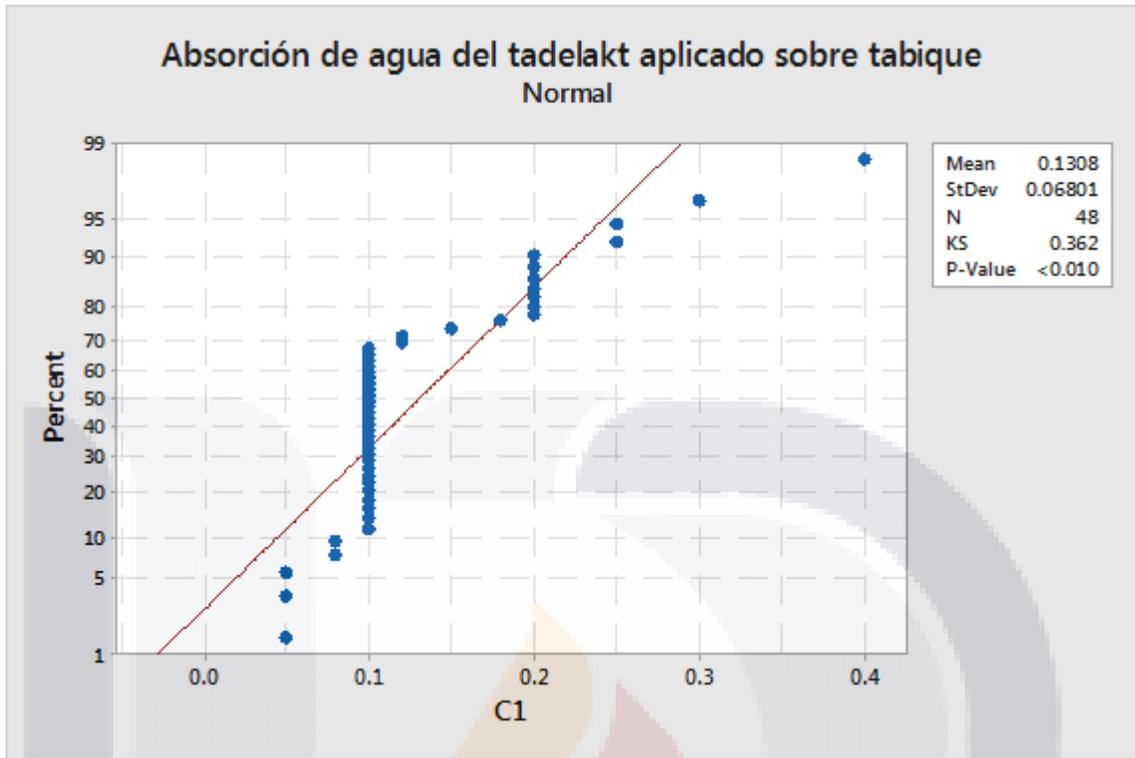
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y1: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE TABIQUE

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 11 Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov. Smirnov para la variable dependiente “Y1: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique”. Elaboración propia.

Dado que:

- 1) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.362 < 1 y;

El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

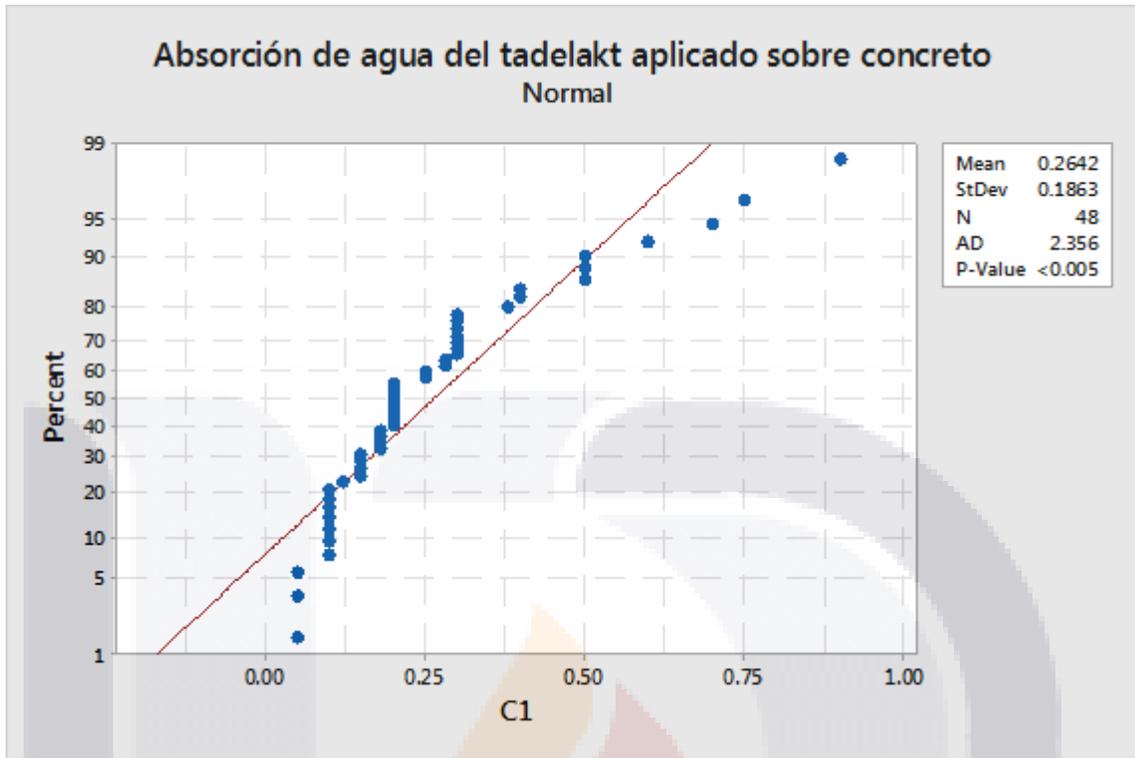
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y1: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE CONCRETO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 12 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente "Y2: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre concreto". Elaboración propia.

Dado que:

- 3) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 2.356 \neq 0 y;
- 4) El valor $p= 0.005 < \alpha= 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

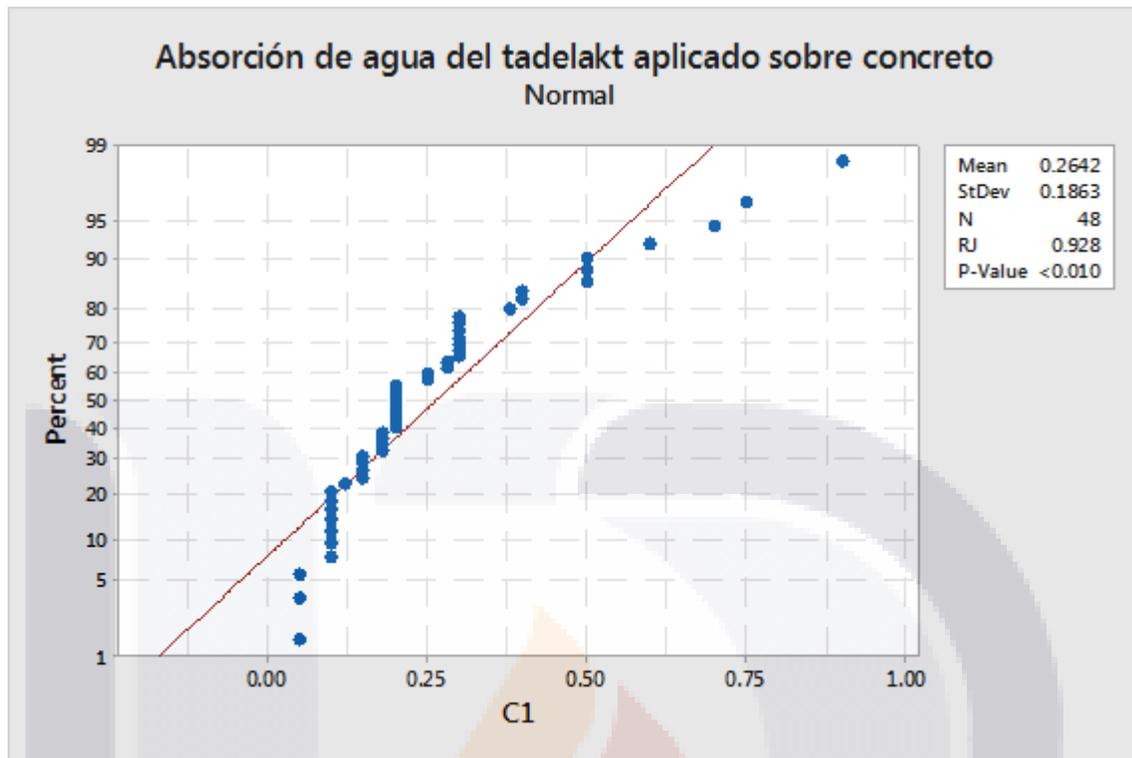
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y2: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre concreto" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE CONCRETO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 13 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente "Y2: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre concreto". Elaboración propia.

Dado que:

- 3) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ)= 0.928 < 1 y;
- 4) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

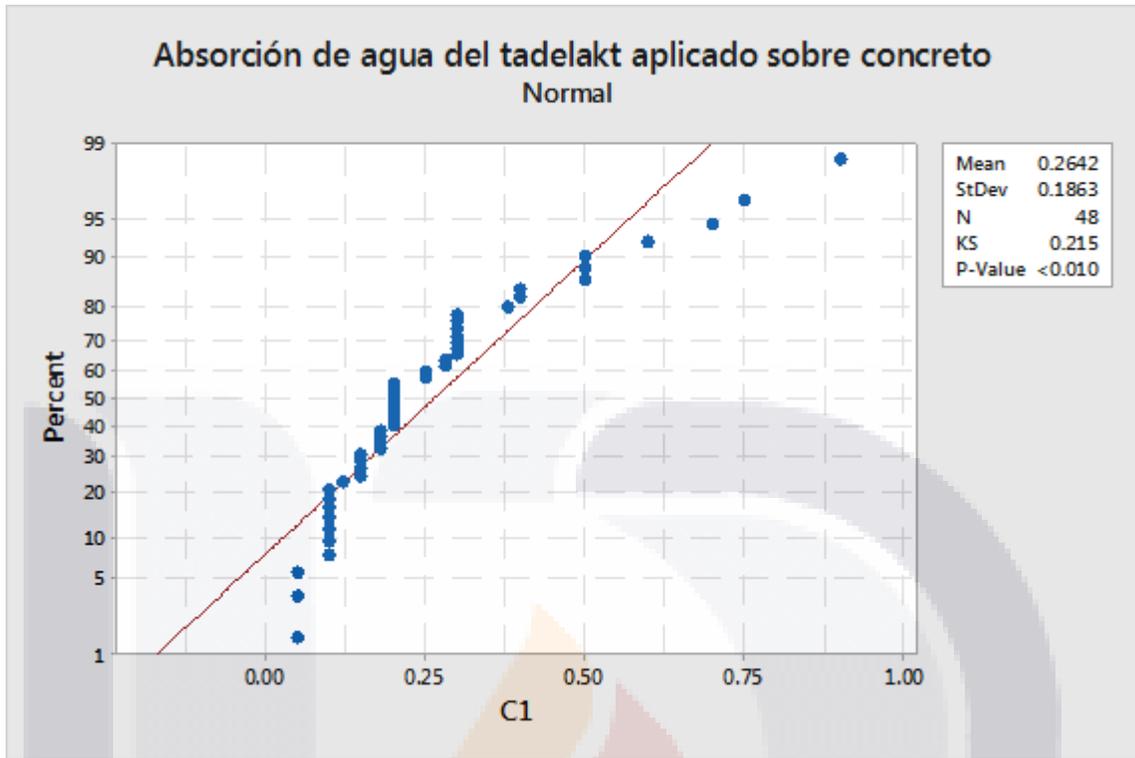
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y2: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre concreto" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE CONCRETO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 14 Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov. Smirnov para la variable dependiente "Y2: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre concreto". Elaboración propia.

