



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DESCIFRANDO A POLLOCK: ARTE Y MECÁNICA
DE FLUIDOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero Mecánico

PRESENTA:

Bernardo Palacios Muñiz

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Roberto Zenit Camacho



México, D.F., 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Mira con detenimiento la naturaleza,
entonces todo lo entenderás mejor.
Albert Einstein*

Agradecimientos

Después de 5 años y medio de haber ingresado a la facultad, de los cuales uno se lo dediqué a este trabajo, resulta extremadamente difícil encontrar las palabras adecuadas para expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que se cruzaron en mi camino y que aportaron por lo menos un granito de arena (o un traguito de cerveza, quizá) para ayudarme en mi formación.

Antes que a cualquier persona agradezco a mis padres, Marcia y Emilio, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y por haberme dado la educación y los medios para llegar hasta este punto. No estaría aquí de no ser por ellos y no sería quién soy de no haber sido por su entrega y dedicación al momento de educarnos a mi hermano, Diego a quien también agradezco su participación en mi vida principalmente por hacerme reír, y a mi. Al resto de mi familia, gracias por estar siempre presentes en los momentos más importantes y por el afecto que siempre me han demostrado, bajo petición, muchas gracias Carenita sólo por existir.

Gracias, Yari, por estar ahí para mí, por apoyarme, quererme y aguantarme (particularmente bajo estrés). Por ser mi inspiración a ser una mejor persona y por todos los fabulosos momentos que hemos compartido.

Agradezco enormemente a la Facultad de Ingeniería y a la UNAM por ser mi *alma mater* y a todos los profesores por haber compartido sus conocimientos conmigo. Así como a mis compañeros y amigos de la facultad y del laboratorio de reología, por haberme acompañado en el camino. Gracias al equipo de Judo de la UNAM por su amistad, muy en especial gracias a mi entrenadora, Vero, por su enseñanza, apoyo e interés en formar universitarios deportistas. De forma muy especial, agradezco a Julio, Abraham y Gibran por su amistad y por los buenos momentos.

Muchas gracias a mi asesor, el Dr. Roberto Zenit, quien me apoyo desde que comencé a *trabajar* en su laboratorio y que, a pesar de algunos desencuentros, me brindó una guía para mi desarrollo y me exigió cumplir con los compromisos y metas. También agradezco a la Mtra. Sandra Zetina por haberme instruido en un campo que no conocía y por su profundo interés en el desarrollo del trabajo.

Al IIM por haber provisto de las instalaciones necesarias para el desarrollo del proyecto y proyecto DGAPA-PAPIIT-UNAM (IN108016) por le apoyo al trabajo realizado.

Declaración de autenticidad

Por la presente declaro que, salvo cuando se haga referencia específica al trabajo de otras personas, el contenido de esta tesis es original y no se ha presentado total o parcialmente para su consideración para cualquier otro título o grado en esta o cualquier otra Universidad. Esta tesis es resultado de mi propio trabajo y no incluye nada que sea el resultado de algún trabajo realizado en colaboración, salvo que se indique específicamente en el texto.

Bernardo Palacios Muñiz. México, D.F., 2015

Resumen

Este trabajo, de inicio, consiste en un análisis teórico a partir del cual se realizaron suposiciones sobre qué fenómenos físicos (inestabilidades hidrodinámicas) se relacionan con la creación de los patrones en algunas pinturas de Pollock. Una vez que se analizó la técnica se llevó a cabo el diseño, manufactura y ensamble de un arreglo experimental capaz de reproducir la técnica en cuestión y que permitiera variar los parámetros que se consideraron relevantes para observar cambios en un registro de pintura. Posteriormente se realizaron dos series de experimentos que utilizaban pinturas de propiedades diferentes para poder comparar los resultados. Para el análisis de resultados se tomaron en cuenta los efectos de las propiedades del fluido, particularmente los efectos de la viscosidad y del tiempo de relajamiento (para considerar la viscoelasticidad de la pintura). Se establecieron condiciones críticas que marcan la transición entre tres distintos tipos de patrones que pueden quedar sobre el papel –bucles, rectas y perlas. Al final, el trabajo permite establecer un nexo que existe entre la naturaleza de los materiales y los movimientos realizados por Pollock. A través de ese nexo se materializaron algunos de los efectos que Pollock dejó en gran parte de su obra pictórica.

Índice general

1. Jackson Pollock	1
1.1. ¿Es él, el mejor pintor vivo en Estados Unidos? (1949)	2
1.2. Pollock paso a paso	2
1.3. La transición	10
1.4. La técnica	10
1.5. La técnica desde otra perspectiva	12
2. La mecánica de fluidos	15
2.1. La mecánica	15
2.2. La mecánica de fluidos	17
2.3. Reología	19
2.4. Análisis adimensional	25
2.5. Inestabilidad de un hilo viscoso	27
2.6. Formación de perlas unidas por un hilo viscoelástico	30
3. Reproducción experimental: Los trazos de Pollock	35
3.1. Caracterización reológica de las pinturas	35
3.2. Parámetros físicos y grupos adimensionales	40
3.3. Reproducción de la técnica	42
3.4. Experimentos realizados	45
3.5. Documentación de los resultados	45
4. Análisis de la técnica	49
4.1. Resultados	49
4.2. Condiciones críticas	54
4.3. Los patrones en las pinturas de Pollock	60
5. Conclusiones	67
Bibliografía	69

Jackson Pollock

I am nature

Jackson Pollock

I am nature (Yo soy la naturaleza) fueron las palabras que en una ocasión particular utilizó Jackson Pollock para autodefinirse. Su autodefinición se puede considerar muy acertada, ya que su medio para crear obras de arte fue un diálogo con la naturaleza; algo de lo que seguramente Pollock estaba consciente. Este trabajo es el estudio de ese diálogo entre Pollock y la naturaleza, del diálogo entre los movimientos del artista y las propiedades de los materiales utilizados. La investigación surge de la necesidad de estudiar obras plásticas desde el momento de su creación con el fin de comprender la forma en que se realizaron las pinturas y se centra en la creación y análisis de una serie de reproducciones experimentales del dripping o goteo, que es el nombre con el que se conoce la técnica utilizada por Jackson Pollock para realizar sus obras más famosas.

Este estudio se puede considerar de particular interés para especialistas en mecánica de fluidos y en arte por igual. Los resultados del estudio pueden tener aplicaciones en ingeniería donde los efectos creados por hilos viscosos que sufren desplazamientos pueden ser no deseables o por el contrario se pueden encontrar aplicaciones en las que se quiera forzar dichos efectos. Para los expertos en arte, la utilidad del análisis puede encontrarse en el simple hecho de saber cómo se realizaron las pinturas de Pollock, pero también en el estudio se pueden pensar nuevas formas de manipular los materiales que sirvan como un recurso para artistas actuales.

Este capítulo tiene por objetivo situar al artista dentro de su contexto y es *grosso modo*, un resumen de la obra de Landau [1] organizado de forma sencilla y conveniente, para que cualquiera pueda darse una idea de quién fue Jackson Pollock. Toda la información y citas pueden encontrarse en [1], a menos que se indique de otra forma.

1.1. ¿Es él, el mejor pintor vivo en Estados Unidos? (1949)

Paul Jackson Pollock nació en Cody, Wyoming el 28 de enero de 1912 y fue el último de los cinco hijos de Stella May McClure y LeRoy Pollock. Al ver una fotografía de Jackson Pollock, se puede percibir un personaje introvertido, de aspecto incómodo, personalidad frágil y comúnmente vestido de negro, con botas puntiagudas y sombrero de *cowboy*. Quizá lo último que se puede imaginar es que fue un famoso artista, uno de los líderes del expresionismo abstracto y que, aún hoy, su obra es motivo de, por lo menos, asombro para quién la vea.

Muchos conocen a Pollock por ser el pintor del *dripping* (goteo), él que derramaba pintura directamente de su lata o con la ayuda del mango de un pincel sobre una larga tela depositada en el suelo. Para quien lo conoció en los 20's y 30's la idea de que sería un *héroe cultural*, le habría parecido poco probable. Sin embargo, en 1949 la revista Life publicó: Jackson Pollock ¿Es él, el mejor pintor vivo en Estados Unidos? (*Is he the greatest living painter in the United States?*). Es probable que muchas personas en ese entonces pensarán que la idea de que un montón de líneas sobre una tela era lo mejor que podía producir EE.UU. era una locura. De una u otra forma, en medio de la controversia, Pollock comenzó a ganar popularidad hasta llegar a ser considerado un ícono de la cultura pop.

Landau hace referencia a distintas citas de amigos, familia y compañeros de Pollock; así como a distintas publicaciones. En las citas destacan el aspecto de noble gigante del artista; desafiante, de fuerza sobre humana e inocente. Como la cita que hace de Betty Parsons: Jackson nació con un motor demasiado grande dentro (*too big an engine inside*). Landau también hace constante mención al reflejo de su personalidad, a Pollock se le diagnostica como patológicamente introvertido y con baja tolerancia al fracaso. Una persona difícil si además se considera que estaba constantemente alcoholizado. Una de las últimas amistades de Pollock lo definió como un hombre siempre viendo una fuerte lluvia. Pollock era catalogado según distintas fuentes como *salvaje, romántico, indisciplinado y explosivo*.

1.2. Pollock paso a paso

Esta tesis se enfoca en tan sólo un pequeño rango de los efectos que Pollock desarrolló en sus pinturas más famosas, realizadas aproximadamente entre 1948 y 1951 y conocidas como *drippings* (goteos). Sin embargo, antes de llegar a ese punto, el artista pasó por un largo periodo durante el cual acumuló un gran número de intereses y durante el que luchó contra su característicamente delicado estado mental. Por lo tanto resulta de vital importancia estudiar brevemente los acontecimientos previos a sus años de mayor fama y los artistas diversos con los que estuvo en contacto que Pollock recolectó a lo largo de los años.



Figura 1.1: Jackson Pollock, 1949. Fotografía de ©Arnold Newman.

1.2.1. Thomas Heart Benton. Un hombre *muy americano*

Thomas Heart Benton fue un muralista de la corriente regionalista famoso por enaltecer a los Estados Unidos y a sus trabajadores. Benton (quien era una persona *muy americana*) simpatizó con su estudiante del oeste, él y su esposa se convirtieron en una forma de padres sustitutos de Pollock.

Benton instruía con ideas de John Dewey, quien creía que la experiencia del artista durante el proceso creativo era más importante que la obra terminada. Este enfoque quedó claramente marcado en el estilo de Pollock y cabe mencionar que ya que Pollock era muy poco elocuente y encontró su medio de pensamiento en el arte. En su madurez artística pintó en grandes espacios y tenía notoria conexión con los materiales utilizados para realizar su proceso creativo. La enseñanza de Benton sobre Pollock queda al clara en la siguiente cita:

a mural is for me a kind of emotional spree. The very thought of the large spaces puts me in an exalted state of mind, strings up my energies... A certain kind of thoughtless freedom comes over me. I don't give a damn about anything. Once on the wall, I paint with downright sensual pleasure.

un mural es para mi una sucesión emocional. El solo pensamiento de largos espacios me pone en un exaltado estado mental, conecta mis energías... Cierta libertad libre de pensamiento me sobrecoge. Nada me importa un carajo. Una vez en un muro, pinto con un sincero placer sensual.

Pollock mantuvo su relación con Benton a pesar de una ruptura estilística (Benton aborrecía el arte abstracto) y sus enseñanzas permanecieron en el estilo de Pollock. Entre las enseñanzas más importantes se encuentran la superioridad de la línea sobre el color, para Benton una buena pintura dependía de la línea, y el sentido del ritmo en las pinturas, tanto Pollock como Benton se caracterizan por tener con una composición muy rítmica.

1.2.2. Muralistas mexicanos, indios americanos y un taller experimental

Pollock vivió en L.A. en 1928, durante esos años vio pinturas de los muralistas mexicanos, su admiración se inclinó particularmente por los murales de José Clemente Orozco. Los muralistas mexicanos utilizaban el imaginario de la cultura popular y prehispánica de México como fuente para sus composiciones. Pollock, quizá a partir de su contacto con los muralistas y dentro de su propio contexto, recurrió al imaginario de los indios nativos americanos. Particularmente, le interesaba la figura del shaman, cuyas labores eran religiosas, médicas y también artístico-rituales. Su gusto por la cultura antes de la colonización de Estados Unidos, debió ser un motivante de su gusto por los artistas mexicanos.

Aunque Pollock reconoció su admiración por Orozco, nunca tuvo un contacto directo con él. En cambio, en 1936, David Alfaro Siqueiros formó un taller experimental para artistas donde participaron Pollock, Sande (su hermano) y su amigo Kadish [2]. El taller se llevo a cabo para hacer propaganda política para el partido comunista de Estados Unidos (PCUSA), Pollock y sus hermanos estaban ligados a las ideas comunistas. Durante el taller, Siqueiros experimentó con materiales industriales, como la pintura Duco de Dupont (laca de nitrato de celulosa), así como con herramientas más tecnológicas. Es importante resaltar el hecho de que Pollock utilizaría frecuentemente pinturas comerciales e industriales (como el Duco), en sus obras. A Pollock y los otros asistentes también se les pedía constantemente que insertaran piezas de metal, madera o papel en la obra, así como agregar arena para crear una textura más áspera. Zetina, et al en [3] demostraron mediante experimentación que durante el taller de Siqueiros, para lograr los efectos que crearon, mismos que se pueden observar en las obras de Siqueiros, era necesario que las obras se colocaran en el piso. En su madurez, Pollock pintaría exclusivamente sobre el piso.

1.2.3. Picasso y Miró. El gigante y los surrealistas

Pablo Picasso quizá sea el artista con la producción más amplia y diversa. Una visita a un par de museos y galerías en Nueva York o en cualquier lugar donde se encuentre su obra basta para admirar la inmensa variedad de sus obras, que van más allá del cubismo. Picasso fue el artista más influyente de su época para más de una generación de artistas. Pollock comenzó *un diálogo personal* con el estilo e imaginario de Picasso, mismo que le permitió correr más aprisa hacia lo abstracto.

Pollock una y otra vez pintó composiciones muy similares a las de Picasso. Aun donde no es obvio para el observador común, Landeu sugiere que Picasso estaba presente de forma constante en la obra de Pollock. Se le metió tanto en la cabeza que llegó un punto en el que Pollock pintaba de forma destructiva con la idea de realizar un auto-exorcismo del Picasso que no lo dejaba pintar de forma libre.

Tras la segunda guerra mundial en Europa los artistas encontraron un refugio en Nueva York, que rápidamente se convertía en la segunda capital del arte. Las vanguardias se hicieron presentes, entre estas el surrealismo. Seguramente Pollock ya era consciente de *los poderes del inconsciente*, pero aceptó sentirse *particularmente impresionado con el concepto surrealista del arte proveniente del subconsciente*. En algunas de sus obras se encuentra la morfología de personajes, un fondo sencillo y una paleta, a la Miró. El pensamiento surrealista le permitió a Pollock hacerse consciente de la fuerza creadora de sus pinturas, su interior. En una ocasión, tras ser cuestionado por el motivo que lo llevó a crear su cuadro– *The She-Wolf*– contestó:

She wolf came into existence because I had to paint it... Any attempt on my part to say something about it, to attempt explanation of the inexplicable, could destroy it

She wolf existe porque tenía que pintarla... Cualquier intento de mi parte por decir algo respecto a ella, intentar explicar lo inexplicable, podría destruirla

Por supuesto, Pollock se interesó por muchos otros artistas (John Graham, Mata Echeverría, Kandinsky, William Hayter, etc) sin embargo no es objetivo de esta tesis entrar en detalle de toda su producción, sino únicamente situar sus prácticas artísticas. El último interés estilístico que se considerará para el documento es la paleta de colores de Matisse. Cuando Pollock estudió con Benton, aprendió que una buena pintura no provenía del color, sino de la línea utilizada. En un principio a Pollock le aterraba el color, sin embargo, gracias a su interés por Picasso, Miro y al final a Matisse su paleta de colores fue mejorando hasta mostrar una amplia gama.