Dado que:

2) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.215 < 1 y;

El valor p= 0.010 < α = 0.05 por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

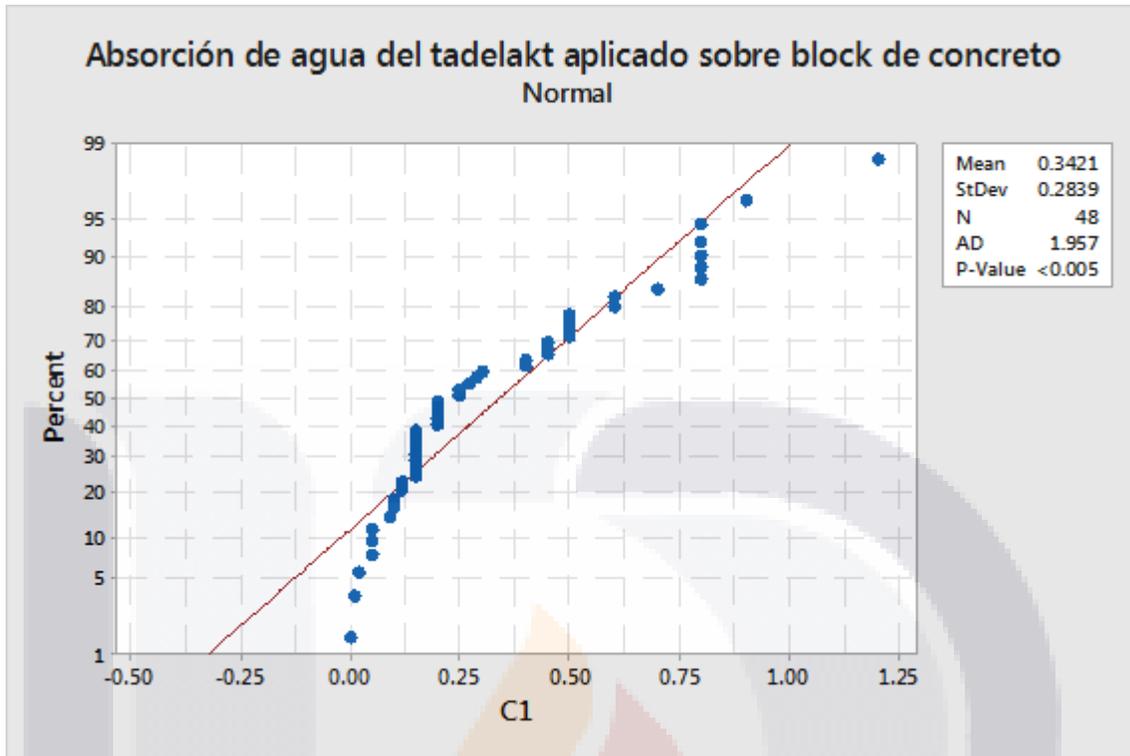
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y2: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre concreto" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE BLOCK DE CONCRETO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 15 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente "Y2: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre block de concreto". Elaboración propia.

Dado que:

- 5) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 1.957 \neq 0 y;
- 6) El valor $p = 0.005 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

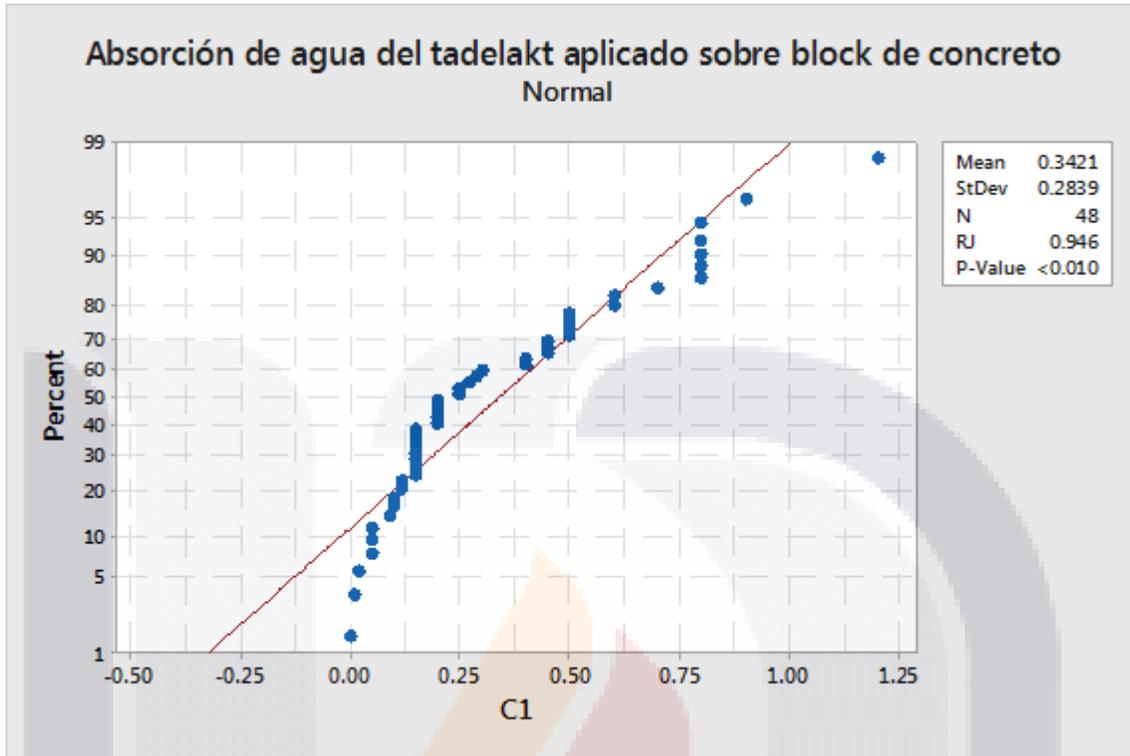
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y3: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre block de concreto" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE CONCRETO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$\alpha = 0.05$



Gráfica 16 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente "Y3: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre block de concreto". Elaboración propia.

Dado que:

- 5) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ) = 0.946 < 1 y;
- 6) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

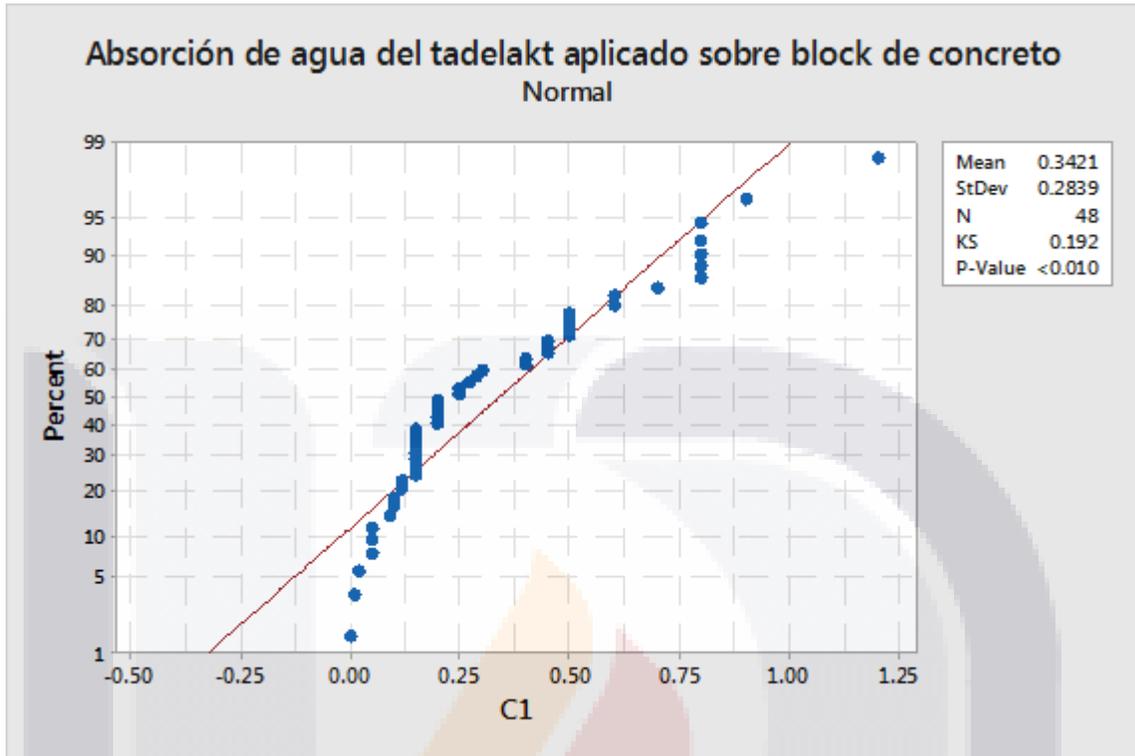
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y3: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre block de concreto" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE CONCRETO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$\alpha = 0.05$



Gráfica 11. Gráfica de Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la variable dependiente “Y₃: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre block de concreto”. Elaboración propia.

Dado que:

- 3) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.192 < 1 y;
- 4) El valor p= 0.010 < α = 0.05 por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H₀.

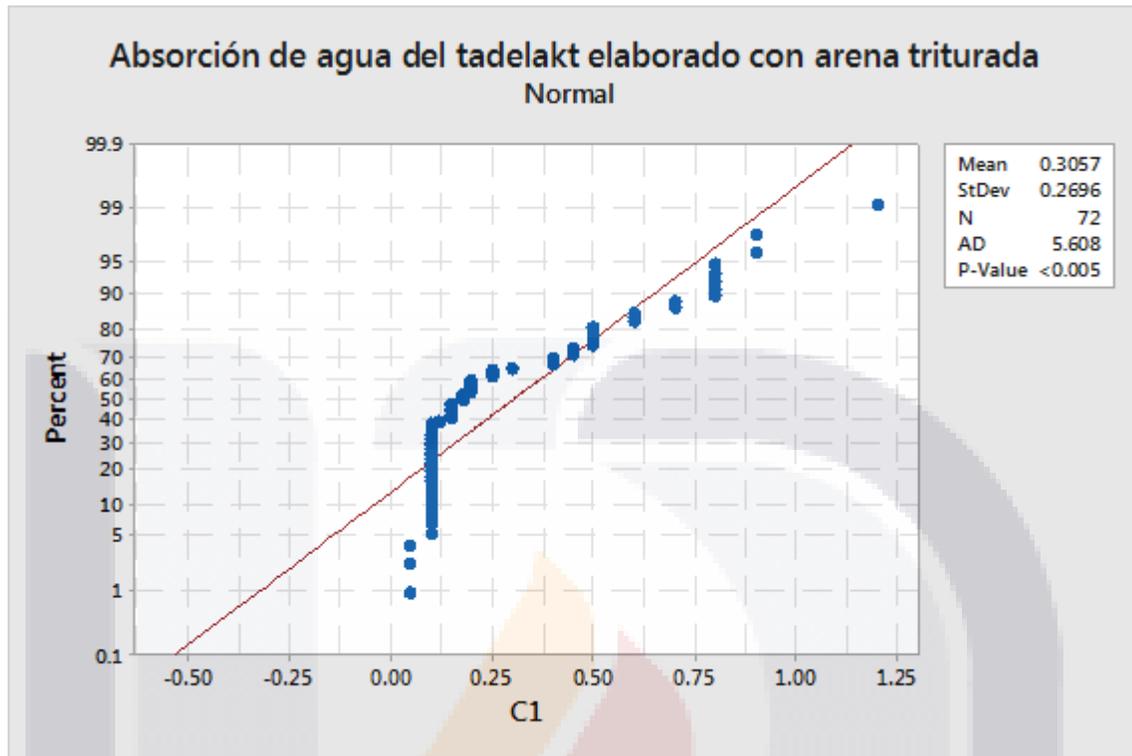
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y₃: valor de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre block de concreto” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON ARENA TRITURADA

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$\alpha = 0.05$



Gráfica 17 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena triturada”. Elaboración propia.

Dado que:

- 7) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 5.608 $\neq 0$ y;
- 8) El valor $p = 0.005 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

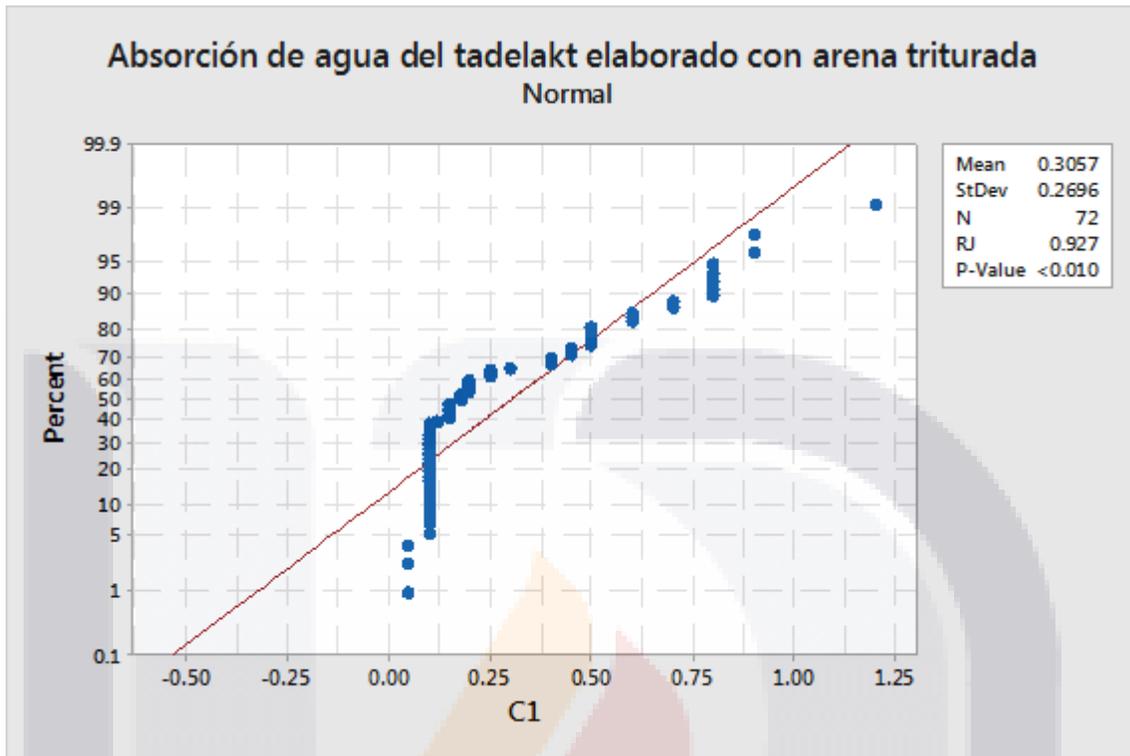
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena triturada” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON ARENA TRITURADA

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$\alpha = 0.05$



Gráfica 18 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena triturada". Elaboración propia.

Dado que:

- 7) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ)= 0.927 < 1 y;
- 8) El valor $p= 0.010 < \alpha= 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

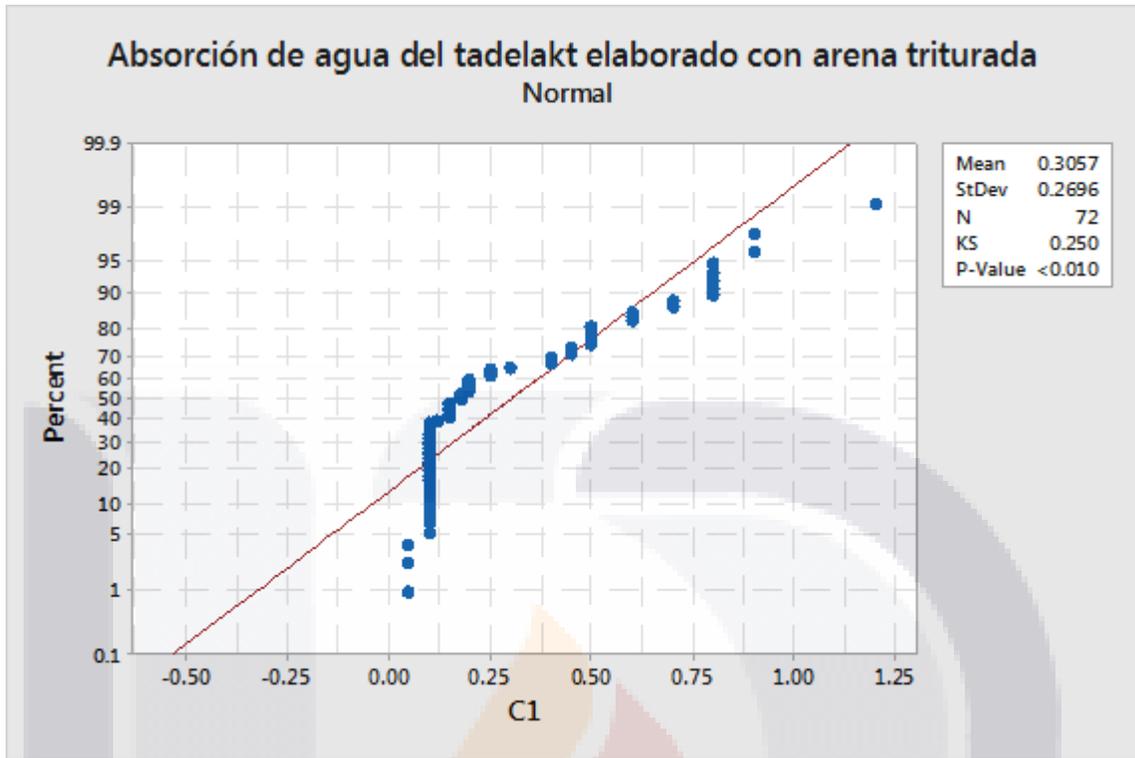
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena triturada" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT APLICADO SOBRE CONCRETO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 19 Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov. Smirnov para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena triturada". Elaboración propia.

Dado que:

- 5) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.250 < 1 y;
- 6) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

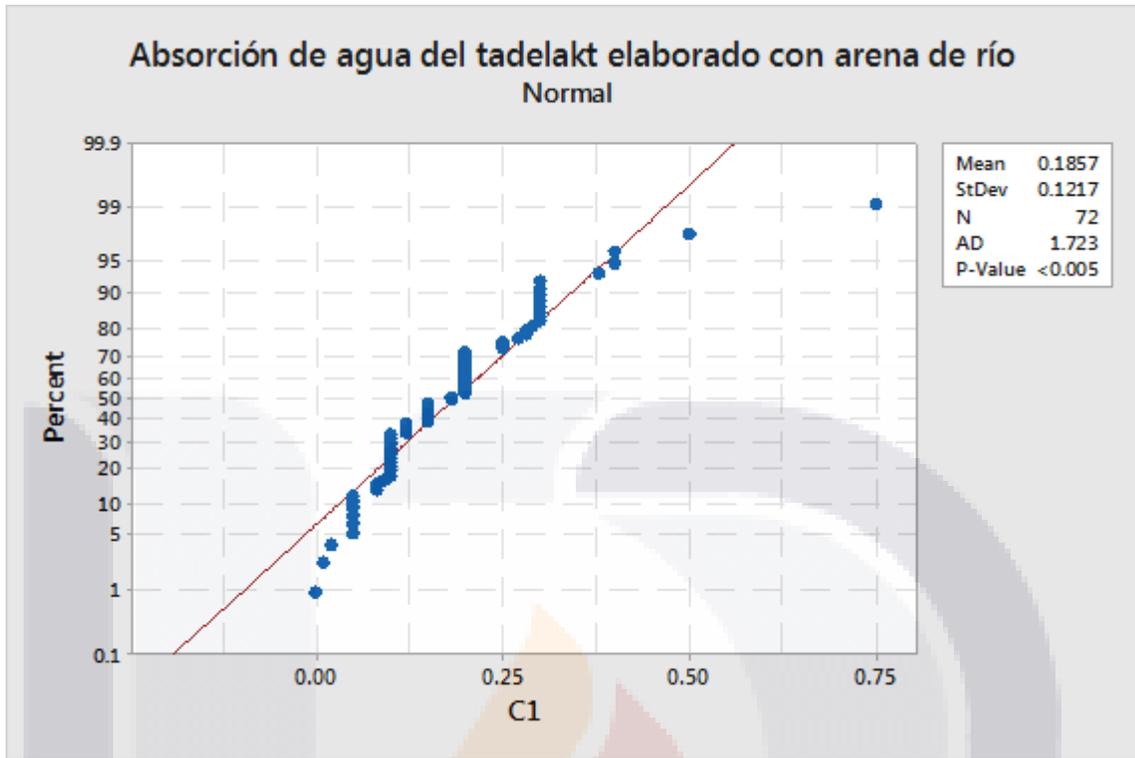
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y3: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena triturada" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON ARENA DE RÍO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 20 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena de río". Elaboración propia.

Dado que:

9) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 1.723 \neq 0 y;

10) El valor $p = 0.005 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

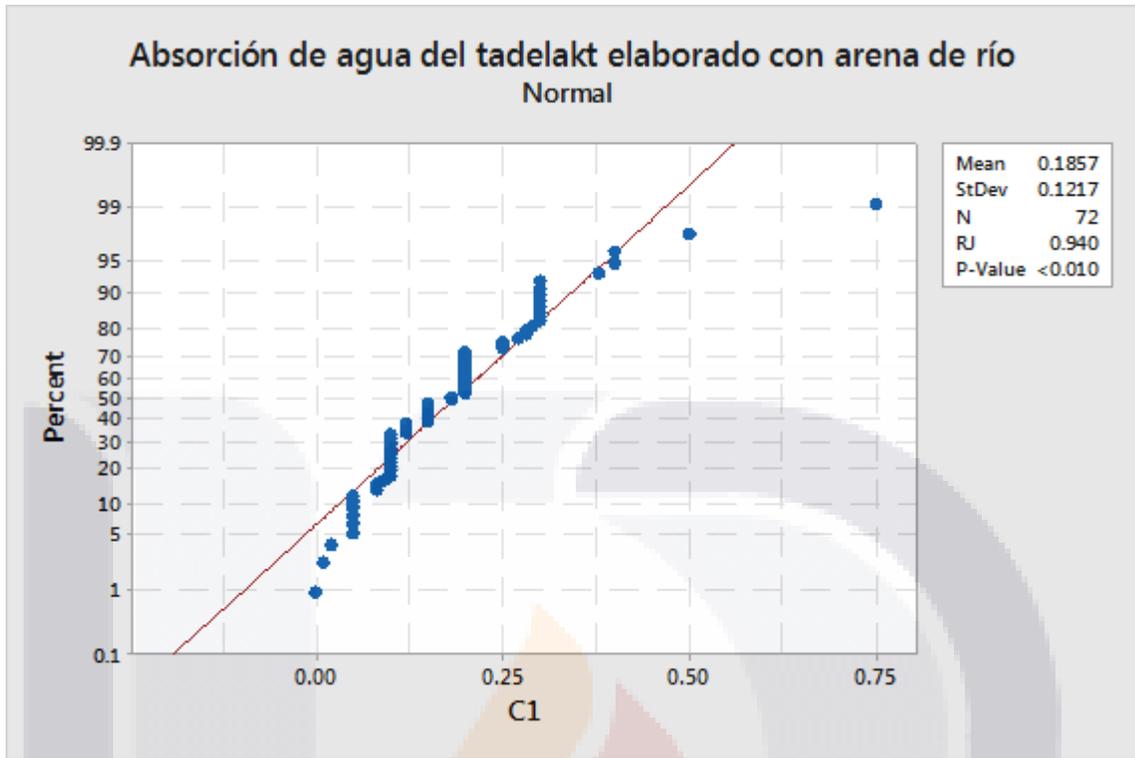
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena de río" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON ARENA DE RÍO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 21 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena de río". Elaboración propia.

Dado que:

9) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ)= 0.940 < 1 y;

10) El valor p= 0.010 < α= 0.05 por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H₀.