1.2.4. Lee Krasner

Aunque no es objetivo del documento entrar en detalle sobre la vida personal de Jackson Pollock, sí es de suma importancia mencionar a Lee Krasner, quien sería su pareja, que contribuyó a su desarrollo artístico situarse en el mundo artístico. El apoyo

de Lee Krasner fue decisivo y mucho más importante para el éxito de Pollock (aunque él tal vez no lo sabía).

La primera vez que Lee Krasner visitó el estudio de Pollock (la había conocido, brevemente, en 1936) fue en 1941. Krasner reconoció su admiración al ver esas *maravillosas pinturas* y también a Pollock como alguien con un pensamiento *muy contemporáneo* y cuya pintura no era de la típica escena americana ni ninguna imitación de un estilo parisino.

Lee se convirtió en la compañera de Pollock. Fue la única relación estable que pudo mantener. Sin embargo, ellos eran personajes antagónicos en muchos otros aspectos. Ella era muy culta, política y tenía facilidad para crear relaciones sociales. A pesar de su antagonismo, ella y Pollock se complementaban bien. Tenían una relación de mutuo apoyo y compartían un profundo interés por los desarrollos más nuevos en el mundo artístico.

En opinión de Peter Busa, conocido de la pareja, Lee fue un elemento clave para que Pollock saliera del regionalismo de Benton. Fue también a través de ella que Pollock entró en el círculo de los surrealistas. Entre ellos, conoció personalmente a Roberto Matta Echeverría que jugaría un papel clave para convencer a Peggy Guggenheim de montar una exhibición en su galería Art of This Century con artistas jóvenes que sería la primer muestra importante de Pollock. Pollock se convirtió en uno de los protegidos de Guggenheim y fue en su galería –durante sus cuatro exhibiciones personales entre 1943 y 47– donde sus cuadros atrajeron la atención (no siempre de forma positiva) de los críticos.

1.2.5. Obras antes de 1947

Hablar de la trayectoria que llevó a Pollock a desarrollar su técnica no es suficiente, es necesario apreciar sus obras también. Por lo tanto, para ilustrar la diversos momentos de su producción de Pollock se presentan algunas obras representativas ordenadas cronológicamente.



Figura 1.2: Going West (1934-35, NGA), cuadro realizado bajo la tutela de Benton.



Figura 1.3: The Magic Mirror (1941, Colección Menil). Cuadro con una iconografía similar a la de Orozco y recursos técnicos usados por Siqueiros



Figura 1.4: Stenographic Figure (1942, MoMA). Primer cuadro en llamar la atención de la crítica, con recursos que recuerdan a los cuadros de Miró y Picasso.



Figura 1.5: Croaking Movement, (1946, colección Guggenheim de Venecia). Serie Sounds in the Grass (sonidos en el pasto), donde es claro un alejamiento de lo figurativo.

1.3. La transición

Cuando se le ofertó un contrato en Art of This Century, a Pollock también se le comisionó la decoración de uno de los pasillos de la casa de Peggy Guggenheim. La obra que creó fue *Mural*. Pollock pintó *Mural* con libertad total y el resultado marcó una tendencia nueva donde lo figurativo se hacía cada vez menos presente (se pueden ver algunas siluetas repartidos de forma rítmica) y dio paso a nuevas energías visibles a través de trazos rítmicos y una mejorada selección de colores. Robert Motherwell pensaba que Pollock encontraría su destino en la confrontación entre sus pensamientos y el propio proceso artístico, mural podría ser la primera muestra de esa confrontación.

También cabe mencionar que cerca de la creación de *Mural*, los artistas Mark Rothko y Adolph Gottlieb, ambos importantes representantes del expresionismo abstracto, escribieron una carta al editor del *New York Times* donde sostenían que la nueva tendencia seguida por muchos artistas se encontraba ligada a una conexión espiritual que existía con el arte primitivo y arcaico. La creación de símbolos se consideraba parte de la naturaleza del hombre y se vivía en un nivel más primitivo, en particular durante los años de guerra. Frente a la destrucción ocasionada por la bomba atómica, la visión sofisticada y racional del arte se devaluó y abrió paso a una visión artística más rudimentaria e instintiva.



Figura 1.6: Mural (1942, galería de la universidad de Iowa). Claro ejemplo de la fuerza dentro de Pollock.

1.4. La técnica

Para la primavera de 1947 la guerra había terminado y Guggenheim cerró su galería, no sin antes convencer a Betty Parsons de adoptar a Pollock en su galería. Para el invierno del mismo año se le asignó una exhibición y se puso a trabajar de inmediato,

el resultado no tendría precedentes. Pollock tuvo una revelación radical y (de forma muy inusual) escribió sus intenciones a detalle e inclusive describió la técnica que utilizó para la revista *Possibilities*, bajo pedido de Harold Rosenberg y Robert Motherwell.

My painting does not come from the easel. I hardly ever stretch my canvas before painting. I prefer to tack unstretched canvas to the hard wall or the floor. I need the resistance of a hard surface. On the Floor I am more at ease. I feel nearer, more a part of the painting, since this way I can walk around it, work from the four sides and literally be in the painting. This is akin to the method of the Indian sand painters of the West My painting does...

Mi pintura no se realiza en un caballete. Casi nunca estiro la tela antes de pintar. Prefiero sujetar una tela sin estirar sobre a una pared muy sólida o al piso. Necesito la resistencia de una superficie dura. En el piso estoy más relajado. Me siento más cercano a la pintura, de esta forma puedo moverme alrededor, trabajar los cuatro lados y estar literalmente adentro de la pintura. Esto imita los métodos de los indios pintores de arena del oeste...

Pollock continuó con una descripción de sus materiales.

I continue to get further away from the usual painter's tools such as easel, palette, brushes, etc. I prefer sticks, trowels, knives and dripping fluid paint or a heavy impasto with sand, broken glass and other foreign matter added...

Continuo alejándome de las herramientas del pintor común como el bastidor, paleta, pinceles, etc. Prefiero palos, cuchillos y pintura chorreante o impastos gruesos con arena, vidrio roto y otros materiales externos añadidos...

Y concluyó

When I am in my painting, I'm not aware of what I'm doing. It is only after a sort of "get acquainted" period that I see what I have been about. I have no fears about making changes, destroying the image, etc., because the painting has a life of its own. I try to let it come through. It is only when I lose contact with the painting that the results is a mess. Otherwise there is pure harmony, an easy give and take, and the painting comes out well.

1. JACKSON POLLOCK

Cuando pinto, no estoy consciente de lo que hago. Sólo después de un momento de *conocernos* puedo ver lo que he hecho. No tengo miedo de realizar cambios, destruir la imagen, etc, porque la pintura tiene vida propia. Trato de dejar que fluya. Sólo cuando pierdo contacto con la pintura, el resultado es un desastre. De otra forma sólo hay armonía, un fácil dar y recibir, y la pintura sale bien.

En el estatuto de *Possibilities*, Pollock describe muy a detalle su proceso y permite la reproducción experimental. También marca el comienzo de sus pinturas más famosas. El resultado de su técnica habla por sí mismo.



Figura 1.7: Number 1A (1948, MoMA).

1.5. La técnica desde otra perspectiva

Al analizar el estatuto de Pollock en *Possibilities* desde otra perspectiva, se puede interpretar que la técnica consiste en crear un hilo viscoso mediante algún instrumento y después arrastrar hilo sobre una superficie para dejar un registro sobre la misma, por hilo se entiende un cuerpo de fluido tridimensional con una dimensión mucho más grande que las otras dos. Pollock también hace énfasis en que su obra no es accidental, del control total; por lo que se puede asumir que estaba consciente de las variables

más relevantes para controlar su hilo viscoso. Cuando se arrastra un hilo de fluido de esta forma, los parámetros más relevantes son la velocidad con la que se desplaza el hilo, la altura desde la que cae, la velocidad con la que sale el hilo del instrumento y las propiedades del fluido. Tener control de estas variables le permitía a Pollock *conocerse* con su obra y después dejar que fluyera de esa forma tan directa que lo caracterizaba.

Esta última es la perspectiva desde la que se estudiará la técnica, una perspectiva mecánica, de control de las variables. Puede decirse que Pollock dejaba que sus materiales se expresaran por sí mismos pero bajo su control, cada trazo caía donde debía caer. De forma similar a la de Siqueiros, quien comienza a dejar que sus materiales fluyan y a no manipularlos, sino a planear donde dejarlos fluir [3]. Los artistas pueden aprender de forma empírica cómo controlar sus variables físicas, al final las pinturas no son más que *aceites y rocas*, como dice Elkins en [4] y los artistas son alquimistas empíricos que aprenden a deformar sus materiales de tal forma que se creen obras de arte. En este trabajo se pretende dejar lo empírico de lado y explicar porqué algunos efectos en los cuadros de Jackson Pollock son cómo son, sin pretender que el artista pueda ser remplazado. Por el contrario, mediante el estudio mecánico del proceso utilizado por el artista, los límites (el rango de alturas, velocidades, propiedades de pintura, etc) dentro de los que Pollock pintaba se pueden ampliar para explorar lo que él no exploró y proveer de nuevos recursos a los artistas actuales.

Este estudio explica cómo se crean algunos patrones típicos en la pintura de Pollock, esto último puede considerarse de particular interés para historiadores y conservadores del arte. Además se propone una técnica alternativa para estudiar hilos viscosos, aunque el arreglo experimental utilizado para crear y arrastrar hilos viscosos es muy similar a otros (como los implementados en [5] y en [6]), a este estudio se le adicionaron herramientas (entre ellas análisis adimensional y ajuste de curvas para establecer regiones de parámetros) que permiten estudiar el fenómeno de una forma más general. Los cuerpos delgados de fluidos se encuentran de diversas formas en el cotidiano. Como explican Eggers y Villermaux [7], los cuerpos delgados de fluido los encontramos al abrir el grifo del agua o en la propulsión a chorro de un motor de avión y encuentran aplicaciones en sistemas de riego, como mecanismo para inflar bolsas de aire, muestreo de ADN, métodos de impresión, entre muchas otras. El estudio de los cuerpos delgados de fluidos también involucra un amplio rango de propiedades de fluidos, como la tensión superficial, viscosidad y parámetros no Newtonianos. Nuestro caso particular podría aplicarse como un estudio de los efectos de propiedades como viscosidad y tiempo de relajamiento en un hilo viscoso, por ejemplo.

La mecánica de fluidos

Para crear una obra, un artista debe deformar sus materiales y el proceso para deformarlos involucra los movimientos del artista y las propiedades de sus materiales. Esta tesis es el estudio de una técnica artística como un proceso meramente mecánico, por lo tanto es necesario retomar conceptos fundamentales de la mecánica general y en particular de la mecánica de fluidos.

2.1. La mecánica

La mecánica es la división de la física que describe y predice las condiciones de reposo o movimiento de los cuerpos bajo la acción de fuerzas [8]. El tiempo, el espacio y la masa (según Beer [8]) son tres de los cuatro conceptos fundamentales de la mecánica. El cuarto y último concepto fundamental de la física es la fuerza. Las fuerzas son resultado de la interacción entre cuerpos. Isaac Newton, a fines del siglo XVII formuló las tres leyes sobre las cuales se fundamenta la mecánica (por eso se llama mecánica newtoniana) [8]. Las leyes de Newton relacionan las fuerzas con los cambios en el estado cinemático (de movimiento) de los cuerpos.

2.1.1. Los esfuerzos y los cuerpos deformables

De forma general, los cuerpos sometidos a cargas o fuerzas pueden permanecer en equilibrio (si la suma de fuerzas sobre ellos es cero), cambiar su estado de movimiento y/o también perder su forma original.

Como ya se mencionó, la creación plástica involucra la deformación de los materiales. Las deformaciones representan los cambios que ocurren en la geometría de los cuerpos. La deformación es la relación de la longitud resultante entre la longitud original (antes de someter al cuerpo a una carga). Las deformaciones se calculan de la siguiente forma:

$$\epsilon = \frac{\delta L}{L} \quad (2.1)$$

2. LA MECÁNICA DE FLUIDOS

donde ϵ es la deformación, L es la longitud original y δL es el cambio en la longitud [9][10].

Las deformaciones son producto de los esfuerzos a los que se somete un material. Los esfuerzos son la relación de la fuerza entre el área donde se aplica y representan la intensidad de la fuerza [9]. Matemáticamente, un esfuerzo se representa:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

donde σ es el esfuerzo generado, P representa la carga (fuerza) y A el área sobre la que se ejerce dicha carga [10].

Los esfuerzos y las deformaciones se dividen en dos, dependiendo de la dirección de la fuerza a la que se somete el material. Un esfuerzo es normal cuando la fuerza actúa perpendicularmente al área sobre la cual es aplicado. Por el contrario, si lo hace en dirección paralela, el esfuerzo es cortante. Para los sólidos, la ley de Hooke establece la relación que existe entre un esfuerzo normal y la deformación que se produzca. El esfuerzo es directamente proporcional a la deformación [10]

$$\sigma = E\epsilon \quad (2.3)$$

donde E es el módulo de Young o de elasticidad y representa la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación. El módulo de Young es una propiedad de cada material. Para un esfuerzo cortante existe una relación similar:

$$\tau = G\gamma \quad (2.4)$$

donde τ es el esfuerzo cortante, G el módulo de rigidez a corte y γ es la deformación cortante.

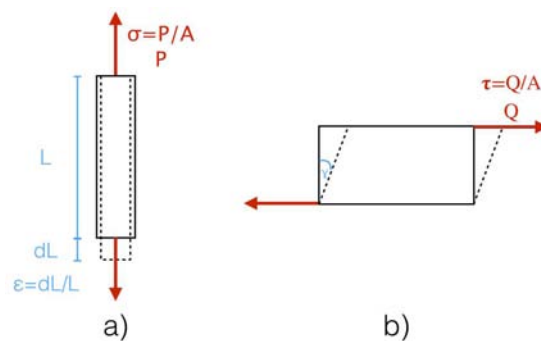


Figura 2.1: Esfuerzos y sus deformaciones. a) Normal $\sigma = E\epsilon$. b) Cortante $\tau = G\gamma$. Para ambos casos el área entre la que se divide la carga para calcular el esfuerzo es la cara superior.

2.2. La mecánica de fluidos

Ya que las pinturas no son sólidos, es necesario estudiar las normas que rigen la mecánica de los fluidos. Para empezar, un fluido es algo que fluye cuando se somete a una carga. Dicho de forma más elaborada: Un fluido es una sustancia que, cuando se somete a un esfuerzo cortante, se deforma continuamente [11]. El sentido común dicta que los fluidos son los líquidos, pero cabe mencionar que los gases también son fluidos y que además existen materiales intermedios con propiedades tanto de sólidos como de fluidos, las pinturas pertenecen a este tipo de materiales.

2.2.1. El espacio para los fluidos

Por lo general, para estudiar un sólido el observador se coloca enfrente del cuerpo y lo sigue hacia donde se mueva para poder analizar los cambios en las cantidades físicas pertinentes. Esta última es una descripción material o lagrangiana. En la descripción lagrangiana las cantidades son función del tiempo y de la posición dentro del único cuerpo que se está siguiendo (coordenadas materiales) [9].

En cambio, al estudiar un fluido el observador se fija en una sola ubicación para medir las cantidades físicas pertinentes, sin importar cuantas o cuáles partículas. Esta última es una descripción espacial u euleriana. En la descripción euleriana las cantidades son función de la posición respecto a un punto fijo (coordenadas espaciales) y del tiempo [9].

2.2.2. La viscosidad y el fluido newtoniano

Como ya se había planteado, los fluidos se deforman continuamente con un esfuerzo cortante. Es por esto, que resulta conveniente considerar la tasa de deformación cortante (o sólo tasa de corte) de un fluido. La tasa de corte representa qué tanto se deforma un fluido en el tiempo. Para los fluidos, los esfuerzos se relacionan a la tasa de corte mediante la viscosidad. La viscosidad es una propiedad constante para la mayoría de los fluidos y se puede definir como la resistencia que opone un fluido a ser deformado.

Newton fue el primero en describir el comportamiento de los fluidos viscosos, realizó una serie de experimentos en los que deslizaba una placa sobre otra con una fuerza dF y velocidad du , las placas estaban separadas por una distancia dy , había un líquido entre ellas y el área de contacto entre placas y líquido era dA , como en la figura 2.2. Para distintos líquidos la resistencia debida a qué tan *resbalosos* eran los líquidos era proporcional a la velocidad a la que se desplazaba la placa superior respecto a la inferior. Newton publicó sus observaciones en su obra de 1678, *Principia* [12]. El comportamiento lo describe Newton en su ley de la viscosidad [13]:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \dot{\gamma} \quad (2.5)$$

2. LA MECÁNICA DE FLUIDOS

donde τ es el esfuerzo cortante, μ la viscosidad y $\dot{\gamma}$ la tasa de corte. Si se despeja la tasa de corte de la ecuación:

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau}{\mu} \quad (2.6)$$

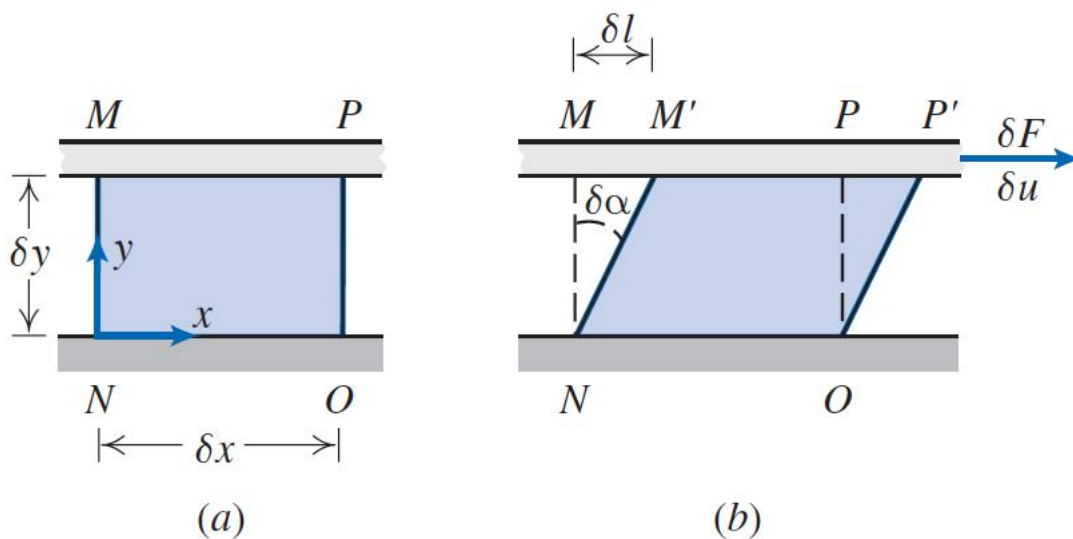


Figura 2.2: Flujo cortante simple, el experimento de Newton [11]. (a) El fluido antes del movimiento ($t = 0$), (b) deformación del fluido en $t = dt$.

En la figura 2.2 el esfuerzo es $\tau = \frac{dF}{dA}$ y la tasa de deformación (considerando que la deformación es muy pequeña) $\dot{\gamma} = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{du}{dt}$

Un fluido que cumple con la ley de la viscosidad de Newton es un fluido newtoniano. El agua, el aire, la gasolina, entre otros fluidos comunes son newtonianos. Los fluidos newtonianos tienen una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la tasa de corte, como se observa en la figura 2.3.

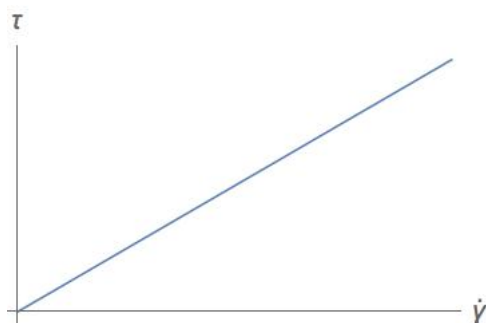


Figura 2.3: Esfuerzo como función de la tasa de corte $\tau = \mu\dot{\gamma}$.

Aunque Newton publicó sus anotaciones en 1678, no fue sino hasta la década de los 1840's [14] que Navier y Stokes; a partir de la ley de conservación de momentum (los cambios en el estado de movimiento), la ley de conservación de masa (la masa no se crea ni se destruye), una relación constitutiva (relación entre esfuerzos y cambios de velocidad, mediante una descripción espacial) y la relación de todo con fuerzas superficiales (que necesitan contacto) y de cuerpo (no necesitan contacto, como el peso); desarrollaron una teoría completa en tres dimensiones para describir el comportamiento de fluidos newtonianos [12]. En [11] y [13] se demuestra detalladamente la deducción de las ecuaciones. Las ecuaciones de Navier-Stokes para los fluidos newtonianos son:

$$\rho \left(\frac{d\vec{v}}{dt} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla P + (\lambda + \mu) \nabla \cdot (\nabla \cdot \vec{v}) + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \quad (2.7)$$

donde ρ es la densidad, \vec{v} es la velocidad en las tres dimensiones, P es la presión, λ es el coeficiente de viscosidad volumétrica, μ es el coeficiente de viscosidad cortante y ∇ es una derivada respecto a cada una de las tres dimensiones.

Las ecuaciones en esta forma no se pueden resolver (hay más incógnitas que ecuaciones), necesitan además considerarse las ecuaciones de conservación de la energía y de masa para fluidos. Aún considerando la ecuación de la conservación de la energía, las ecuaciones son ecuaciones diferenciales parciales no lineales y no se pueden resolver analíticamente con los métodos actuales. Sin embargo, si se considera que el fluido es incompresible, podemos eliminar el término no lineal de la ecuaciones ($\nabla \cdot (\nabla \cdot \vec{v})$) y se reducen a:

$$\rho \left(\frac{d\vec{v}}{dt} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \quad (2.8)$$

que son ecuaciones diferenciales parciales lineales y se pueden resolver de forma exacta si se consideran flujos sencillos y constantes en el tiempo ($\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$).

2.3. Reología

Las pinturas utilizadas para el estudio no necesariamente eran fluidos newtonianos (no seguían la ley de la viscosidad de Newton y exhibían propiedades tanto de fluidos como de sólidos), por lo que fue necesario considerar este comportamiento en el estudio, para ellos se empleó un estudio reológico de las pinturas. La reología es el estudio del flujo de la materia [15]. Con ella se estudia especialmente a fondo el comportamiento de los fluidos no newtonianos; aunque cabe mencionar que no sólo estudia líquidos, la plastilina, los granos de arena, los vitrales de las catedrales, los metales y hasta las montañas fluyen, si se espera lo suficiente.

Los fluidos que no cumplen con la ley de la viscosidad de Newton son fluidos no newtonianos. Los fluidos no newtonianos tiene una viscosidad que no es constante, su

2. LA MECÁNICA DE FLUIDOS

viscosidad cambia dependiendo de la tasa de corte. Cabe mencionar que la viscosidad cambia también como función de la temperatura, pero profundizar al respecto no es objetivo de esta tesis.

En las figuras 2.4 y 2.5 se pueden observar distintos comportamientos no newtonianos. Los fluidos adelgazantes son aquellos cuya viscosidad disminuye conforme aumenta la tasa de corte, las pinturas suelen ser adelgazantes. Los dilatantes, por el contrario, sufren un aumento en su viscosidad a mayores tasa de corte, agua con fécula de maíz es un ejemplo clásico. Los fluidos de Bingham son fluidos que se comportan como sólidos hasta que se le aplica un esfuerzo a partir del cual comienzan a fluir, como la pasta de dientes. En realidad, todos los fluidos son combinaciones de los comportamientos descritos, aunque uno de los comportamientos suele ser el más claro.

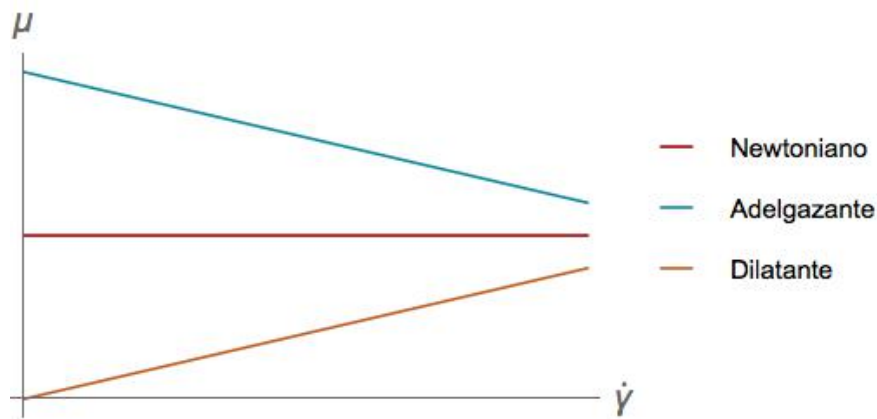


Figura 2.4: Viscosidad dependiente de la tasa de corte de fluidos no newtonianos.

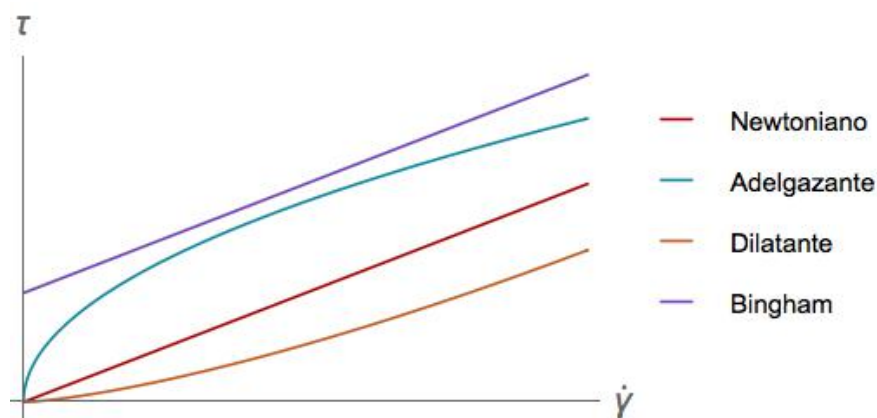


Figura 2.5: Esfuerzo dependiente de la tasa de corte de fluidos no newtonianos.

2.3.1. Ajuste de la viscosidad

Caracterizar un material es determinar sus atributos peculiares. La reometría es la caracterización de un fluido y es parte importante de la reología. Para caracterizar un fluido se le somete a un flujo sencillo y controlado en un reómetro. El reómetro es el instrumento capaz de realizar las mediciones necesarias a partir de las cuales se pueden determinar las propiedades de un material reológico.

Como ya se había mencionado, las pinturas suelen ser no newtonianas por lo que su viscosidad suele cambiar conforme cambia la tasa de corte. Por lo tanto la caracterización de la viscosidad de cada pintura fue de vital importancia para el estudio realizado. Para caracterizar la viscosidad se necesita realizar una serie de mediciones de la viscosidad para tasas de corte distintas. Cuando se somete un fluido a un flujo conocido y con una tasa de corte constante, se pueden usar ecuaciones simplificadas de las ecuaciones de Navier-Stokes para fluidos newtonianos con el fin de calcular la viscosidad a partir de la medición de la fuerza que provoca el esfuerzo cortante por el que se mueve el fluido [12].

Ya que las pinturas utilizadas en los experimentos realizados para esta tesis resultaron ser fluidos adelgazantes (reducen su viscosidad conforme aumenta la tasa de corte), sólo se prestará atención a la caracterización de este tipo de fluidos. Cabe mencionar que su comportamiento es un poco más complejo que el que se observa en la figura 2.4 y se asemeja a aquel que se observa en las gráficas de la figura 2.6.

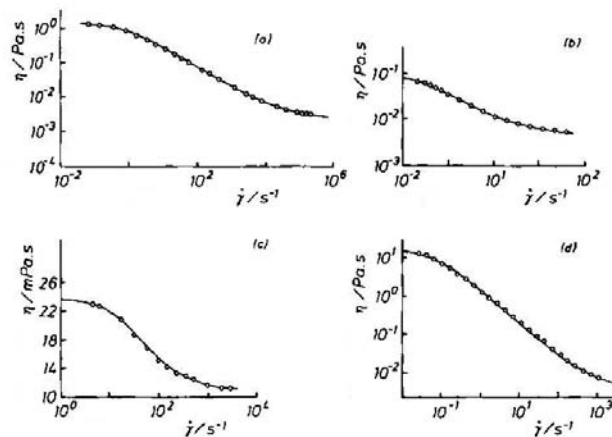


Figura 2.6: Comportamiento de distintos fluidos adelgazantes [12]. a) Solución de poliacrilamida. b) Sangre. c) Latex acuoso. d) Solución de goma de xantano.

En las gráficas de la figura 2.6 se puede apreciar que los fluidos se comportan como newtonianos (tienen viscosidad constante) a tasas muy bajas o muy altas de corte. Estas dos regiones se conocen como baja y alta regiones newtonianas, respectivamente. La viscosidad en la baja región newtoniana se conoce como la viscosidad a cortante nulo [12].

Existen distintos modelos matemáticos que tienen un comportamiento que se asemeja al de muchos fluidos adelgazantes. Un modelo completo requiere de cuatro parámetros: la viscosidad constante a bajas y altas tasas de corte, así como de un par de parámetros empíricos relacionados a la región intermedia. A partir de datos experimentales se puede realizar un ajuste de curva que permita encontrar los parámetros. El modelo de Cross es un modelo completo, su ecuación es

$$\frac{\mu - \mu_\infty}{\mu_0 - \mu_\infty} = \frac{1}{1 + K(\dot{\gamma})^m} \quad (2.9)$$

donde μ_0 y μ_∞ se refieren a los valores de la viscosidad a muy bajas y muy altas tasas de corte, K es una constante de unidades de tiempo y m es una constante adimensional [16][12].

Si se simplifica el modelo de Cross, suponiendo que $\mu_0 \gg \mu$ y $\mu \gg \mu_\infty$, se puede reducir al sencillo modelo de la "ley de potencias"

$$\mu = K_2 \dot{\gamma}^{n-1}. \quad (2.10)$$

donde K_2 es una constante de unidades de viscosidad y es conocida como consistencia; $n = 1 - m$ es el índice de la ley de potencias [12], si $n < 1$ el fluido es adelgazante, si $n = 1$ es newtoniano y si $n > 1$ es dilatante. Este modelo se puede utilizar cuando sólo se tienen datos experimentales de la región intermedia de la gráfica de un fluido adelgazante [16][12].

Si sólo se supone que $\mu_0 \gg \mu$ (no se considera la viscosidad a bajas tasas de corte). Entonces el modelo se reduce a

$$\mu = \mu_\infty + K_2 \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.11)$$

que es el modelo de Sisko y puede utilizarse cuando no se cuenta con datos a bajas tasas de corte [12]. Este y los otros dos modelos mencionados pueden ser comparados en la figura 2.7.