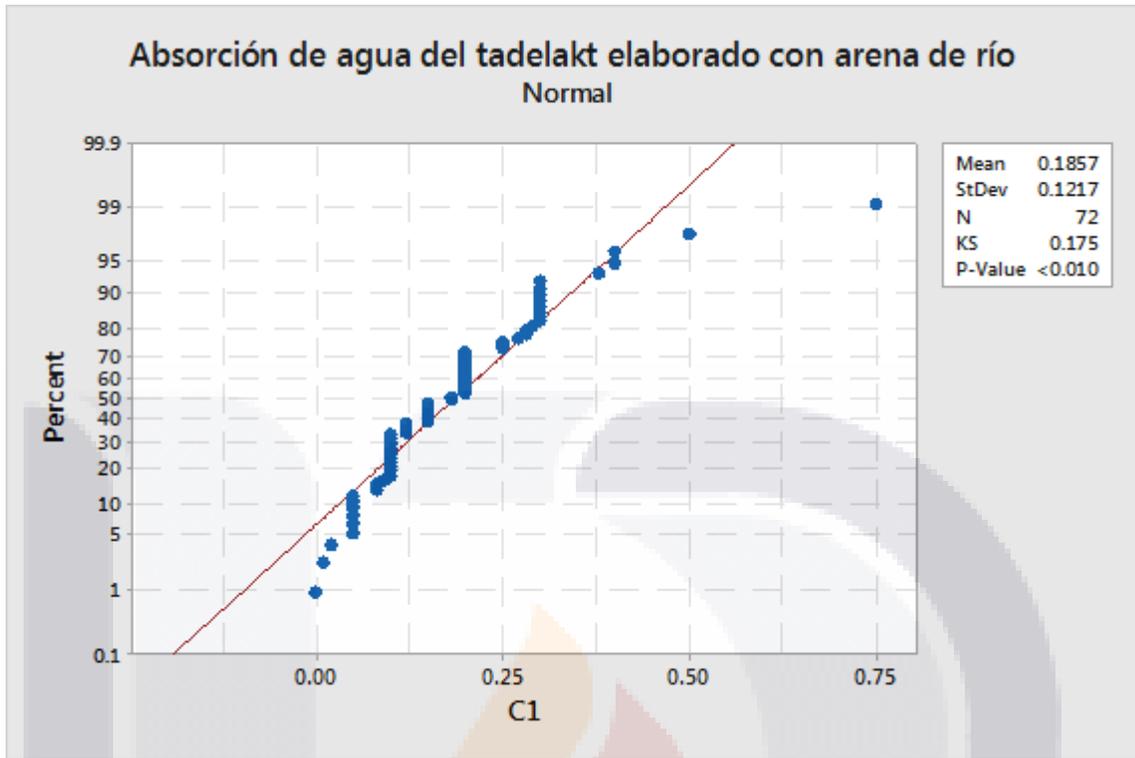
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena de río" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON ARENA DE RÍO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 22 Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov. Smirnov para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena de río". Elaboración propia.

Dado que:

- 7) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.175 < 1 y;
- 8) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

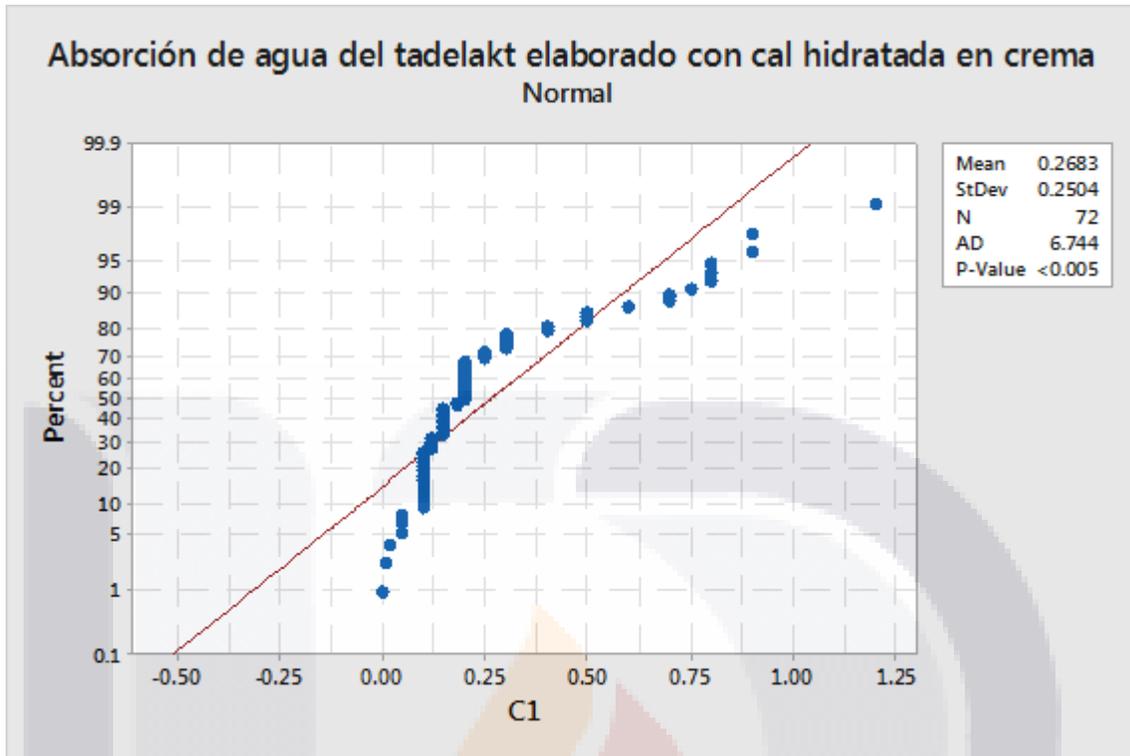
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y3: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena de río" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON CAL EN HIDRATADA EN CREMA

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 23 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada en crema”. Elaboración propia.

Dado que:

11) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 6.744 ≠ 0 y;

12) El valor p= 0.005 < α= 0.05 por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H₀.

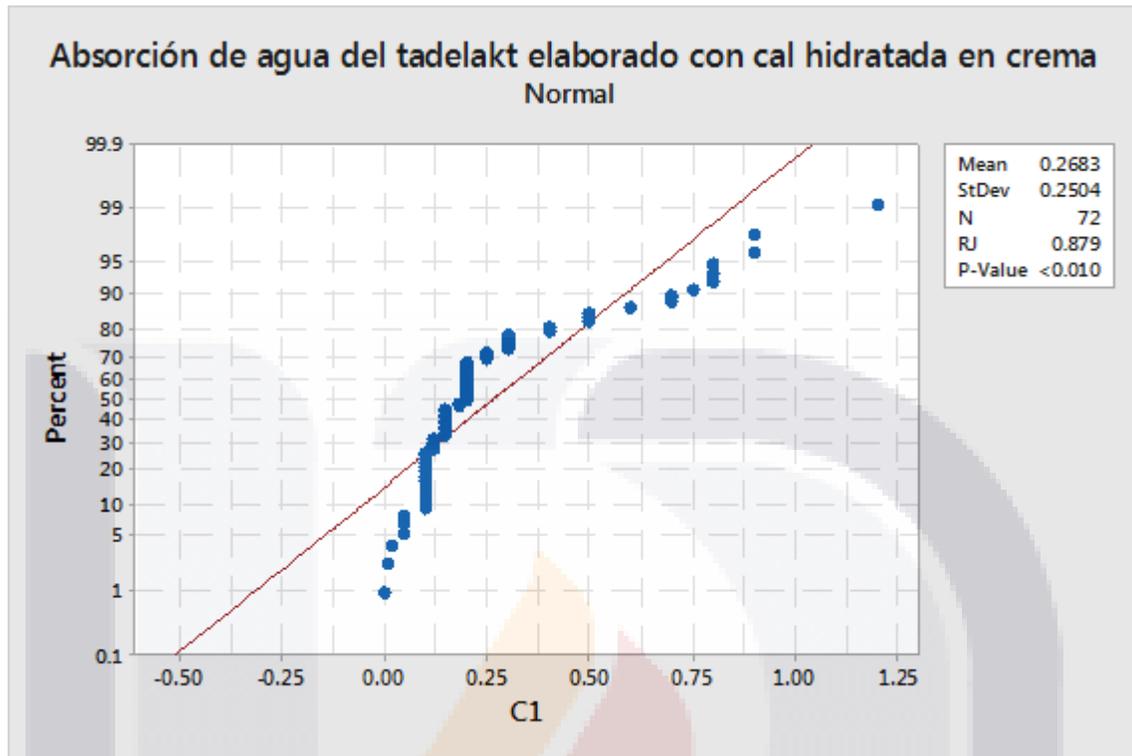
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y₄: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada en crema” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON CAL HIDRATADA EN CREMA

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 24 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada en crema". Elaboración propia.

Dado que:

- 1) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ) = 0.879 < 1 y;
- 2) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

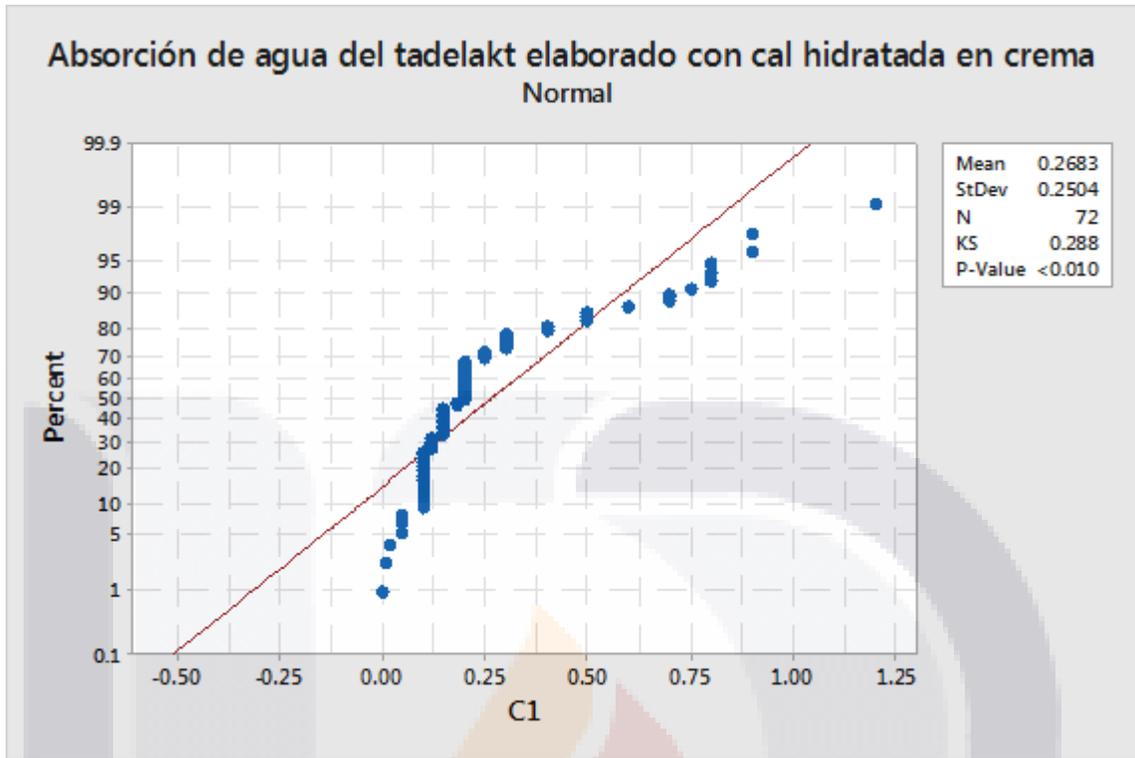
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada en crema" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON CAL HIDRATADA EN CREMA

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 25 Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov. Smirnov para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada en crema". Elaboración propia.