2.3.2. Viscoelasticidad

Las pinturas están formadas por un medio líquido y pigmentos, los pigmentos se pueden extraer por ejemplo de rocas, las pinturas son rocas y aceites [4]. Debido a su composición, las pinturas no se comportan completamente como fluidos, bajo ciertas condiciones exhiben propiedades de sólidos. Viscoelasticidad se refiere a la coexistencia de propiedades viscosas (propias de un fluido) y elásticas (propias de un sólido) en un material. Barnes, en [12], hace hincapié en que la respuesta particular de una muestra puede exhibir propiedades viscosas y propiedades elásticas dependiendo de la situación. De forma general, un material tiene una escala en el tiempo, mientras que

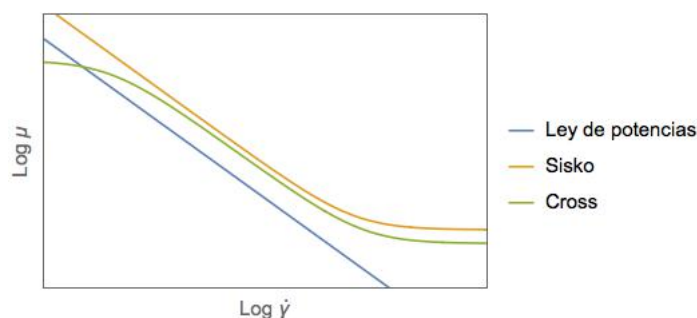


Figura 2.7: Viscosidad como función de tasa de corte utilizando los modelos de Sisko, Cross y ley de potencias.

un experimento tiene otra; si la escala de tiempo del experimento es muy grande en comparación con la escala del tiempo del material, entonces el material mostrará propiedades viscosas; si se invierten los papeles y es el material el que tiene una escala de tiempo grande en comparación a la del experimento, el material exhibirá propiedades elásticas; si ninguna de las escalas es dominante, el material exhibirá propiedades tanto elásticas como viscosas [12][17].

Un análogo mecánico de un fluido es un amortiguador, que es un dispositivo que opone resistencia a un esfuerzo de forma proporcional a la velocidad con la que se deforma. El análogo mecánico de un sólido es un resorte que opone resistencia de forma proporcional a la magnitud de la deformación de la que sea sujeto. Ya que, en el comportamiento viscoelástico, los materiales tienen propiedades compartidas tanto por fluidos como por sólidos, un material viscoelástico se puede representar como una combinación de resortes y amortiguadores arreglados en serie o en paralelo. Un amortiguador en paralelo con un resorte es el modelo de Kelvin, mientras que un amortiguador en serie con un resorte es el modelo de Maxwell (en la figura 2.8 se representan ambos); estos dos son los modelos más sencillos [12].

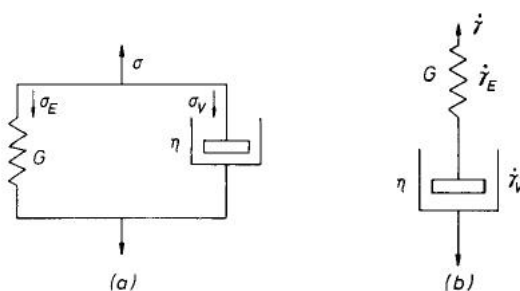


Figura 2.8: Representaciones esquemáticas[12]. a) Modelo de Kelvin. b) Modelo de Maxwell. Barnes usa el símbolo η para representar la viscosidad.

Para este documento el modelo de Maxwell será relevante en su forma generaliza-

2. LA MECÁNICA DE FLUIDOS

da. La forma generalizada del modelo representa una sucesión finita de n modelos de Maxwell en paralelo (figura 2.9). Para el modelo de Maxwell

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_E + \dot{\gamma}_V \quad (2.12)$$

donde el subíndice E representa la parte elástica (resorte) y V la viscosa (amortiguador). De las ecuaciones de cada elemento se puede definir la deformación total como

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\sigma}}{G} + \frac{\sigma}{\mu} \quad (2.13)$$

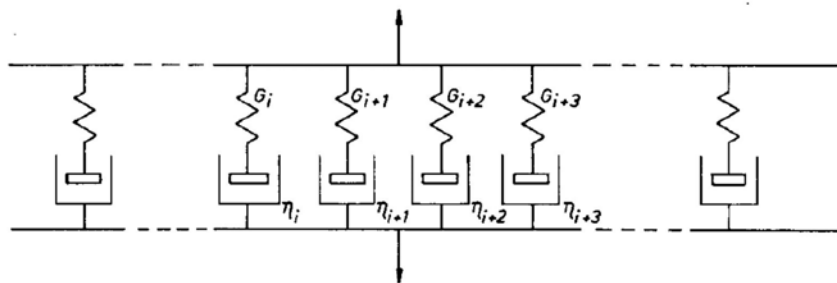


Figura 2.9: Modelo de Maxwell generalizado [12].

Previamente se mencionó que los materiales tienen una escala de tiempo natural. Si al modelo de Maxwell se le aplica una tasa de deformación constante $\dot{\gamma}_0$ y de pronto se deja de aplicar, el esfuerzo se *relajará* hasta llegar a cero de forma exponencial

$$\sigma = \mu \dot{\gamma}_0 \exp\left(-\frac{t}{\frac{\mu}{G}}\right) \quad (2.14)$$

La constante de tiempo del relajamiento es $\frac{\mu}{G}$, que es el tiempo que tardará el sistema en disminuir el esfuerzo aproximadamente un 63%. La constante de tiempo del sistema se llama tiempo de relajamiento y se representa como $\lambda = \mu/G$. En el modelo de Maxwell generalizado, cada elemento de Maxwell tiene un tiempo de relajamiento propio.

Para obtener el tiempo de relajamiento suele someterse una muestra de fluido a una prueba de deformación oscilatoria de baja amplitud (SAOS por sus siglas en inglés). Si se considera este tipo de deformación,

$$\gamma = \gamma_0 e^{i\omega t} \quad (2.15)$$

donde ω es la frecuencia del movimiento y γ_0 la amplitud de la deformación. Para el modelo de Maxwell

$$\sigma + \lambda \dot{\sigma} = \mu \frac{d}{dt} (\gamma_0 e^{i\omega t}) \quad (2.16)$$

La ecuación diferencial se puede resolver mediante métodos convencionales. La solución, si se considera la condición inicial $\sigma[0] = 0$, un movimiento de baja amplitud $\gamma_0 \approx 0$ y se sustituye $\mu = G\lambda$

$$\sigma = \frac{i\lambda G\omega\gamma}{i\lambda\omega + 1} \quad (2.17)$$

Se puede considerar un módulo que englobe los efectos viscosos y elásticos de un material y represente la relación que existe entre deformación y esfuerzo para un material viscoelástico

$$G^* = \frac{i\lambda G\omega}{i\lambda\omega + 1} \quad (2.18)$$

dentro del módulo se pueden separar los efectos viscosos de los elásticos

$$G^* = G' + iG'' \quad (2.19)$$

donde G' es el módulo de almacenamiento y representa la parte elástica y G'' es el módulo de pérdida y representa la parte viscosa. Para un modelo generalizado de Maxwell de n elementos, cada elemento tiene un tiempo de relajamiento λ_i y un módulo G_i

$$G' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega^2 G_i \lambda_i^2}{\omega^2 \lambda_i^2 + 1} \quad (2.20)$$

$$G'' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega G_i \lambda_i}{\omega^2 \lambda_i^2 + 1} \quad (2.21)$$

Se puede calcular un tiempo de relajamiento característico

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \lambda_i^2}{\sum_{i=1}^n G_i \lambda_i} \quad (2.22)$$

2.4. Análisis adimensional

La reproducción experimental de la técnica de Pollock se describe a detalle en el capítulo 3, pero de forma muy general, consistía en crear un hilo delgado de fluido viscoso y arrastrar el fluido encima de un lienzo, el flujo generado no es trivial y también se debe considerar que las propiedades de las pinturas no son newtonianas. Ya

2. LA MECÁNICA DE FLUIDOS

que resolver las ecuaciones de Navier-Stokes resulta demasiado complicado para el flujo estudiado, se puede utilizar análisis adimensional para estudiar la reproducción. El análisis adimensional es una técnica utilizada para obtener información sobre la respuesta a un problema en ausencia de métodos adecuados para obtener una solución exacta. Un amplio estudio de esta y otras técnicas similares puede encontrarse en [18].

El análisis adimensional se fundamenta en el teorema de Pi para establecer una relación entre parámetros adimensionales, datos experimentales y el comportamiento de un flujo. El análisis permite generalizar y correlacionar resultados experimentales y la teoría en torno a cierto flujo sin la necesidad de realizar un análisis teórico extensivo; también permite determinar los parámetros físicos dominantes en el comportamiento de flujos [18] [11].

El teorema de Pi es una conexión entre una función expresada en términos de parámetros dimensionales (cantidades que describen una característica ligada a una o más unidades de medición) y una función expresada en términos de parámetros adimensionales (grupos de parámetros dimensionales organizados de tal forma que todas las unidades se cancelen). Utilizar parámetros adimensionales es conveniente debido a que correlaciona distintos parámetros y puede observarse el cambio en el comportamiento como función de esa correlación de parámetros. También reduce el número de variables independientes, debido a la misma correlación de parámetros. Siguiendo a Kline [18], el teorema de Pi se puede establecer de la manera siguiente:

En un problema físico, se quiere determinar un parámetro dependiente q_1 de una lista de otros parámetros. Si el número de parámetros independientes es igual a $m - 1$ (q_2, q_3, \dots, q_m), podemos escribir que

$$q_1 = f_1(q_2, q_3, \dots, q_m) \quad (2.23)$$

donde f_1 es una función no especificada. Matemáticamente se puede reescribir como

$$f_2(q_1, q_2, q_3, \dots, q_m) = 0 \quad (2.24)$$

donde f_2 es otra función no especificada.

Dada una relación entre m parámetros de la forma

$$f_2(q_1, q_2, \dots, q_m) = 0 \quad (2.25)$$

puede encontrarse una relación equivalente expresada en términos de n parámetros adimensionales de la forma

$$f_3(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = 0 \quad (2.26)$$

donde el número n surge de la relación

$$n = m - k \quad (2.27)$$

donde m es el número de q 's y k es el número máximo posible de parámetros contenidos en la lista q_1, q_2, \dots, q_m que no pueden organizarse de forma adimensional. Los grupos adimensionales son representados como π 's.

Originalmente se pensaba que k era igual al número de cantidades primarias (aquellas que se componen por una sola unidad elevada a la primera potencia, por ejemplo distancia, masa y tiempo) necesarias para construir las dimensiones de los parámetros q_1, q_2, \dots, q_m . El número de cantidades primarias se denota como r . Posteriormente se demostró que sólo se necesita que $k \leq r$

En la mecánica de fluidos existen distintos parámetros adimensionales de uso común, algunos de ellos fueron utilizados en el presente estudio. Los parámetros utilizados y su significado son:

Parámetro	Expresión	Significado
Número de Reynolds	$Re = \frac{\rho U}{L\mu}$	Comparación de fuerzas inerciales entre viscosas [11]
Número de Ohnesorge	$Oh = \frac{\mu}{\sqrt{L\rho\sigma}}$	Comparación de fuerzas viscosas entre fuerzas inerciales y de tensión superficial [19]
Número de Deborah	$De = \frac{\lambda}{T}$	Cociente de tiempo de relajamiento entre tiempo característico del experimento, es proporcional a la relevancia de efectos viscoelásticos[19]

2.5. Inestabilidad de un hilo viscoso

Como ya se había mencionado, parte de la técnica bajo estudio consistía en crear hilos viscosos que entraran en contacto con el piso. El estudio de los hilos viscosos es basto, en [7] se realiza una amplia revisión de los mismos. Para esta tesis es relevante el caso particular de hilos viscosos que caen libremente sobre una superficie, Ribe, et al. ya han realizado un estudio excelente al respecto [5]. El estudio mencionado es relevante ya que Pollock variaba las propiedades de sus pinturas así como la altura desde la que las dejaba caer, en [5] se describe el comportamiento de un hilo viscoso como función de la altura y las propiedades del fluido.

Un hilo viscoso que cae verticalmente sobre una superficie como en la figura 2.10 es un flujo inestable que comienza un movimiento oscilatorio en torno al eje vertical. Siguiendo a Ribe, et al. [5], el hilo viscoso se encuentra bajo un esfuerzo axial de compresión por lo que se vuelve inestable a la deformación y se dobla y comienza su característico movimiento oscilatorio. La inestabilidad tiene distintos regímenes que dependen, principalmente, de la altura desde la que cae el fluido y la viscosidad. Se puede utilizar el parámetro adimensional H^* para distinguir los distintos regímenes.

$$H^* = H \frac{g^{1/3}}{\nu^{2/3}} \quad (2.28)$$

donde g es la aceleración gravitacional, $\nu = \mu/\rho$ la viscosidad cinemática y H la altura

desde la que cae el fluido. Para los distintos regímenes tanto la frecuencia Ω como el radio de giro R serán una función de H^* .

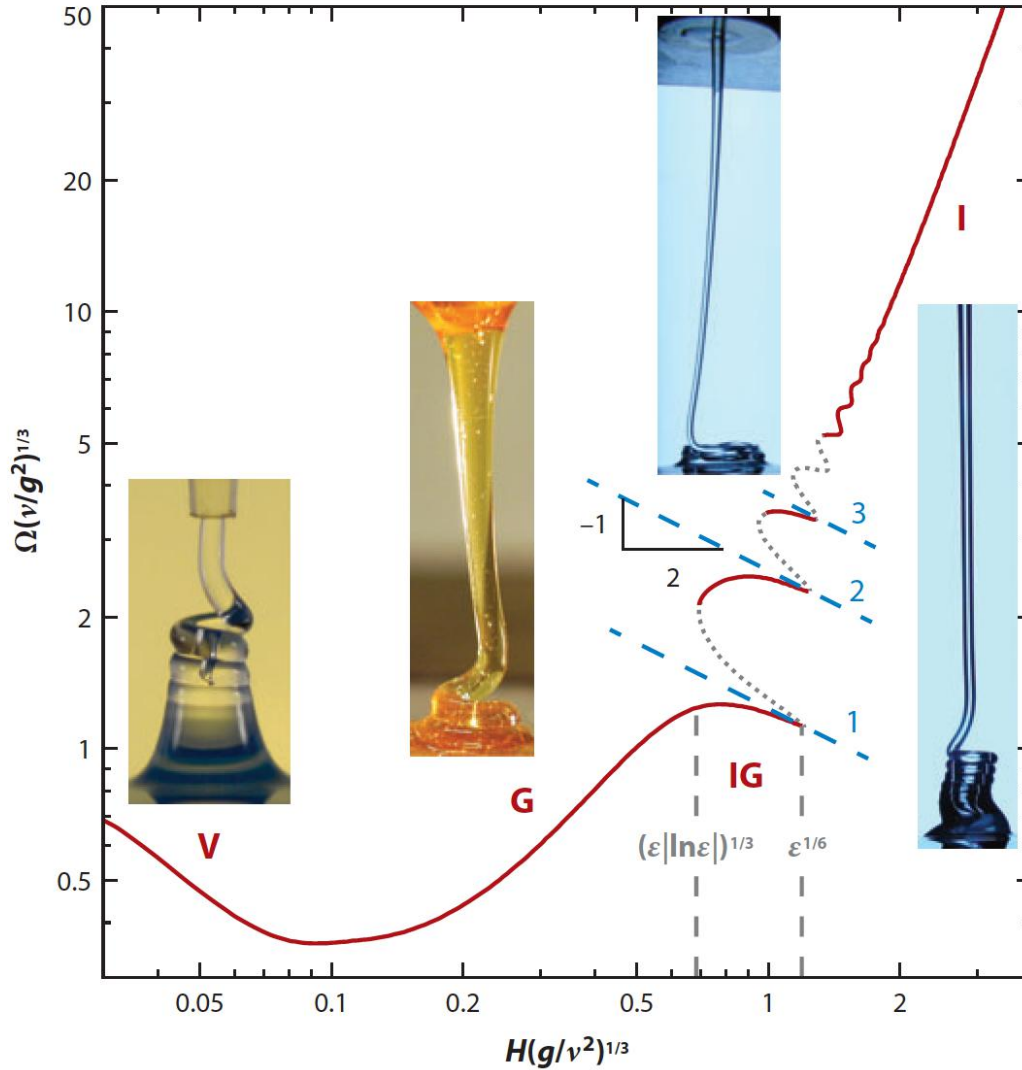


Figura 2.10: Regímenes del movimiento oscilatorio de un hilo viscoso cayendo sobre una superficie, tomada de [5].

2.5.1. Regímenes del movimiento oscilatorio

El movimiento del hilo viscoso cambia como función del parámetro H^* y se pueden identificar 4 regímenes que se ilustran en la figura 2.10, donde se describe la relación que existe entre el parámetro H^* y la frecuencia de giro Ω (de forma adimensional). El

primero de los regímenes es el viscoso, abarca el rango $0.03 < H^* < 0.08$. La velocidad del movimiento y la altura de la caída son tan pequeños que los efectos inerciales y gravitacionales son despreciables en comparación a los efectos viscosos. Las fuerzas viscosas son las que se resisten a que el hilo se doble. Para el regimen viscoso

$$R \sim H \quad (2.29)$$

$$\Omega \sim \frac{U}{H} \quad (2.30)$$

donde R es el radio de giro del movimiento con el que se enrolla el hilo, Ω es la frecuencia de giro, U es la velocidad de salida del hilo viscoso y H es la altura desde la que cae.

El siguiente regimen es el regimen gravitacional, $0.2 < H^* < 0.6$, donde las fuerzas gravitacionales balancean las viscosas en el cuerpo de la bobina en formación y cola del hilo viscoso. Las fuerzas inerciales son despreciables.

$$R \sim \left(\frac{\nu U d^2}{g} \right)^{1/4} \quad (2.31)$$

$$\Omega \sim \left(\frac{U^3 g}{\nu d^2} \right)^{1/4} \quad (2.32)$$

El tercer regimen es el inercio-gravitacional $0.7 < H^* < 1.4$, en el cual se pueden observar varios valores de frecuencia para un solo valor de altura. En este regimen la complejidad se debe a la inercia que afecta a la cola y bobina de formas distintas. Por otro lado, el estiramiento viscoso es considerable si $B \gg 1$, donde $B = \frac{gH^2}{\nu U}$. Si se cumple dicha condición en el regimen inercio-gravitacional

$$R \sim \left(\frac{H^5 g}{\nu^2} \right)^{1/2} \quad (2.33)$$

$$\Omega \sim \left(\frac{g}{H} \right)^{1/2} \quad (2.34)$$

El cuarto y último regimen es el inercial $H^* > 1.8$. En este regimen la cola es casi perfectamente vertical y en la bobina las fuerzas viscosas son balanceadas por la inercia.

$$R \sim \left(\frac{\nu a^4}{Q} \right)^{1/3} \quad (2.35)$$

$$\Omega \sim \left(\frac{Q^4}{\nu a^{10}} \right)^{1/3} \quad (2.36)$$

donde a es el diámetro del hilo

Dentro del límite $B \gg 1$, si $H^* < 2$, $a \sim (\nu Q/gH^2)^{1/2}$. Dentro del mismo límite, si $H^* > 10$, $a \sim (Q^2/gH)^{1/4}$.

2.5.2. Hilo viscoso en movimiento

Pollock no sólo variaba la altura y propiedades de sus pinturas, también era necesario trasladar el hilo de pintura para dejar un registro, Webster y Lister en [6] realizan un amplio estudio para describir el comportamiento de hilos viscosos en movimiento. En sus experimentos se desplaza el sustrato sobre el que caen los hilos. Sus resultados muestran que para bajas velocidades del sustrato se producen movimientos oscilatorios en el hilo combinación con el movimiento lineal del sustrato, conforme se aumenta la velocidad, los patrones cambian de forma. Los patrones creados tienen una semejanza con los patrones que dejan las máquinas de coser (como se ve en la figura 2.11) por lo que llamaron al fenómeno la *máquina de coser de la mecánica de fluidos*. Para altas velocidades del sustrato se detiene el movimiento oscilatorio y se crea un flujo estable, se forma una catenaria y el único patron es una línea recta. El arreglo experimental de [6] sirvió como base del arreglo experimental del estudio de esta tesis y los resultados permiten suponer que el comportamiento de las pinturas es similar. Un mapa completo de los resultados de Webster y Lister es el de la figura 2.12.

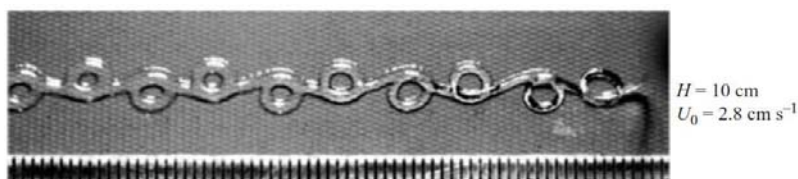


Figura 2.11: Ejemplo de un patrón a bajas velocidades del sustrato, imagen original de [6].

2.6. Formación de perlas unidas por un hilo viscoelástico

Como ya se mencionó, las pinturas que utilizaba Pollock poseen propiedades viscoelásticas, por lo tanto dependiendo de las condiciones con las que realizaba sus trazos, dichas propiedades podían adquirir relevancia. Prandeeep en [19] menciona la importancia del rompimiento de filamentos viscoelásticos tanto para fenómenos naturales como los industriales. Por ejemplo, si se forma un filamento con un fluido viscoelástico depositado entre dos superficies que se separan para estirarlo (se puede hacer con saliva entre los dedos), se forman perlas conectadas por hilos delgados del fluido. La razón física del fenómeno aun no es clara, aunque se sabe que la viscoelasticidad del fluido es muy importante dentro del fenómeno. En nuestros experimentos, se estiran hilos de pintura viscoelástica, aunque los fenómenos observados por Prandeeep no sean los mismos que los observados en los experimentos realizados para este documento, vale la pena analizar la metodología y resultados de experimentos realizados con hilos viscoelásticos.

Clasen en [20] menciona que la formación de perlas a lo largo del hilo, es debida a

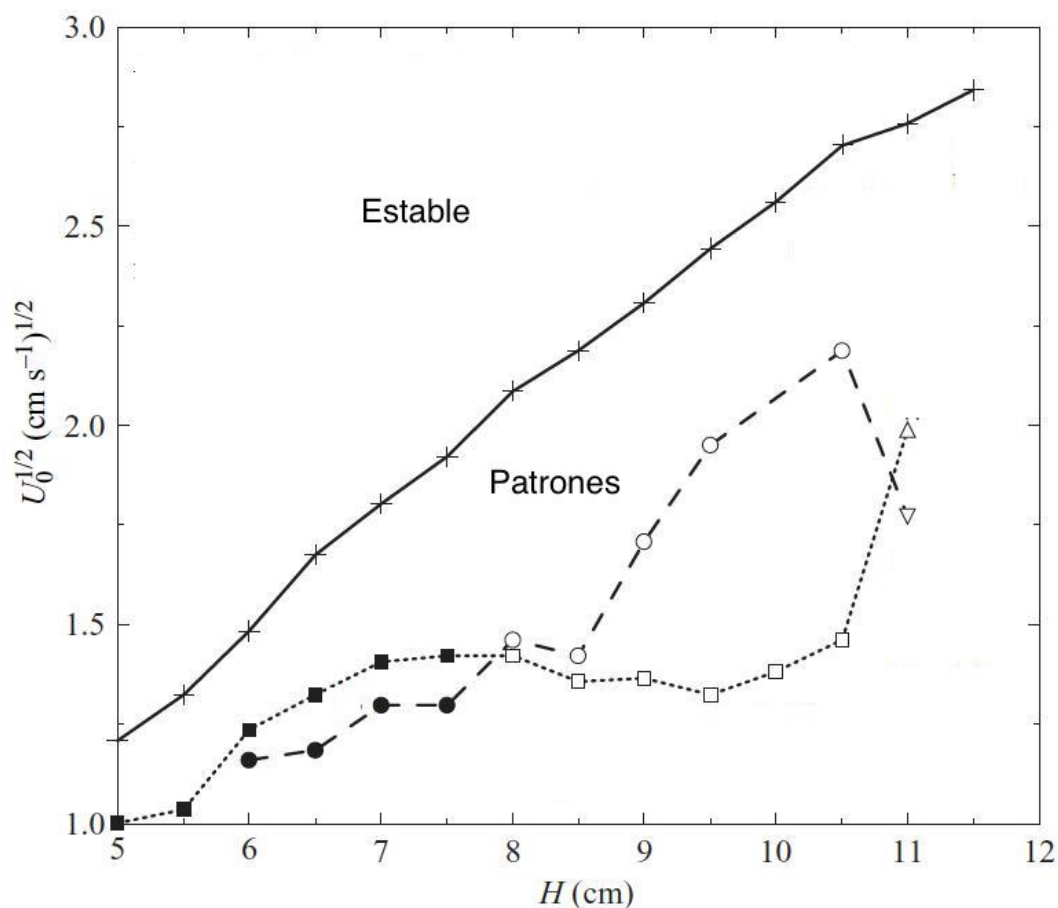


Figura 2.12: Diagrama de fase entre patrones formados por un hilo viscoso en movimiento tomada de [6]. La región denominada *steady* representa la zona de flujo estable, por debajo de esa zona el flujo es una combinación de distintos movimientos oscilatorios y lineales. el eje y es la velocidad de desplazamiento del sustrato y el x es la altura desde la que cae el hilo.

una combinación de fuerzas de tensión superficial, inerciales y viscosas; y a la relación entre el tiempo del experimento y el tiempo de relajamiento del fluido [19].

2.6.1. El número de Deborah y la aparición de las perlas

El número de Deborah representa que tan grande es el tiempo de relajamiento de un fluido en comparación con el tiempo característico del experimento.

$$De = \frac{\lambda}{t^*} \quad (2.37)$$

donde λ es el tiempo de relajamiento y t^* es el tiempo característico del experimento. Conforme aumenta el número de Deborah, también aumenta la relevancia de los efectos elásticos.

Prandeep, realizó una serie de experimentos para formar un mapa de comportamiento de hilos viscoelásticos bajo tensión, graficó sus resultados (figura 2.13) en un espacio de De vs Oh (Oh es el número de Ohnesorge y representa una comparación entre efectos viscosos y efectos inerciales-capilares).

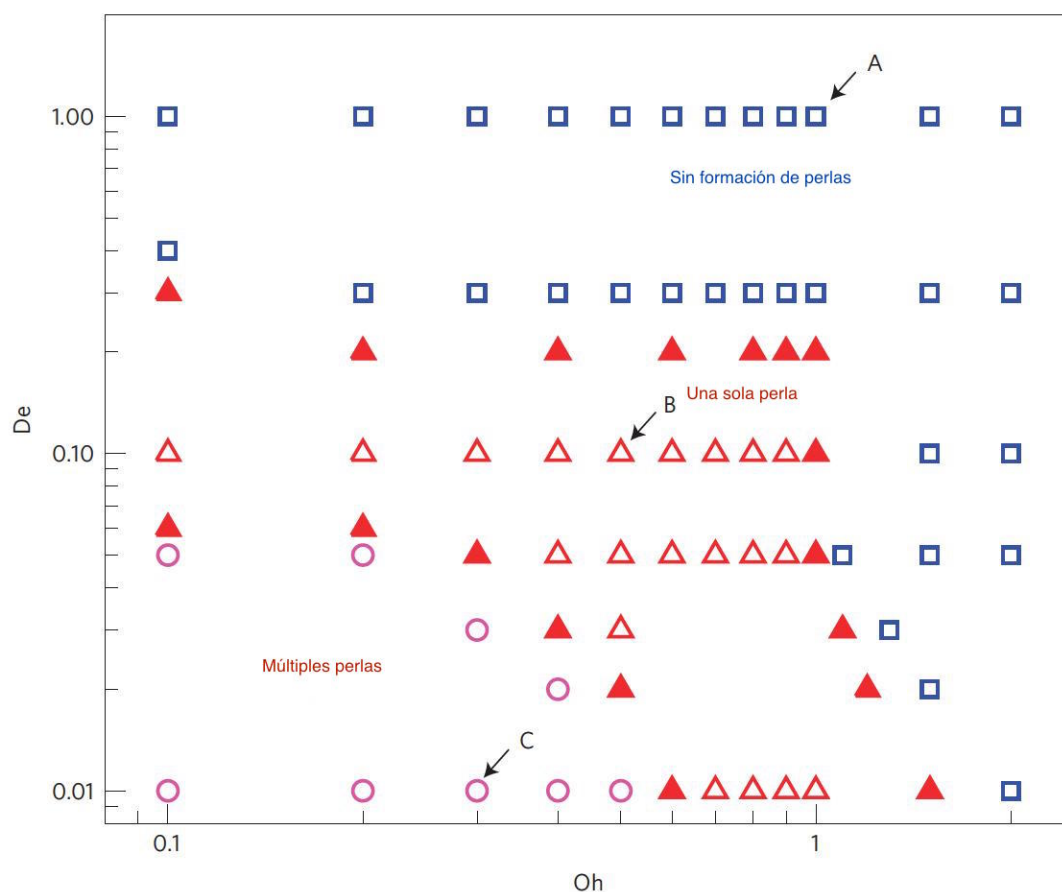


Figura 2.13: Mapa de comportamiento de la formación de perlas unidas por hilos viscoelásticos. La figura muestra los cambios de comportamiento del hilo viscoelástico para diversos valores de $Oh = \mu/\sqrt{\rho R \sigma}$ y $De = \lambda/t^*$. Los triángulos representan la formación una perla a la mitad de un hilo, los círculos forman múltiples perlas y cuadrados no forman perlas. Imagen tomada de [19].

Reproducción experimental: Los trazos de Pollock

Para entender el proceso mecánico que utilizó Pollock durante la creación de algunos de los trazos en sus pinturas, fue necesario realizar una reproducción experimental de su técnica. Con esto en mente, es necesario encontrar una relación entre las propiedades de sus pinturas, los parámetros físicos controlables y los patrones creados. Como ya se ha mencionado en el trabajo, Pollock pintó sus cuadros más famosos, principalmente, mediante hilos delgados de un fluido que desplazaba para dejar un registro sobre un lienzo. Su técnica se conocía como *dripping* (goteo), pero dado que no utilizaba gotas como recurso principal [21], la técnica bien podría llamarse técnica de hilos viscosos (o *jettling* en inglés).

En este capítulo se describen las pinturas (los materiales) de Pollock y se plantean los parámetros físicos más relevantes para el proceso artístico. A partir de esto último se describe el arreglo capaz de controlar los parámetros durante la reproducción experimental y, finalmente, los límites dentro de los cuales fue posible variar los parámetros.

3.1. Caracterización reológica de las pinturas

Para poder analizar un procedimiento mecánico, es necesario conocer las propiedades de los materiales involucrados. Por ejemplo, una pintura realizada al óleo no es igual a una pintura realizada con acuarelas, principalmente porque sus propiedades son diferentes. Los artistas pueden aprender de forma empírica la manera en que sus materiales van a reaccionar a sus movimientos, pero para el estudio realizado es necesario poder cuantificar las propiedades de las pinturas con el fin de poder relacionarlas a los trazos creados. Así que, para este fin, se realizó una caracterización reológica de las pinturas.

Pollock entró en contacto con las pinturas industriales en el taller experimental

3. REPRODUCCIÓN EXPERIMENTAL: LOS TRAZOS DE POLLOCK

impartido por David A. Siqueiros en Nueva York y continuó su uso, en conjunto con pinturas tradicionales, para crear sus cuadros de expresionismo abstracto [1] [3]. Las propiedades de estas pinturas le permitieron crear las líneas continuas que se observan en sus cuadros. Durante los experimentos se utilizaron laca automotiva negra de nitrato de celulosa y pintura blanca base solvente, ambas son pinturas industriales y no artísticas. Durante el trabajo se hace referencia a las pinturas sólo como pintura negra y pintura blanca. La caracterización de dichas pinturas se realizó a partir de mediciones y pruebas de flujo y frecuencia, que se detallan a continuación.

3.1.1. Pruebas de flujo y de corte oscilatorio de pequeña amplitud (SAOS)

Como ya se mencionó, las pinturas no suelen ser newtonianas y pueden tener propiedades viscoelásticas, debido a que comúnmente los colores provienen de sólidos. Por ese motivo fue necesario realizar pruebas de flujo y frecuencia, las cuales se realizaron bajo las condiciones que aparecen en la tabla 3.1.

Reómetro	Anton-Paar PHYSICA-101
Geometría	Plato-Plato (50 mm)
Distancia entre platos	1 mm
Temperatura	25 °C.

Tabla 3.1: Condiciones de la caracterización reológica.