Dado que:

9) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.288 < 1 y;

10) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

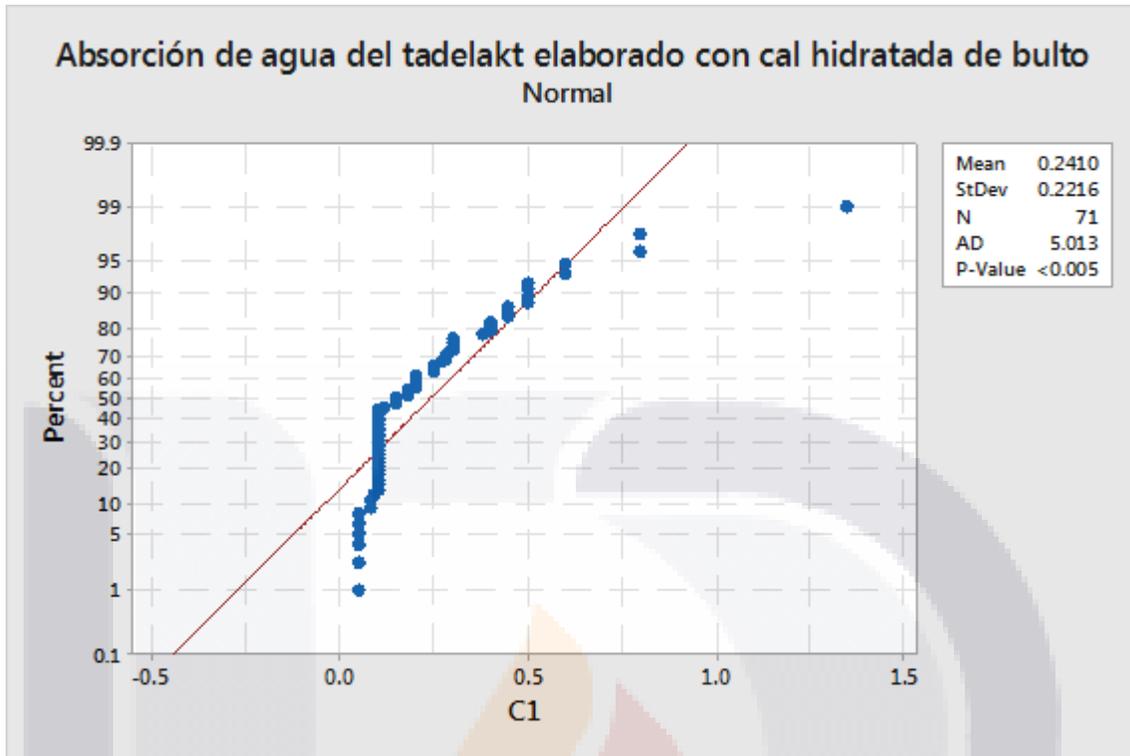
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y₃: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada en crema" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON CAL HIDRATADA DE BULTO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 26 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto”. Elaboración propia.

Dado que:

13) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 5.013 \neq 0 y;

14) El valor $p = 0.005 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

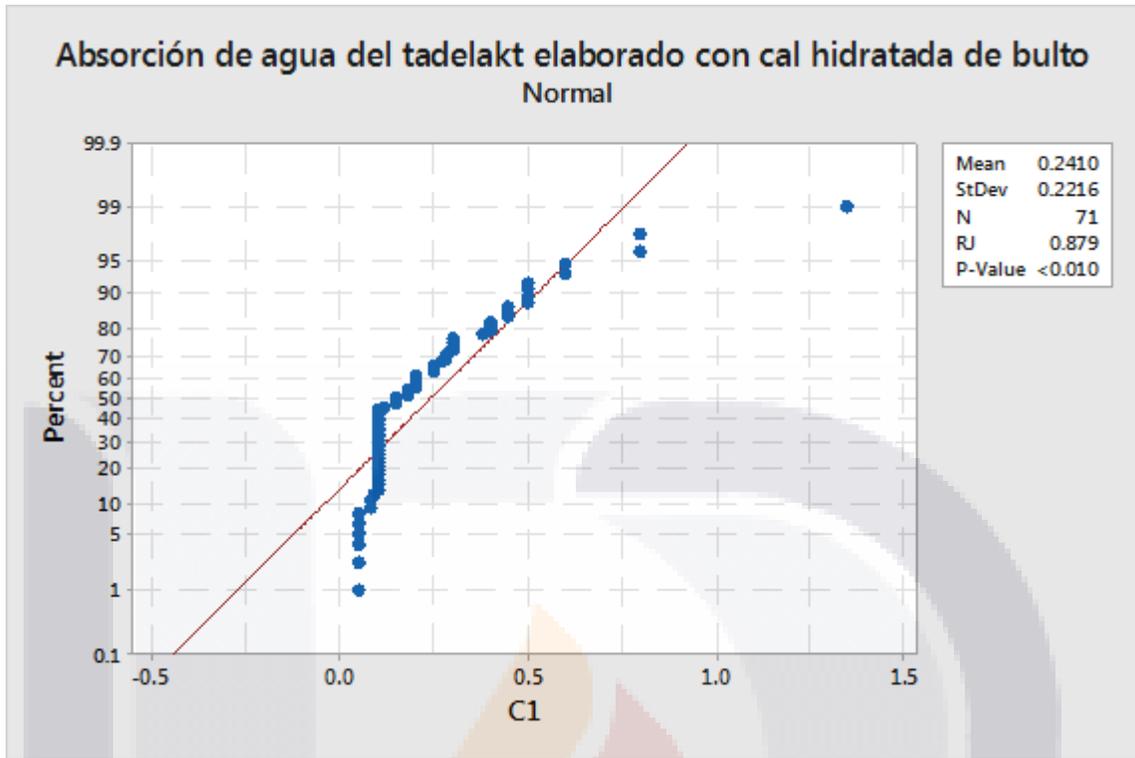
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON CAL HIDRATADA DE BULTO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 27 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto”. Elaboración propia.

Dado que:

13) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ)= 0.879 < 1 y;

14) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

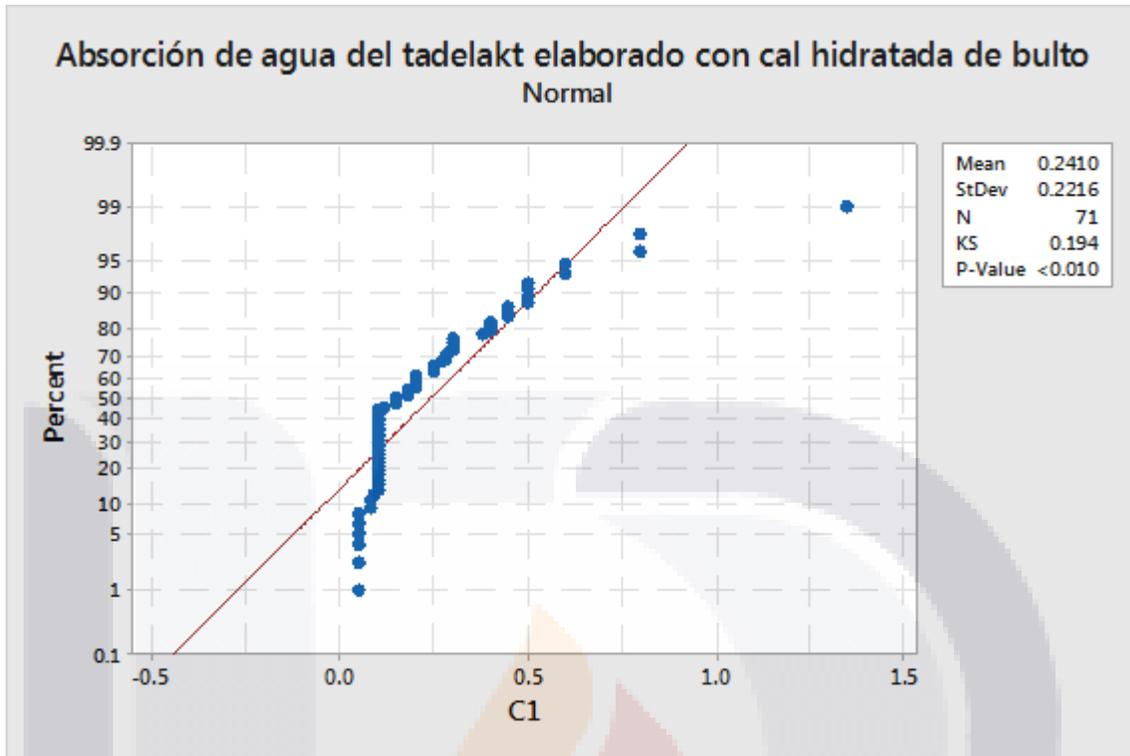
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON CAL HIDRATADA DE BULTO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 28 Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov. Smirnov para la variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto”. Elaboración propia.

Dado que:

- 11) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.194 < 1 y;
- 12) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

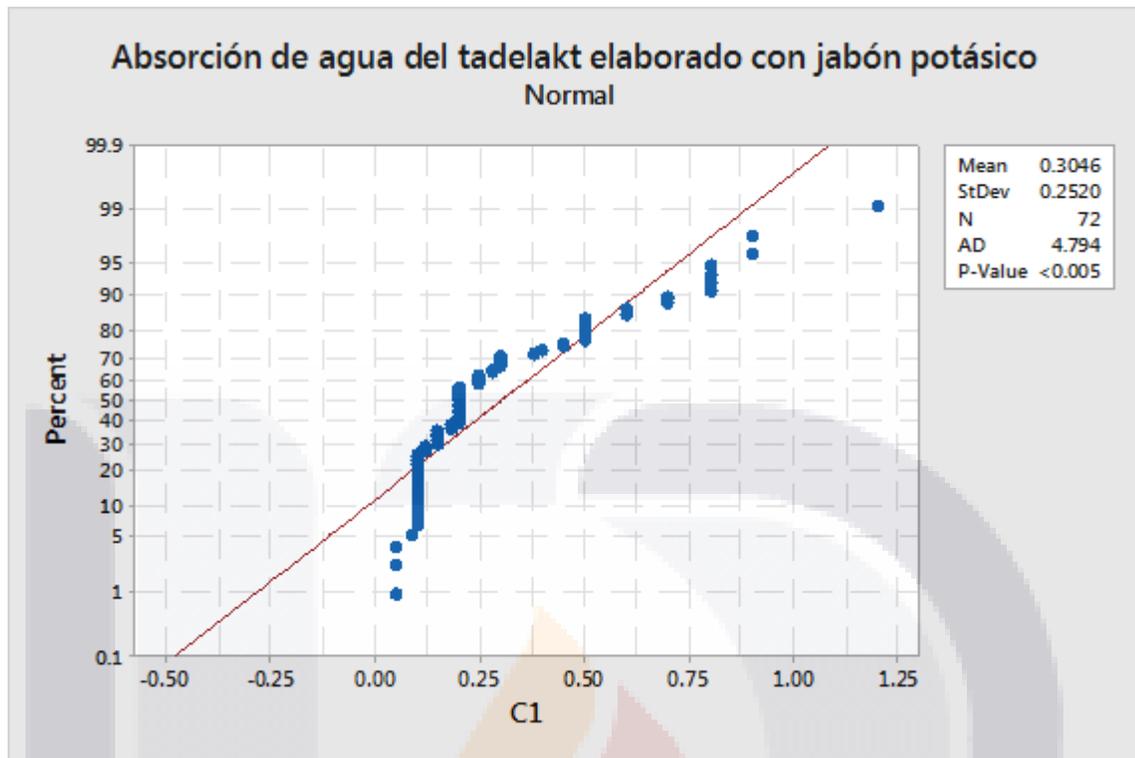
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y3: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON JABÓN POTÁSICO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 29 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón potásico". Elaboración propia.

Dado que:

15) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 4.794 \neq 0 y;

16) El valor $p= 0.005 < \alpha= 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

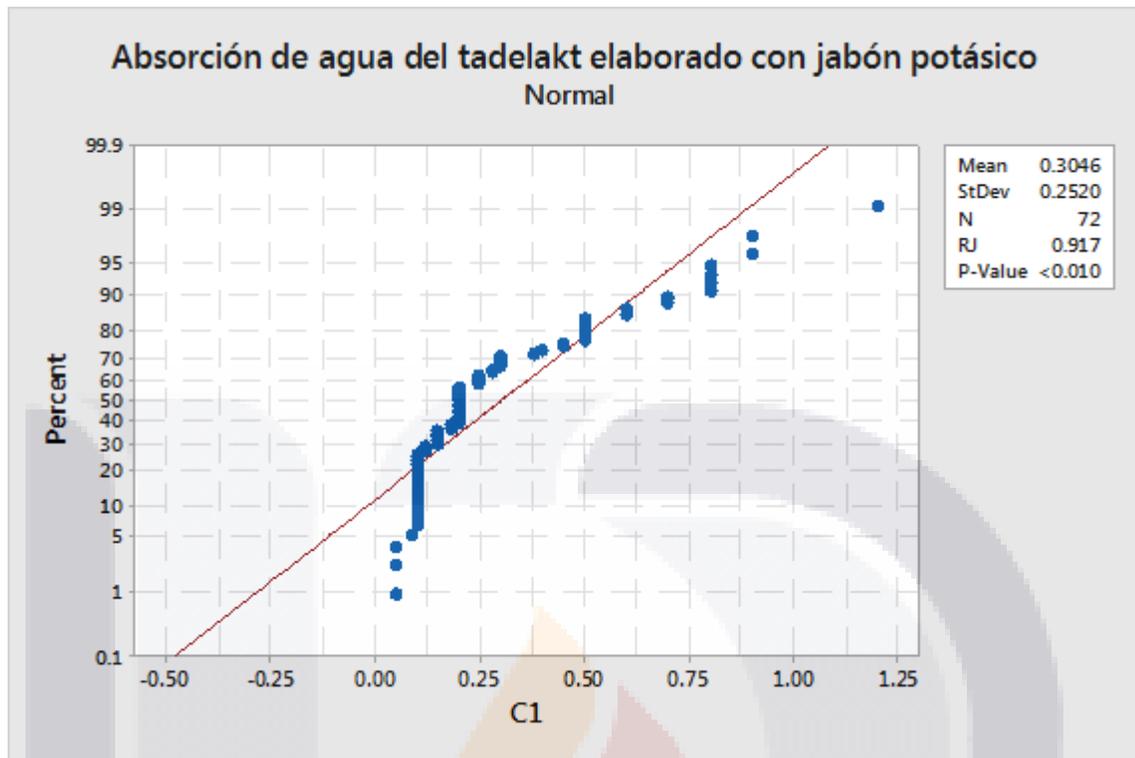
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón potásico" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON JABÓN POTÁSICO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 30 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón potásico". Elaboración propia.