Las pruebas de flujo consisten en obtener una curva de la viscosidad μ en función de la tasa de corte $\dot{\gamma}$. Los resultados obtenidos son los de las figuras 3.1 y 3.2. Una vez que se contó con los datos experimentales, se realizó un ajuste de curva para la viscosidad en función de la tasa de corte. Se utilizaron modelos reológicos distintos para cada pintura. Para ambas pinturas, el comportamiento fue muy adelgazante (con un índice n cercano a 0), sin embargo los experimentos se realizaron cerca de alta región Newtoniana con $\dot{\gamma} = 27.8$ para la pintura negra y $\dot{\gamma} = 148.7$ para la blanca; los hilos de fluido se pasaban por una tobera y se consideró $\dot{\gamma} = \frac{U}{d}$, donde U es la velocidad de salida del hilo y d el diámetro de la tobera.

Las pruebas de SAOS consisten en deformar una muestra de fluido con un movimiento oscilatorio de amplitud pequeña y constante, pero con frecuencia variable. A partir de la prueba se obtienen los módulos de pérdida G' y almacenamiento G'' para distintas frecuencias. La prueba tiene la finalidad de poder analizar la viscoelasticidad de la muestra y calcular el tiempo de relajamiento λ , a partir de ajustar la curva a un modelo de Maxwell generalizado. Los resultados de las pruebas se muestran en las figuras 3.3 y 3.4. Ambas pinturas tienen un tiempo de relajamiento del orden de 10^{-3} ,

por lo que pueden presentar efectos viscoelásticos despreciables a tasas de deformación pequeñas y no estiramiento a tasas de estiramiento altas.

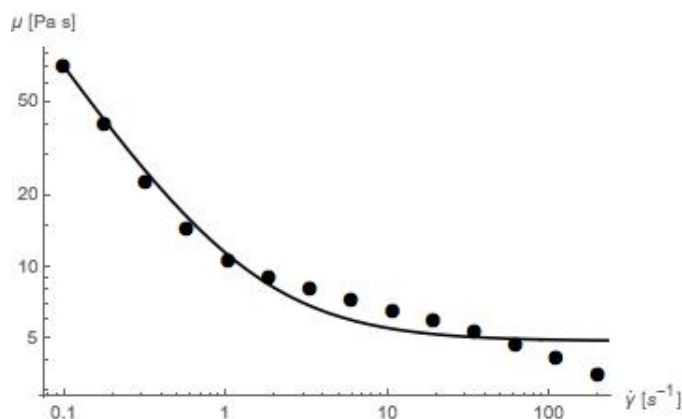


Figura 3.1: Prueba de flujo de nitrato de celulosa negra. La línea es un ajuste al modelo de Sisko. $\mu = 4.86 + 6.54(\dot{\gamma})^{-1}$ [Pa · s].

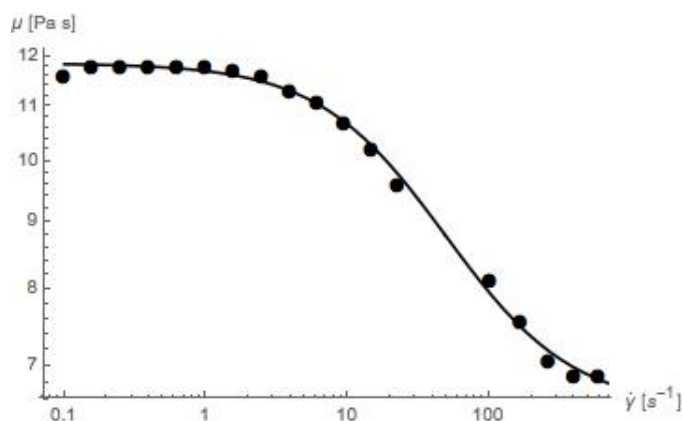


Figura 3.2: Prueba de flujo de pintura blanca base solvente. La línea es un ajuste al modelo de Cross. $\mu = \frac{(11.86-6.5)}{1+30.5 \times 10^{-3}(\dot{\gamma})^{0.972}} + 6.5$ [Pa · s].

3. REPRODUCCIÓN EXPERIMENTAL: LOS TRAZOS DE POLLOCK

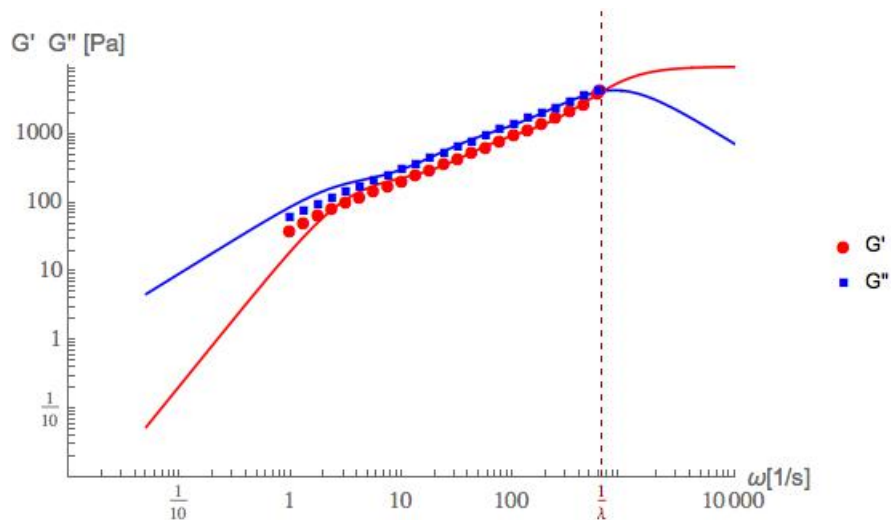


Figura 3.3: Prueba de SAOS de una muestra de nitrato de celulosa negra. A partir de un modelo generalizado de Maxwell de tres elementos (líneas de la gráfica) se calculó $\lambda = 1.53 \times 10^{-3}$ [s].

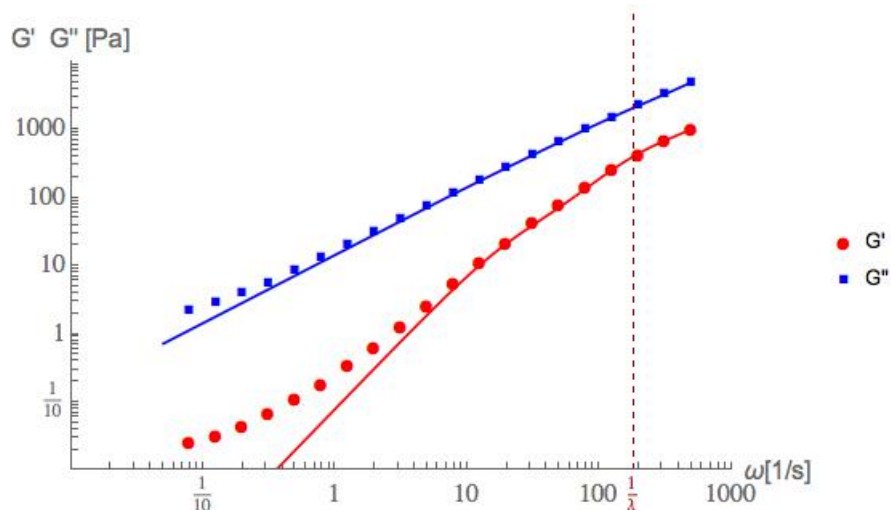


Figura 3.4: Prueba de SAOS de una muestra de pintura blanca base solvente. A partir de un modelo generalizado de Maxwell de tres elementos (líneas de la gráfica) se calculó $\lambda = 5.49 \times 10^{-3}$ [s].

3.1.2. Resumen de propiedades

A partir de las pruebas y mediciones, se obtuvieron los valores de viscosidad μ , exponente de adelgazamiento n , tiempo de relajamiento λ y la densidad ρ ; el valor de la tensión superficial fue tomado de [22]. Los valores de las propiedades de las pinturas se resumen en la tabla 3.2, estos valores son aquellos que se utilizaron para los cálculos del análisis de resultados.

Muestra	$\rho[Kg \cdot m^{-3}]$	$\mu[Pa \cdot s]$	n	$\lambda[s]$	$\sigma[N \cdot m^{-1}]$
Pintura Negra	0.935×10^3	5.1	0.01	1.53×10^{-3}	40×10^{-3}
Pintura Blanca	1.11×10^3	7.59	0.03	5.49×10^{-3}	40×10^{-3}

Tabla 3.2: Valores de las propiedades reológicas para las pinturas utilizadas.

3.2. Parámetros físicos y grupos adimensionales

La revisión realizada sobre la teoría de hilos viscosos y viscoelásticos permite establecer los parámetros físicos más importantes en relación con la creación de distintos patrones; los cuales se resumen en la tabla 3.3 y la figura 3.5b, que es un esquema simplificado de los parámetros y el experimento diseñado para reproducir la técnica.

Para los experimentos realizados, la velocidad con la que sale la pintura de una tobera para formar un hilo viscoso y la altura desde la que cae serán los parámetros que definen la velocidad de rotación del hilo cerca de la superficie sobre la que cae como demuestran en [5]. Por supuesto, las propiedades de las pinturas son de gran importancia cuando se estudia la respuesta que tendrán durante este último o cualquier otro proceso.

Por otro lado la velocidad con la que se desplaza el hilo se relaciona directamente con el estiramiento del hilo, relevante para el análisis de efectos viscoelásticos, de una forma similar a la utilizada en [19]. En el estudio realizado en [6] también es muy relevante la velocidad de traslación del hilo, ya que de ella depende el patrón que deja un hilo viscoso arrastrado. Así como se realiza en [6], en este estudio se realiza una inversión cinemática, por lo que en lugar de desplazar el hilo de fluido, se desplaza la superficie sobre la que cae.

3.2.1. Números adimensionales

Los parámetros del experimento se pueden reescribir como grupos adimensionales, lo cual resulta conveniente para encontrar relaciones entre los mismos parámetros y la propiedades de las pinturas. Ya que se poseen nueve variables en un sistema de tres cantidades primarias, para describir el experimento, según el teorema de Pi se pueden formar seis grupos adimensionales. Los grupos adimensionales utilizados se resumen en la tabla 3.4, sin embargo debe resaltarse que no son los únicos que pueden formarse.

Tres de los grupos utilizados son comúnmente utilizados en mecánica de fluidos (Re, Oh y De) y fueron descritos en la sección 2.4; el parámetro H^* fue utilizado por Ribe, et al. en [5] (sección 2.5) para describir los regímenes del movimiento de un hilo viscoso. Cabe mencionar que el número de Ohnesorge (Oh) es comúnmente utilizado para describir el rompimiento en gotas de hilos o chorros de fluidos, además de haber sido utilizado en conjunto con el número de Deborah para describir el comportamiento de hilos viscoelásticos en el trabajo de Bhat, et al. [19].

Parámetro	Definición
d_h	Diámetro de la tobera
H	Altura
U	Velocidad de salida de la pintura
U_p	Velocidad del piso
ρ	Densidad
μ	Viscosidad
λ	Tiempo de relajamiento
σ	Tensión superficial

Tabla 3.3: Parámetros físicos. Nótese que $U = Q \frac{4}{\pi d^2}$, donde Q es la tasa de flujo o gasto volumétrico.

Número	Expresión	Definición
U^*	$U^* = U_p/U$	Tasa de velocidades
H^*	$H^* = H \frac{g^{1/3}}{U^{2/3}}$	Altura normalizada
De	$De = \lambda \frac{U_p}{H}$	Número de Deborah
Π	$\Pi = U \left(\frac{\rho}{g\mu} \right)^{1/3}$	Velocidad normalizada
Oh	$Oh = \frac{\mu}{\sqrt{d_h \rho \sigma}}$	Número de Ohnesorge
Re	$Re = \frac{\rho U}{d_h \mu}$	Número de Reynolds

Tabla 3.4: Grupos adimensionales para el experimento.

3.3. Reproducción de la técnica

I can control the flow of the
paint...There is no accident

Jackson Pollock, película de
Hans Namuth

Para realizar los experimentos fue necesario diseñar un sistema capaz de controlar todas las variables de la tabla 3.3. El arreglo utilizado desplazaba, mediante un mecanismo de rodillos, una superficie de papel bajo un chorro de pintura. El chorro de pintura era controlado por una bomba de jeringa de altura variable, ubicada directamente encima de la superficie (papel) sobre la que caía la pintura.

Por lo tanto, el arreglo también permitía controlar el diámetro a la salida de la tobera (nominal para la jeringa) por la que salía el hilo viscoso, el gasto volumétrico de pintura (y por ende la velocidad a la salida de la tobera), la velocidad de desplazamiento del papel y la altura entre la tobera de la jeringa y el sustrato de papel. El sistema esquematizado es el de la figura 3.5b y una representación tridimensional de sus componentes principales es la de la figura 3.6.

En la figura 3.5a se aprecia que una de las herramientas que utilizaba Pollock era un *palito*, para tal caso, cabe mencionar que se puede hacer una estimación del gasto volumétrico y, por lo tanto, de la velocidad del hilo U . El problema es un caso típico de flujo Landau-Levich [23] para el cual

$$W \sim \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \left(\frac{\mu U_a}{\sigma} \right)^{2/3} \quad (3.1)$$

donde W es el espesor de la película que queda en el *palito* al sumergirlo en pintura y U_a es la velocidad con la que se retira de la pintura. El flujo se convierte en un flujo conocido, una película de fluido sobre una pared vertical. Se puede llegar a una solución exacta de las ecuaciones de Navier-Stokes para calcular el gasto y, a partir del gasto, se puede llegar a

$$U \sim \frac{D\mu U_a^2}{\rho d^2} \sqrt{\frac{\rho}{\sigma g}} \quad (3.2)$$

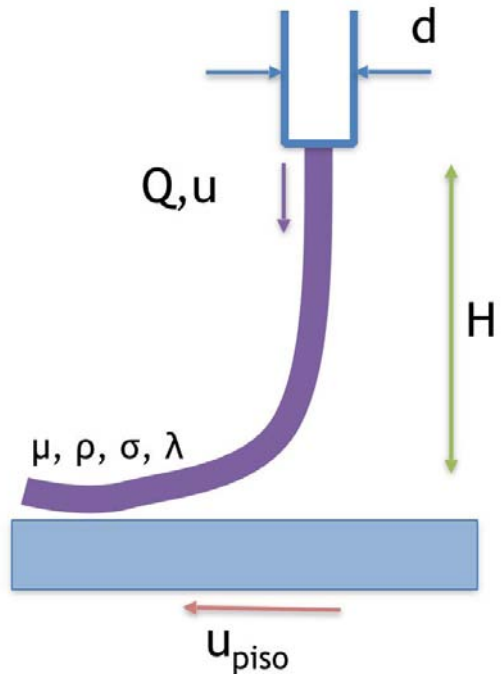
donde D es el diámetro del *palito*. Por lo que Pollock sí podía tener control del parámetro U aun utilizando instrumentos rudimentarios.

3.3.1. Control de los desplazamientos

Para controlar los elementos mecánicos que desplazan el papel y el émbolo de la jeringa, se utilizaron motores a pasos. Se optó por utilizar estos actuadores porque se



(a) Mano de Pollock mientras pintaba, fotografiada por Hans Namuth (1950).



(b) Simplificación de los experimentos y los parámetros más relevantes.

Figura 3.5: Pollock pintando y la reproducción experimental.

pueden usar con un control de lazo abierto y, en consecuencia, disminuyen la instrumentación necesaria para realizar los experimentos.

3.3.1.1. Velocidad del papel

Para desplazar el papel se utilizó un sistema compuesto por un eje con rodillos de goma acoplado a un motor a pasos. Para asegurar que el papel se mantuviera sobre la base del experimento, al momento en que le cae el chorro de pintura, se utilizó un segundo eje con rodillos que giraba libremente. El sistema se representa en la figura 3.7a.

3.3.1.2. Gasto volumétrico

El sistema encargado de controlar el gasto volumétrico (y, por lo tanto, la velocidad a la salida de la tobera) era una bomba de jeringa. La bomba de jeringa se componía, a grandes rasgos, de un tornillo de potencia acoplado a un motor a pasos. El tornillo de potencia movía una tuerca acoplada a la pieza encargada de desplazar el émbolo de

3. REPRODUCCIÓN EXPERIMENTAL: LOS TRAZOS DE POLLOCK

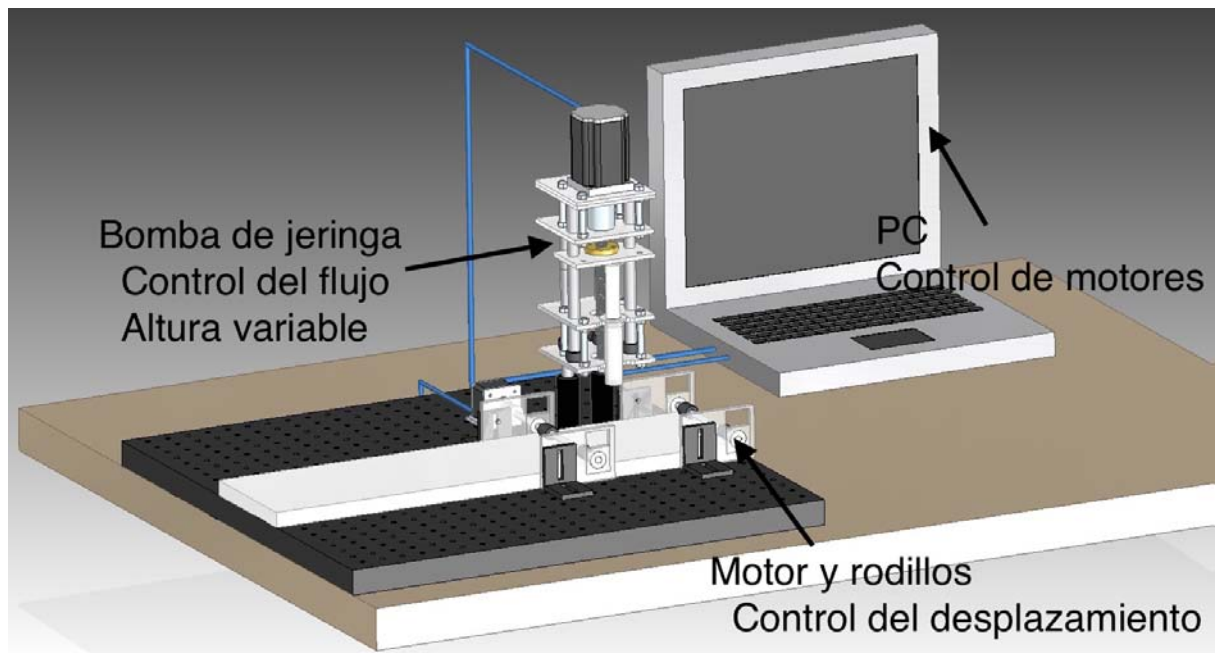
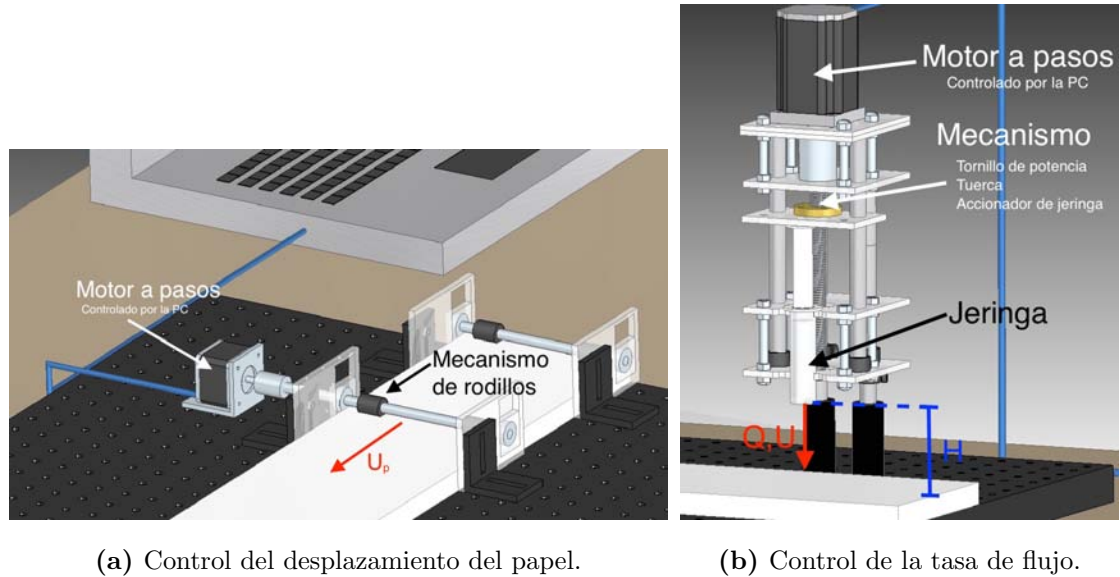


Figura 3.6: Arreglo experimental.

la jeringa. El sistema giraba en una sola dirección cuando esta trabajando, por lo que el juego mecánico no era un problema. El sistema se representa en la figura 3.7b.



(a) Control del desplazamiento del papel.

(b) Control de la tasa de flujo.

Figura 3.7: Control de los desplazamientos.

3.4. Experimentos realizados

Se realizaron dos series experimentales, para cada serie se utilizó una sola pintura (pintura negra y pintura blanca), un solo gasto volumétrico ($Q_1 = 161.6[\text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ y $Q_2 = 23.6[\text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$) y un sólo diámetro de salida en la tobera ($d_1 = 2[\text{mm}]$ y $d_2 = 0.6[\text{mm}]$). Por lo tanto las propiedades del fluido ($\mu, \rho, \lambda, \gamma, \sigma$) y la velocidad a la salida en la tobera (U) permanecieron constantes para cada serie experimental; mientras que la altura (H) y velocidad de piso (U_p) fueron las variables de cada serie.

Como resultado de los parámetros que se mantuvieron constantes, los grupos adimensionales Π , Oh , Re también permanecieron constantes. Por el contrario, los grupos U^* , H^* y De variaron como función de H y U . Las tablas 3.5, 3.6 y 3.7 resumen la variación de los parámetros de forma dimensional y adimensional.

3.5. Documentación de los resultados

Los experimentos realizados dejaban distintos patrones sobre un papel. Con el fin de preservar todos los patrones, se tomaron fotografías de los mismos una vez que secaban. También el proceso de creación fue grabado, en los videos adquiridos se puede apreciar la distinta forma de creación para cada tipo de patrón. Se cuenta con fotografías de todos los experimentos de la serie 1 y algunos de la serie 2. En cuanto a los videos se registró la mayor parte de la serie 1 y al menos un video por tipo de patrón de la serie 2. Las fotografías y videos se capturaron con las condiciones de la tabla 3.8 y 3.9,

3. REPRODUCCIÓN EXPERIMENTAL: LOS TRAZOS DE POLLOCK

Experimento	H[mm]		$U_p[mm \cdot s^{-1}]$		$U[mm \cdot s^{-1}]$	N
	Min	Max	Min	Max		
Serie 1	10	100	22	229	55.7	103
Pintura Negra						
Serie 2	10	120	22	918	87.3	37
Pintura Blanca						

Tabla 3.5: Rango de los parámetros U, H y U_p para los distintos experimentos. N es el número de experimentos. En la serie 1, se utilizaron incrementos fijos $\Delta U = 23[mm \cdot s^{-1}]$ y $\Delta H = 10[mm]$ (aproximadamente) . En la serie 2 los incrementos ΔU y ΔH no fueron planeados de forma sistemática.

Experimento	Π	Oh	Re
Serie 1	0.1478	18.65	20.4×10^{-3}
Pintura Negra			
Serie 2	0.215	47	7.5×10^{-3}
Pintura Blanca			

Tabla 3.6: Parámetros Π , Oh , Re para los distintos experimentos.

Experimento	H^*		U^*		De	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Serie 1	0.691	6.89	0.396	4.11	0.339×10^{-3}	35.1×10^{-3}
Pintura Negra						
Serie 2	0.594	7.13	0.252	10.52	1.731×10^{-3}	403×10^{-3}
Pintura Blanca						

Tabla 3.7: Rango de los parámetros H^* , U^* y De para los distintos experimentos.

respectivamente. Tanto las fotos como los videos se tomaron con cámaras fijas para no tener cambios en la escala (escala [=] $\frac{pixel}{mm}$) y realizar ajustes mínimos en el enfoque.

Cámara	Canon EOS 60D
Longitud focal	135 mm
Apertura	f25
Tiempo de exposición	0.25 s
Sensibilidad ISO	100
Resolución	5184 x 3456 pixeles

Tabla 3.8: Condiciones de la toma de fotografías.

Cámara	Phantom V9.1
Longitud focal	60 mm
Apertura	f11
Tiempo de exposición	3.3 ms
Sensibilidad ISO	Automática
Tasa de cuadros	300 cps
Resolución	1632 x 1200 pixeles

Tabla 3.9: Condiciones de la toma de videos.

Análisis de la técnica

Durante la reproducción experimental fue posible distinguir distintos patrones, los cuales se clasificaron en tres grupos. En este capítulo se clasifican e ilustran los distintos tipos de patrones obtenibles bajo las condiciones particulares de los experimentos realizados (sección 4.1). Al observar los resultados de distintos experimentos es fácil percatarse de la existencia de una relación entre los parámetros experimentales y los cambios en los patrones de pintura, parte de este capítulo busca clarificar dicha relación (sección 4.2). A partir de los resultados se puede tratar de inferir, algunas de las acciones que Pollock realizó mientras pintaba.

4.1. Resultados

Dependiendo de las condiciones de cada experimento se pueden observar tres tipos de patrón (dentro de los límites descritos en la sección 3.4). Los grupos dentro de los que se clasifican los patrones son: bucles, rectas y perlas. A continuación se describe como se obtiene un resultado típico y se realiza una descripción detallada de la forma de los patrones y de las condiciones necesarias para su creación.

4.1.1. Experimento típico

La figura 4.1 ilustra un experimento típico en proceso. Un hilo de pintura cae sobre una superficie y, como se menciona en el capítulo 3, durante el experimento se tiene control sobre la velocidad de salida de la pintura (U), la altura desde la que cae la pintura (H) y la velocidad del piso que extiende el hilo (U_p). Los experimentos, en su mayoría, se grabaron. Posteriormente se permitía que la pintura seicara para fotografiar el patrón final (figura 4.2).

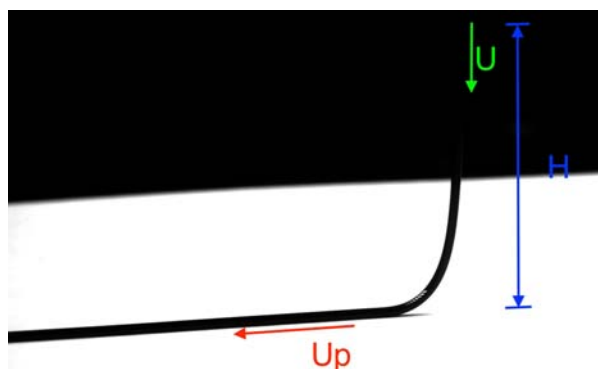


Figura 4.1: Experimento típico en proceso.



Figura 4.2: Patrón de pintura seco.

4.1.2. Bucles

Para una altura fija se forman patrones con forma de bucle hasta llegar a una velocidad crítica. Los patrones mantienen una relación con la frecuencia de giro en la cola del hilo. Para una misma altura, la frecuencia en el tiempo con la que se forma un bucle no cambia, por lo que a bajas velocidades los bucles se traslapan entre sí y a mayores velocidades se van separando. Por otro lado, la velocidad crítica por encima de la cual se dejan de formar los bucles, es proporcional a la altura desde la que se deja caer el fluido. Este resultado era esperado, estudios anteriores como el realizado por Webster y Lister [6] formaron patrones similares para hilos viscosos arrastrados.

Existe un amplio rango de patrones distintos dentro de este grupo, algunos de ellos se muestran en las figuras 4.3 y 4.4. Los patrones se vuelven más complicados conforme aumenta el parámetro H^* . Sin embargo, ya que este tipo de patrones no son comunes en los cuadros de Pollock, no es objetivo de esta tesis clasificar los distintos bucles que se pueden formar. Para tal fin se puede consultar [6], donde se encuentra un amplio estudio del rango de distintos patrones que deja un hilo viscoso arrastrado, así como las condiciones para formarlos.

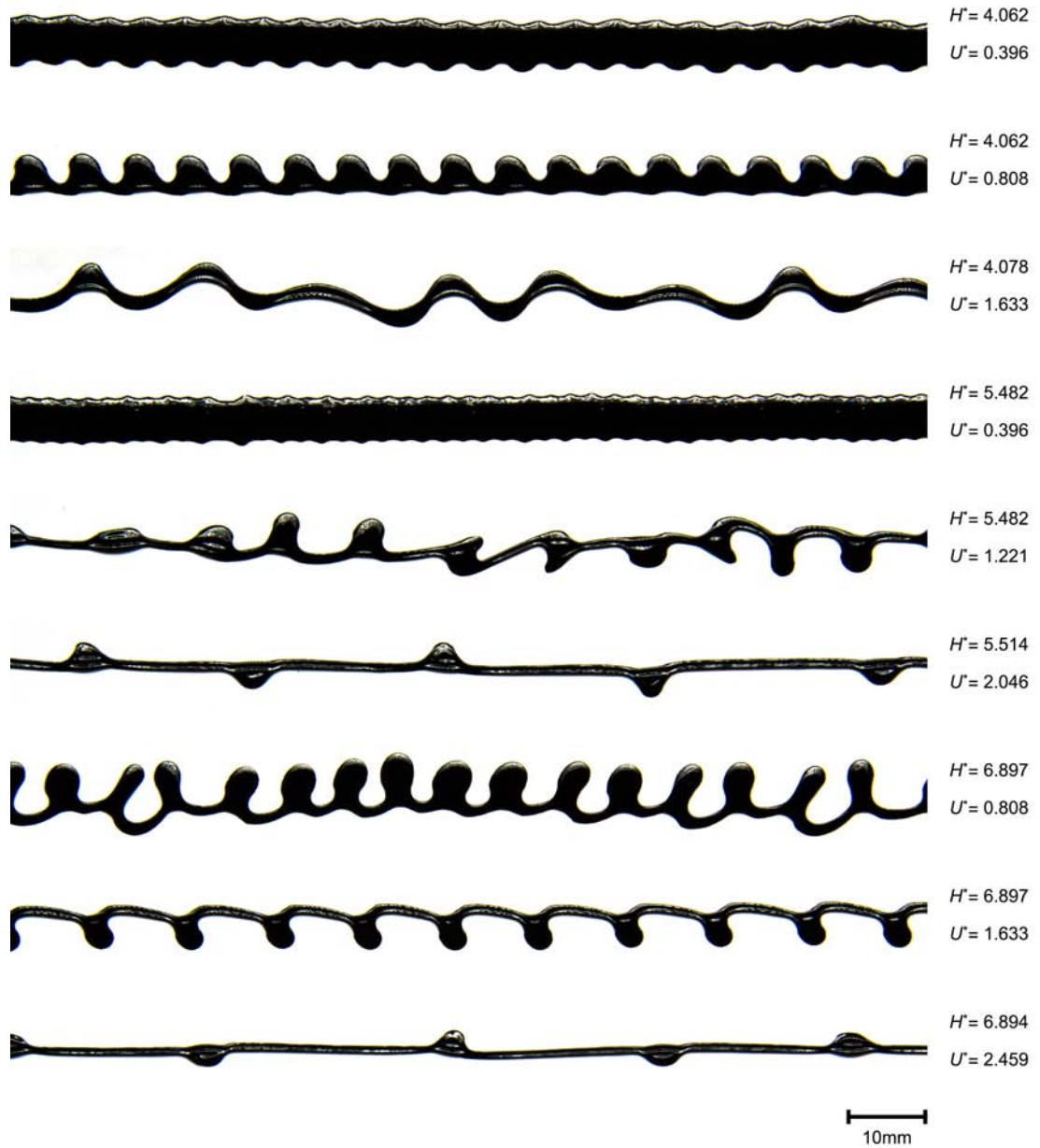


Figura 4.3: Bucles para distintos pares de (H^*, U^*) de la serie 1.