Dado que:

15) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ)= 0.917 < 1 y;

16) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

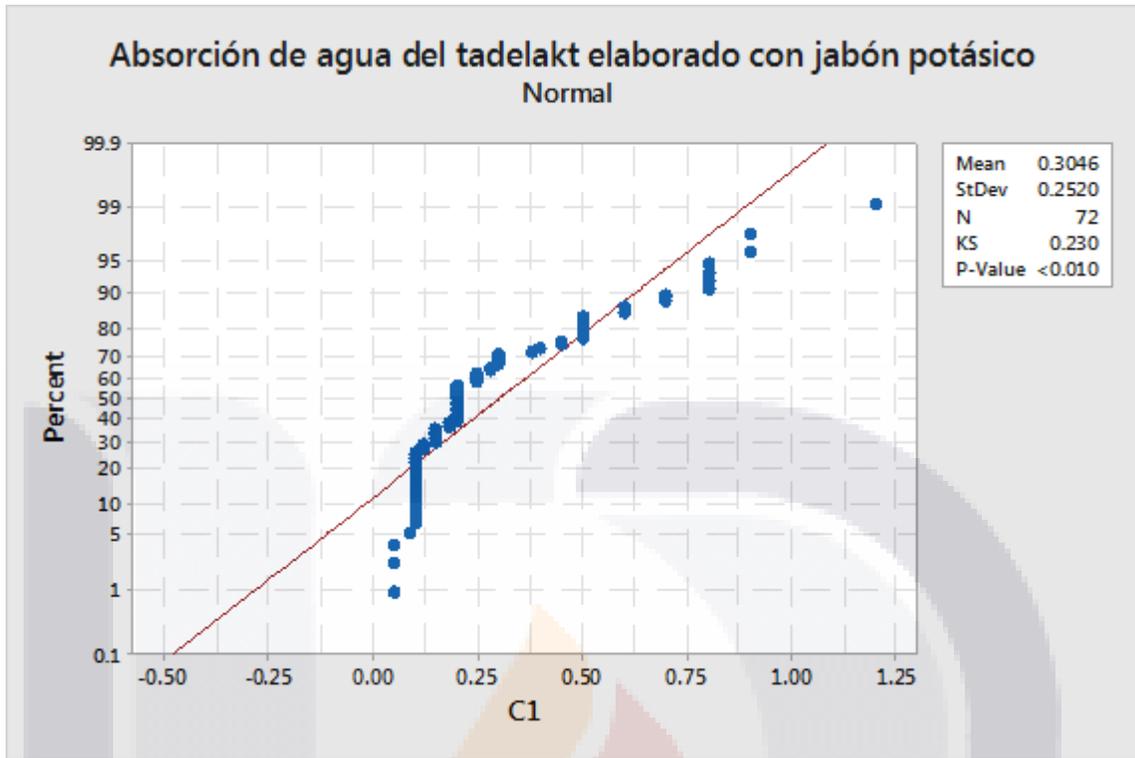
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón potásico" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON JABÓN POTÁSICO

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 31 Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la variable dependiente "Y₄: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón potásico". Elaboración propia.

Dado que:

13) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.230 < 1 y;

14) El valor p= 0.010 < α= 0.05 por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H₀.

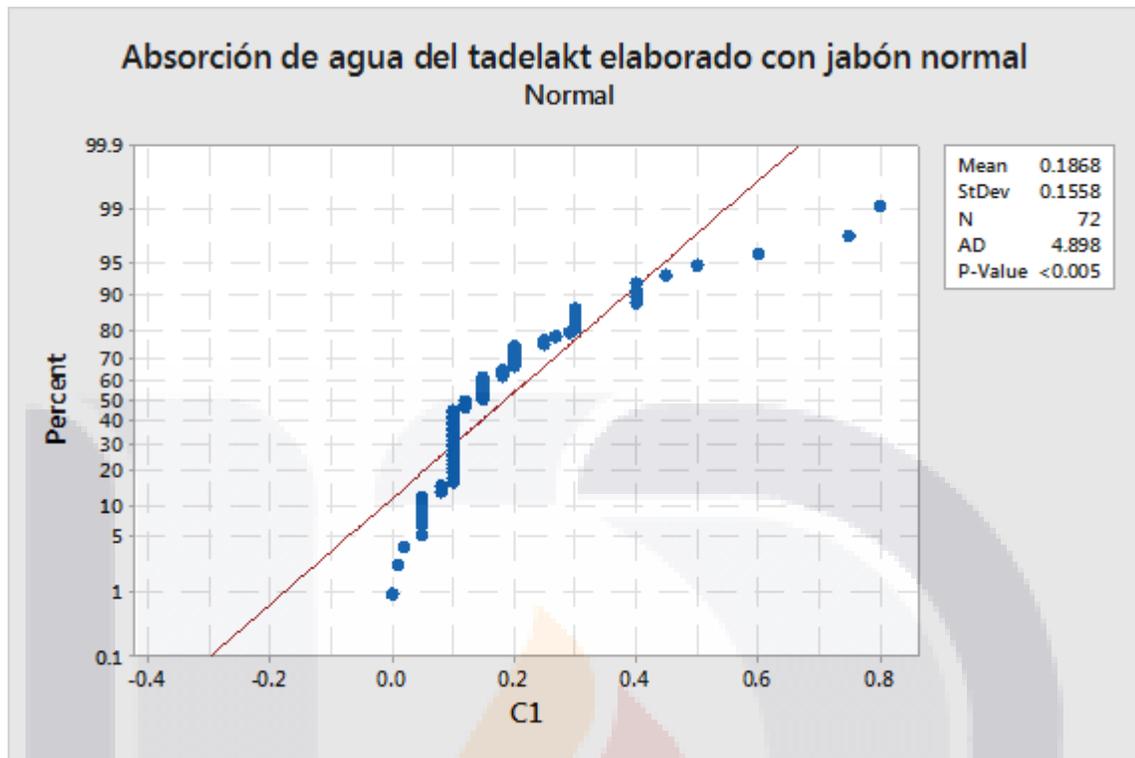
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y₃: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón potásico" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON-DARLING PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON JABÓN NORMAL

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 32 Análisis de Normalidad por la prueba de Anderson Darling para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón normal". Elaboración propia.

Dado que:

17) El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD)= 4.898 \neq 0 y;

18) El valor $p= 0.005 < \alpha= 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

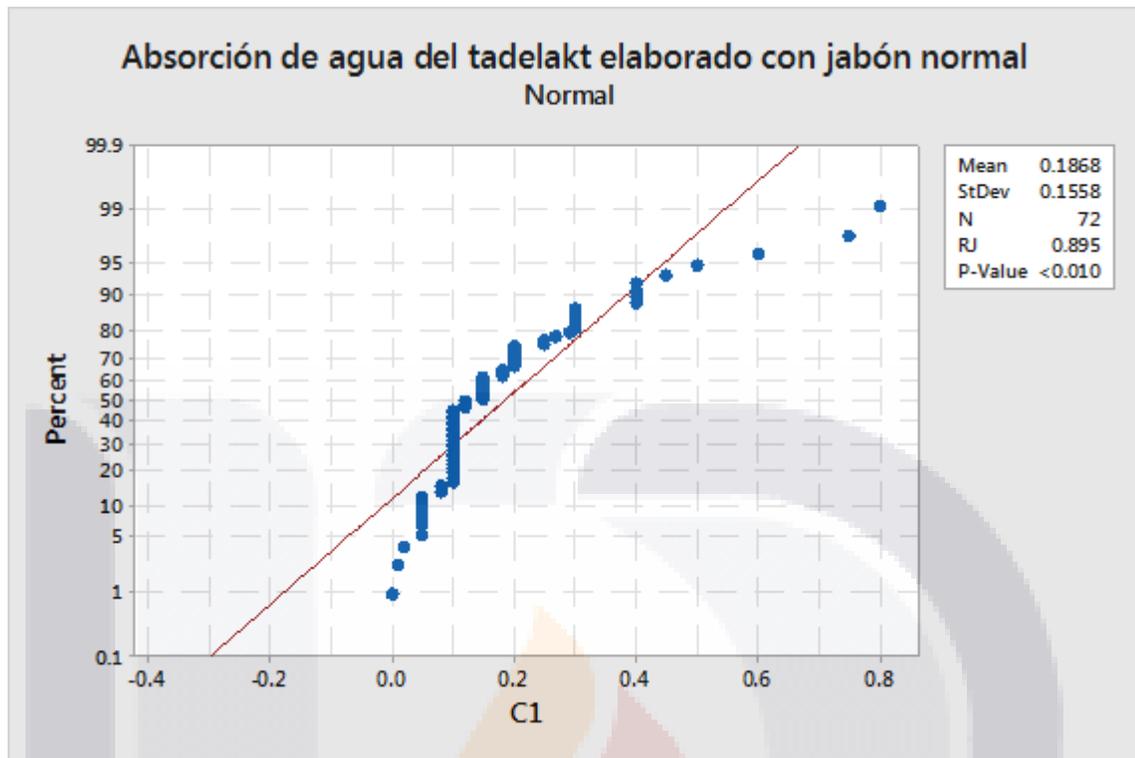
Por lo tanto:

La variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón normal" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE RYAN-JOINER PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON JABÓN NORMAL

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 33 Análisis de Normalidad por la prueba Ryan-Joiner para la variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón normal”. Elaboración propia.

Dado que:

17) El valor del estadístico de Ryan-Joiner (RJ)= 0.895 < 1 y;

18) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

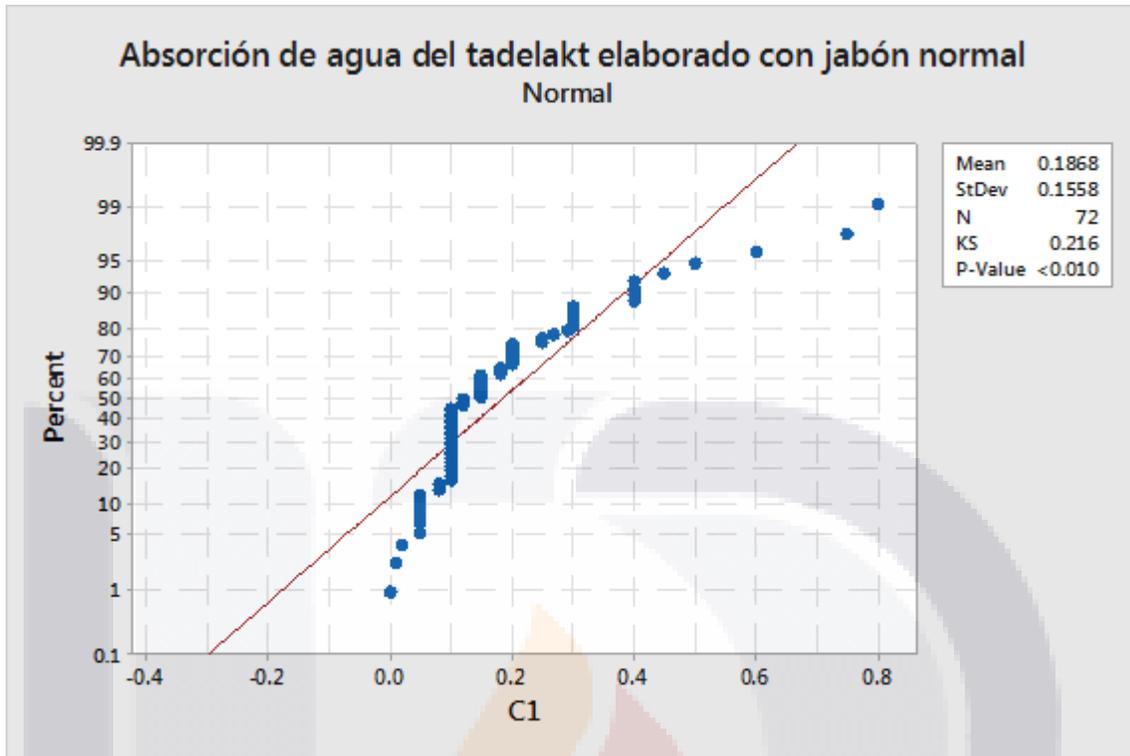
Por lo tanto:

La variable dependiente “Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón normal” presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA LAS PROBETAS DE TADELAKT ELABORADO CON JABÓN NORMAL

Para esta prueba se consideró un nivel de significación α de 0.05.

$$\alpha = 0.05$$



Gráfica 34 Análisis de Normalidad por la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la variable dependiente "Y4: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón normal". Elaboración propia.

Dado que:

15) El valor del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS)= 0.216 < 1 y;

16) El valor $p = 0.010 < \alpha = 0.05$ por lo que:

Se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Por lo tanto:

La variable dependiente "Y3: valor de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón normal" presenta una distribución distinta a la distribución Normal.

8.2 JUSTIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Las tres pruebas realizadas demuestran que los datos no presentan una distribución normal, esta información permite seleccionar los instrumentos estadísticos adecuados para evaluar las hipótesis. Para estos casos en los que no

hay normalidad en los datos y no se tienen muestras lo suficientemente grandes que permitan continuar el análisis utilizando pruebas paramétricas, se aplicaron las siguientes opciones:

1. Debido a que se cuenta con muestras grandes mayores de 30 datos se pueden obtener resultados empleando pruebas paramétricas a pesar de que los datos no presenten una distribución normal. El teorema del límite central indica que cuando se seleccionan muestras aleatorias simples de tamaño n de una población, la distribución muestral de la media muestral puede aproximarse mediante una distribución normal a medida que el tamaño de la muestra crece, es decir, si el tamaño de la muestra crece lo suficiente la distribución de la media muestral se aproxima a una normal sin importar la forma de la distribución de la población. Para la mayoría de las distribuciones, un tamaño de la muestra $n > 30$ producirá una distribución muestral de la media muestral casi normal, en los casos planteados en esta investigación se manejan más de 40 datos por muestra.
2. Emplear una prueba no paramétrica. La que se optó emplear para esta investigación es la prueba de Mann-Whitney.

Se llevaron a cabo tanto las pruebas paramétricas como las no paramétricas para tener más certeza de los resultados obtenidos en la comprobación de hipótesis.

Prueba de Mann Whitney:

“La prueba de Mann-Whitney utiliza los rangos de los datos de muestra, en vez de sus valores específicos, para detectar significancia estadística y realiza una prueba de hipótesis respecto a la diferencia de las medianas de dichos datos” (Ángel, 2017).

COMPARACIÓN DE NIVELES DE ABSORCIÓN DE AGUA ENTRE MUESTRAS DE TADELAKT SOBRE TABIQUE Y MUESTRAS DE TADELAKT SOBRE CONCRETO

PRUEBA T DE DIFERENCIA DE MEDIAS

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre tabique

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre concreto

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Two-Sample T-Test and CI: T, C

Two-sample T for T vs C

	N	Mean	StDev	SE Mean
T	48	0.1308	0.0680	0.0098
C	48	0.264	0.186	0.027

Difference = μ (T) - μ (C)

Estimate for difference: -0.1333

95% upper bound for difference: -0.0855

T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -4.66 P-Value = 0.000 DF = 59

Si valor_p < α se rechaza H_0 , Como $0 < 0.05$ se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

Se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique es menor que el tadelakt aplicado sobre concreto.

PRUEBA DE MANN-WHITNEY

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre tabique

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre concreto

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Mann-Whitney Test and CI: T, C

	N	Median
T	48	0.10000
C	48	0.20000

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -0.10000

95.0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-0.12997,-0.05001)

W = 1711.0

Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 < \eta_2$ is significant at 0.0000

The test is significant at 0.0000 (adjusted for ties)

Si valor_p < α se rechaza H_0 , Como $0 < 0.05$ se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

Se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique es menor que el tadelakt aplicado sobre concreto.

COMPARACIÓN DE NIVELES DE ABSORCIÓN DE AGUA ENTRE MUESTRAS DE TADELAKT SOBRE TABIQUE Y MUESTRAS DE TADELAKT SOBRE BLOCK DE CONCRETO

PRUEBA T DE DIFERENCIA DE MEDIAS

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre tabique

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre block de concreto

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Two-Sample T-Test and CI: T, B

Two-sample T for T vs B

	N	Mean	StDev	SE Mean
T	48	0.1308	0.0680	0.0098
B	48	0.342	0.284	0.041

Difference = $\mu(T) - \mu(B)$

Estimate for difference: -0.2112

95% upper bound for difference: -0.1407

T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -5.01 P-Value = 0.000 DF = 52

Si valor_p < α se rechaza H_0 , Como $0.000 < 0.05$ se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

Se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique es menor que el tadelakt aplicado sobre block de concreto.

PRUEBA DE MANN-WHITNEY

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre block de concreto

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre tabique

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Mann-Whitney Test and CI: T, B

	N	Median
T	48	0.1000
B	48	0.2250

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -0.1000
 95.0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-0.2000,-0.0500)
 W = 1738.5
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 < \eta_2$ is significant at 0.0000
 The test is significant at 0.0000 (adjusted for ties)

Si valor_p < α se rechaza H_0 , Como $0.000 < 0.05$ se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

Se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre tabique es menor que el tadelakt aplicado sobre block de concreto.

COMPARACIÓN DE NIVELES DE ABSORCIÓN DE AGUA ENTRE MUESTRAS DE TADELAKT SOBRE CONCRETO Y MUESTRAS DE TADELAKT SOBRE BLOCK DE CONCRETO

PRUEBA T DE DIFERENCIA DE MEDIAS

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre concreto

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre block de concreto

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Two-Sample T-Test and CI: C, B

Two-sample T for C vs B

	N	Mean	StDev	SE Mean
C	48	0.264	0.186	0.027
B	48	0.342	0.284	0.041

Difference = μ (C) - μ (B)

Estimate for difference: -0.0779

95% upper bound for difference: 0.0036

T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -1.59 P-Value = 0.058 DF = 81

Si valor_p < α se rechaza H_0 , Como $0.058 > 0.05$ NO se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

No se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre concreto es menor que el tadelakt aplicado sobre block de concreto.

PRUEBA DE MANN-WHITNEY

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre tabique

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt sobre block de concreto

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Mann-Whitney Test and CI: C, B

N Median

C 48 0.2000

B 48 0.2250

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -0.0200

95.0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-0.1000,0.0501)

W = 2231.0

Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 < \eta_2$ is significant at 0.2397

The test is significant at 0.2390 (adjusted for ties)

Si $\text{valor}_p < \alpha$ se rechaza H_0 , Como $0.2390 > 0.05$ NO se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

No se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt aplicado sobre concreto es menor que el tadelakt aplicado sobre block de concreto.

COMPARACIÓN DE NIVELES DE ABSORCIÓN DE AGUA ENTRE MUESTRAS DE TADELAKT ELABORADAS CON ARENA TRITURADA Y MUESTRAS DE TADELAKT ELABORADAS CON ARENA DE RÍO

PRUEBA T DE DIFERENCIA DE MEDIAS

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con arena de río.

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con arena triturada.

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Two-Sample T-Test and CI: AR, AT

Two-sample T for AR vs AT

	N	Mean	StDev	SE Mean
AR	72	0.186	0.122	0.014
AT	72	0.306	0.270	0.032

Difference = μ (AR) - μ (AT)

Estimate for difference: -0.1200

95% upper bound for difference: -0.0621

T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -3.44 P-Value = 0.000 DF = 98

Si valor_p < α se rechaza H_0 , Como $0.000 < 0.05$ se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

Se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena de río es menor que el tadelakt elaborado con arena triturada.

PRUEBA DE MANN-WHITNEY

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con arena de río.

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con arena triturada.

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Mann-Whitney Test and CI: AR, AT

	N	Median
AR	72	0.1800
AT	72	0.1800

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -0.0500
 95.0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-0.1000,-0.0001)
 W = 4804.0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 < \eta_2$ is significant at 0.0484
 The test is significant at 0.0467 (adjusted for ties)

Si valor_p < α se rechaza H_0 , Como $0.0467 < 0.05$ se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

Se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt elaborado con arena triturada es menor que el tadelakt elaborado con arena de río.

COMPARACIÓN DE NIVELES DE ABSORCIÓN DE AGUA ENTRE MUESTRAS DE TADELAKT ELABORADAS CON CAL HIDRATADA EN CREMA Y MUESTRAS DE TADELAKT ELABORADAS CON CAL HIDRATADA DE BULTO

PRUEBA T DE DIFERENCIA DE MEDIAS

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto.

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con cal hidratada en crema.

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Two-Sample T-Test and CI: CB, CC

Two-sample T for CB vs CC

N Mean StDev SE Mean

CB 72 0.223 0.176 0.021
 CC 72 0.268 0.250 0.030

Difference = μ (CB) - μ (CC)
 Estimate for difference: -0.0453
 95% upper bound for difference: 0.0145
 T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -1.25 P-Value = 0.106 DF = 127

Si valor_p < α se rechaza H_0 , Como 0.106 > 0.05 NO se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

No se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto es menor que el tadelakt elaborado con cal hidratada en crema.

PRUEBA DE MANN-WHITNEY

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto.

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con cal hidratada en crema.

Hipótesis:

H_0 : $\mu_1 - \mu_2 \geq 0$

H_1 : $\mu_1 - \mu_2 < 0$

Mann-Whitney Test and CI: CB, CC

N Median
 CB 72 0.1500
 CC 72 0.2000

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -0.0200
 95.0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-0.0500,-0.0000)

W = 4919.5

Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 < \eta_2$ is significant at 0.1153

The test is significant at 0.1128 (adjusted for ties)

Si $\text{valor}_p < \alpha$ se rechaza H_0 , Como $0.1128 > 0.05$ NO se rechaza H_0 .

Por lo tanto:

No se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt elaborado con cal hidratada en crema es menor que el tadelakt elaborado con cal hidratada de bulto.

COMPARACIÓN DE NIVELES DE ABSORCIÓN DE AGUA ENTRE MUESTRAS DE TADELAKT ELABORADAS CON JABÓN POTÁSICO Y MUESTRAS DE TADELAKT ELABORADAS CON JABÓN NORMAL

PRUEBA T DE DIFERENCIA DE MEDIAS

Nivel de significancia de 0.05.

X_1 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con jabón normal.

X_2 = Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con jabón potásico.

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Two-Sample T-Test and CI: JN, JP

Two-sample T for JN vs JP

	N	Mean	StDev	SE Mean
JN	72	0.187	0.156	0.018
JP	72	0.305	0.252	0.030

Difference = μ (JN) - μ (JP)

Estimate for difference: -0.1178

95% upper bound for difference: -0.0599

T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -3.37 P-Value = 0.001 DF = 118

Si valor_p < α se rechaza H₀, Como 0.001 > 0.05 se rechaza H₀.

Por lo tanto:

Se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón normal es menor que el tadelakt elaborado con jabón potásico.

PRUEBA DE MANN-WHITNEY

Nivel de significancia de 0.05.

X1= Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con jabón potásico

X2= Nivel de absorción de agua de tadelakt elaborado con jabón normal

Hipótesis:

H₀: $\mu_1 - \mu_2 \geq 0$

H₁: $\mu_1 - \mu_2 < 0$

Mann-Whitney Test and CI: JN, JP

N	Median
JN 72	0.1350
JP 72	0.2000

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -0.0700

95.0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-0.1000,-0.0200)

W = 4405.5

Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 < \eta_2$ is significant at 0.0006

Si valor_p < α se rechaza H₀, Como 0.0006 < 0.05 se rechaza H₀.

Por lo tanto:

Se tiene suficiente evidencia estadística para decir que la media del nivel de absorción de agua del tadelakt elaborado con jabón normal es menor que el tadelakt elaborado con jabón potásico.





CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES

9. CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES

9.1 CONCLUSIÓN GENERAL

Según los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, es posible concluir que el tadelakt elaborado con cal, pigmentos y jabón de fácil obtención en México, es técnicamente viable ya que el proceso de aplicación resulta muy similar al del tadelakt original; asimismo, los bajos niveles de permeabilidad indican que es posible aplicarlo como un material hidrófugo con la ventaja, a diferencia de las piezas cerámicas y el azulejo que son totalmente impermeables, de permitir que el sustrato realice su función de intercambio de temperatura y humedad entre interior y exterior.

En términos económicos el costo de material y mano de obra requerido para aplicar tadelakt, supera el costo que requiere el suministro y colocación de piezas cerámicas y/o azulejos utilizados para vivienda de interés social, por lo que el tadelakt aplicado de manera artesanal no resulta viable para ser aplicado en este tipo de vivienda. No obstante, lo que eleva el costo del tadelakt es la mano de obra, por lo que considerar aplicarlo por medios mecanizados pudiera reducir el costo.

9.2 CONCLUSIONES PARTICULARES

- A. Los materiales empleados en la técnica original son la cal de Marrakech, pigmentos naturales y jabón vegetal doméstico hecho a base de hidróxido de potasio. La característica de esta cal que hace que el acabado funcione es que es levemente hidráulica por lo que endurece en contacto con el agua. La combinación con el jabón forma una reacción dando como resultado el estearato cálcico que le da al tadelakt su propiedad hidrófuga. En México no se tiene o no es de fácil obtención una cal hidráulica, sin embargo las pruebas de absorción realizadas en la

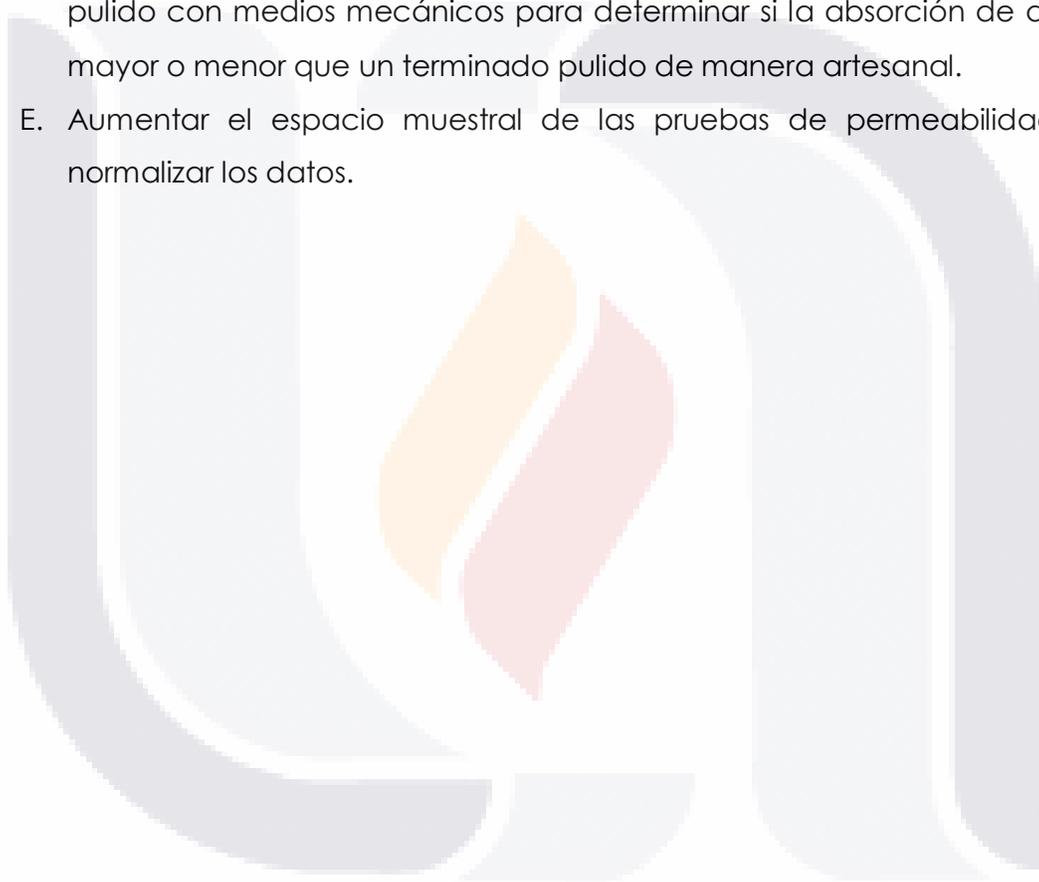
investigación mostraron que la cal aérea también es apropiada para obtener un terminado hidrófugo, igual que el jabón doméstico comúnmente usado en México hecho a base de hidróxido de sodio cuya reacción también se logra obtener el estearato cálcico.

- B. Los procesos de aplicación del tadelakt son: elaboración de la mezcla, aplicación de la primera capa, pasar la flota de madera para generar anclaje mecánico, aplicación de la segunda capa con llana, primer pulido con piedra, aplicación de jabón y segundo pulido.
- C. En México, la cal de fácil obtención es aérea, sin embargo si se le agrega arena de cualquier tipo pero de determinada granulometrías, se obtiene un resultado similar a la cal hidráulica de Marrakech.
- D. Los materiales empleados para reproducir el acabado en la etapa experimental, resultan efectivos para el tadelakt: cal hidratada en bulto y en crema, arena triturada y de río, jabón a base de hidróxido de potasio o de sodio. Estadísticamente ningún material demuestra mejor comportamiento que otro en cuanto a permeabilidad.
- E. Estadísticamente el tadelakt adaptado a México presenta menor permeabilidad si se aplica sobre tabique de barro rojo recocido.
- F. El costo de tadelakt adaptado a México empleando cal hidratada de bulto, arena de río o triturada y jabón a base de hidróxido de potasio y considerando revolvedora para fabricar la mezcla es de \$395.51 en comparación con el costo de un acabado cerámico para vivienda de interés social que es de \$209.62

9.3 NICHOS DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto presenta los siguientes nichos de investigación:

- A. Ampliar las pruebas de tadelakt adaptado a México sobre block de concreto y concreto, ya que estadísticamente no se puede afirmar que ninguno presentó menor permeabilidad que otro.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- B. Determinar la adherencia del tadelakt según su composición con ayuda de un kit de adherencia y siguiendo los señalamientos de la ASTM 3359.
 - C. Determinar en qué medida se pueden abaratar costos en mano de obra aplicando tadelakt con apoyo de medios mecánicos basados en el principio del torno para la etapa de pulido y determinar si de este modo puede ser viable aplicar el acabado en vivienda de interés social.
 - D. Ampliar las pruebas de permeabilidad del tadelakt adaptado a México pulido con medios mecánicos para determinar si la absorción de agua es mayor o menor que un terminado pulido de manera artesanal.
 - E. Aumentar el espacio muestral de las pruebas de permeabilidad para normalizar los datos.
- 

FUENTES DE REFERENCIA

- Aires , C., Rute, E., & Said, J. (s.f.). Old materials and techniques to improve the durability of earth buildings. In. Portugal.
- CFE. (2018). Comisión Federal de Electricidad. Retrieved from (https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=DACTARI&anio=2018
- CONAGUA. Retrieved from http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=80
- CONTROLS Digital tester for bond strengt Instruction Manual. In.
- Crespo Escobar, S. (2013). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. Alicante, ES: ECU.
- García Bueno, A., & Medina Flórez, V. J. (2001). Zócalos Hispanomusulmanes en el palacio de Orive. AAC 12, 113-119.
- González Yunta, F., González Cortina, M., & Lasheras Merino, F. (s.f.). La técnica tradicional del estuco "a fuego". In. Madrid, España.
- Heywood, H. (2015). *101 Reglas básicas para una arquitectura de bajo consumo energético* (E. G. Gilli Ed.). Barcelona, España.
- Leis, T., Folache, P., Barahona, F., & Jurmann, K. (2016). Tadelakt. Guía paso a paso. <http://alenycalche.es/wp-content/uploads/2016/06/Guia-de-Tadelakt-Espa%C3%B1ol.pdf>
- Maclean, J. (2015). Pool House. *Domus*.
- May, J. (2011). *Casas hechas a mano y otros edificios tradicionales: arquitectura popular* (E. Blume Ed.).
- Mohammadjavad, M., Arash, Z., Airya, N., Setareh, G., & Narjes, E. (2014). Retrieved from
- Ochs, M. J. (2010). *Tadelakt: An Old Plaster Technique Newly Discovered*. Singapore: WW Norton & Company.
- Olgay, V. (2015). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (S. Gustavo Gili Ed.). Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.
- Penadés Sanz, J. (2014). *Análisis y estudio del microcemento*. (Grado en Arquitectura Técnica), Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Rallo Gruss, C. (2006). *Aportaciones a la técnica y estilística de la pintura mural en Castilla a final de la edad Media. Tradición e Influencia Islámica*. Madrid, ES: Universidad Complutense de Madrid.
- Schmitt, H. (1990). *Enciclopedia de la construcción* (Vol. 1). México, D.F.: G. Gilli.
- SEP. (2008). *Atlas de Geografía Universal*. México, D.F.
- Snijder, A. (2013). *Solar Material*. TU Delft, Delft University of Technology,
- Trujillo Cebrián, J. J. (2011). *Pastas, morteros, adhesivos y hormigones (MF0869_1)*. Málaga, ES: IC Editorial.

- Wolff, B. (2013). *Hydrophobized Lime Plasters as Protective Surface in Wet Rooms in Monument Preservation*. Paper presented at the Advanced Materials Research, Suiza.
- Wolff, B., Diederichs, U., & Ait el Caid, H. (2014). *Non-Destructive Prospection of Ancient Steam Bathes Covered with Tadelakt—First Preliminary Comparison of Hammam Kasbah des Caidis of Tamnougalt and Hammam Kasbah of Taourirt, Morocco*. Paper presented at the Advanced Materials Research.
- Woodington Barnes, M. (2008). *Ethnographic Research in Morocco: Analyzing Contemporary Artistic Practices and Visual Cultures*. In. Ohio.
- Ángel, S. Z. M. (2017). *Integración de las obras de infraestructura patrimonial al tejido urbano de las ciudades modernas*. (Doctorado), Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, Ags. México.







ALEN Y CALCHE S.L.
C/ HERRERÍA 6
28460 LOS MOLINOS
MADRID – ESPAÑA
CIF: B85750305

FACTURA

No disponible
arq.brenda.dm@gmail.com

Nº de la factura: TAD-0005
Fecha de la factura: 21 febrero, 2017
Orden número: 6342
Fecha del pedido: 21 febrero, 2017
Forma de pago:

Producto	Cantidad	Precio
Cal de Marrakech para Tadelakt Marroquí – 25kgs Nº Referencia: TAD-IND-A-25KG Peso: 25kg	1	79,00€
Cera de Carnauba Nº Referencia: 420 Peso: 1kg	1	9,48€
Jabón negro Marroquí Nº Referencia: JNEGRO Peso: 0.4kg	1	10,44€
Piedra de pulido Marroquí Nº Referencia: STONEMAR Peso: 0.5kg	1	20,00€
802 Pigmento Ocre Amarillo 175gr	1	6,66€
902 Pigmento Óxido de Hierro Rojo 175gr	1	6,84€
158 Pigmento Violeta Ultramar Oscuro 175gr	1	15,67€
Envío a Mexico	1	261,00€
Subtotal		409,09€
IVA		85,91€
Total		495,00€