4.1.3. Patrones rectos

Una vez que se supera la velocidad crítica, a partir de la que se dejan de formar bucles, el hilo viscoso forma una catenaria y el flujo se vuelve estable. El único patrón que deja el hilo viscoso en este caso es una línea recta (figura 4.5). El único cambio

4. ANÁLISIS DE LA TÉCNICA

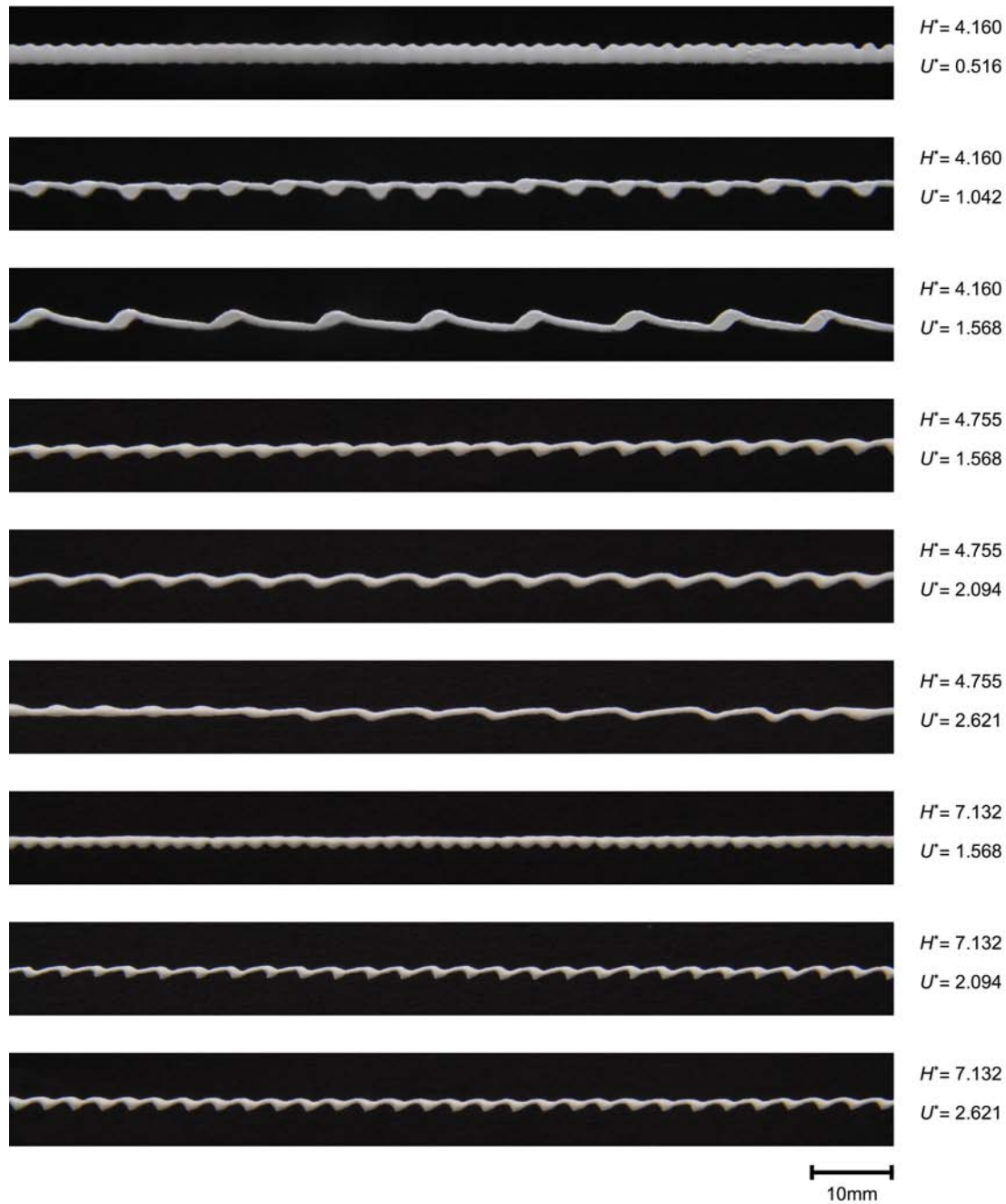


Figura 4.4: Bucles para distintos pares de (H^*, U^*) de la serie 2.

notorio entre los patrones rectos es el ancho de las líneas, el cual disminuye cuando aumenta la altura, la velocidad o ambas. Cabe mencionar que las pinturas de Pollock se componen en una buena medida de patrones rectos, las curvas en sus cuadros se

deben, más bien, al movimiento de su mano en una trayectoria curva y no a una inestabilidad como en el caso de los patrones *bucle*.

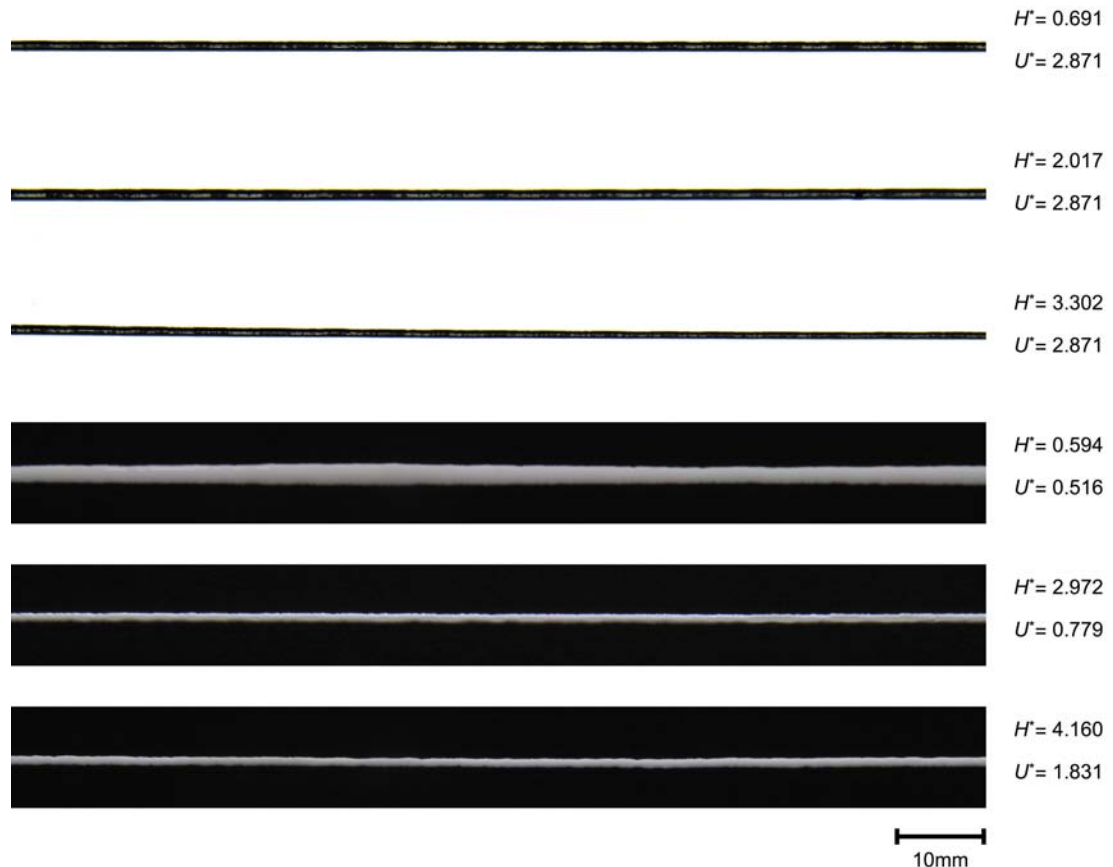


Figura 4.5: Patrones rectos para ambas series experimentales.

4.1.4. Perlas

Para una altura fija, existe una segunda velocidad crítica a partir de la cual se forman perlas sobre la línea recta que queda sobre el papel, como en la imagen 4.6. La formación de este tipo de patrón se forma para números de Deborah De relativamente altos, por lo que los fenómenos elásticos son más relevantes y a estos últimos se les puede adjudicar la formación de patrones *perlas*. Si se observa uno de los videos adquiridos del fenómeno se puede percibir que el filamento de hecho *brinca* de forma periódica como un tipo de movimiento armónico. Conforme sigue aumentando la velocidad, la distancia entre cada perla (entre cada salto) aumenta. Pollock pudo haber generado las condiciones necesarias para crear estos patrones, pero es difícil llegar a identificarlos,

4. ANÁLISIS DE LA TÉCNICA

quizá puedan confundirse con otros efectos o podrían haber quedado bajo otra capa de filamentos.

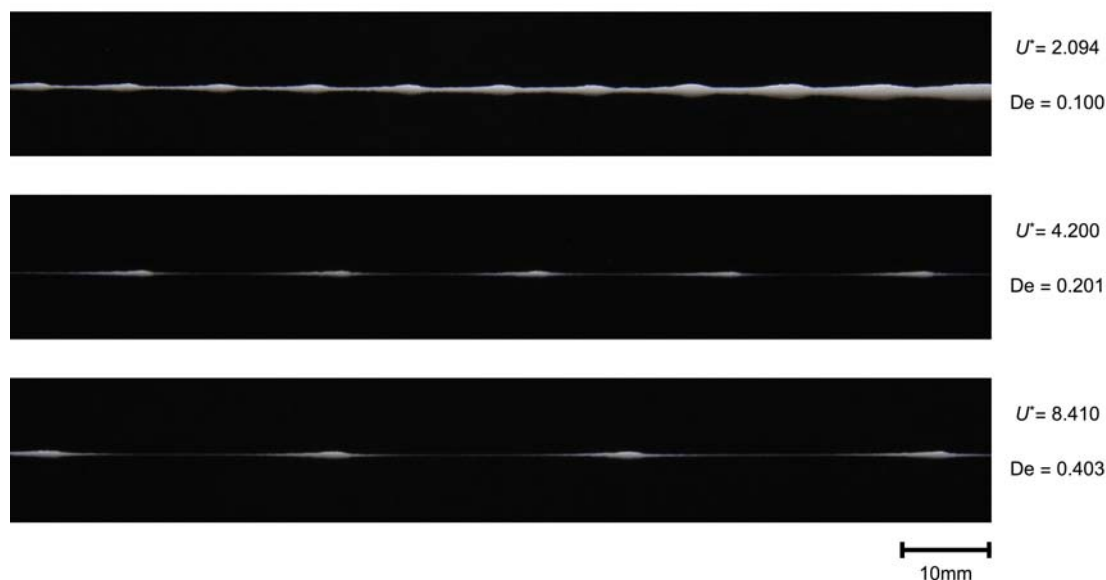


Figura 4.6: Formación de perlas dentro de un patrón recto. Para todos $H^* = 0.594$, tanto U^* como De aumentan de arriba hacia abajo.

4.2. Condiciones críticas

El comportamiento de las transiciones entre patrones como función de H^* y U^* se ilustra en la figura 4.7. En la figura se ilustra la transición entre patrones. Para alturas pequeñas no se alcanzan a formar bucles, mientras que para alturas grandes los bucles se amontonan unos sobre otros y forman una línea gruesa con contornos irregulares. Los bucles se *estiran* conforme aumenta la velocidad hasta formar líneas rectas. Para cada valor de H^* , existe un valor de U^* a partir del cual se forman líneas rectas, cuyo ancho cambia para distintos valores de H^* y U^* . Finalmente para valores pequeños de H^* y valores grandes de U^* se comienzan a formar perlas y líneas delgadas de forma intermitente, dentro de este último régimen el parámetro $De = \lambda U_p / H$ es considerable.

La figura 4.8 denota un mapa de comportamiento de los distintos grupos patrones. En la figura se puede apreciar que los patrones se encuentran dentro de zonas bien definidas y se clarifica su dependencia de los parámetros U^* , H^* y De . A partir de la localización de las fronteras entre patrones se pueden establecer condiciones críticas de transición entre los patrones *bucles*, *rectos* y *perlas*; como función de U^* y H^* .

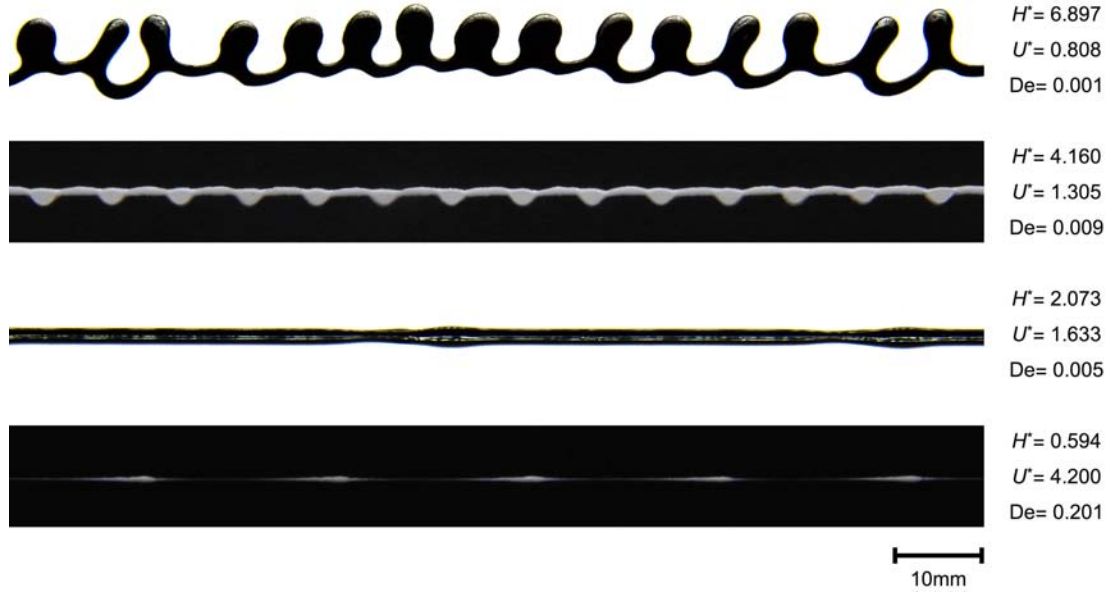


Figura 4.7: Transición entre patrones. El valor de U^* aumenta de arriba abajo, mientras que el de H^* disminuye. Nótese el alto número de De del último patrón en comparación a los otros.

4.2.1. Transición de bucles a rectas

En este trabajo se adjudica la formación de bucles a la inestabilidad de un hilo viscoso mencionada en la sección 2.5. En [6], Ribe, et al. mencionan que el hilo viscoso se encuentra bajo un esfuerzo axial de compresión por lo que se vuelve inestable. Como ya se mencionó, los bucles se forman con una frecuencia constante pero conforme aumenta la velocidad se separan hasta que dejan de formarse. Resulta lógico pensar que si los bucles se forman por un esfuerzo de compresión, entonces extender los hilos (mediante un aumento en la velocidad U_p) podría evitar su formación. Por lo que no es descabellado proponer una condición de transición entre bucles y líneas rectas, sobre el punto en el cual la velocidad con la que se arrastra el hilo viscoso es mayor a la velocidad lineal del hilo viscoso sobre la superficie en caso de que fuera estático

$$\frac{U_p}{\Omega R} > 1 \quad (4.1)$$

donde R y Ω son el radio y la frecuencia de giro del hilo viscoso. De no satisfacerse la condición se forman bucles y en el caso contrario se forman líneas rectas.

Los experimentos realizados se encuentran dentro del rango $0.5 < H^* < 7.8$ Por lo tanto, los experimentos se localizan, principalmente, en los regímenes inercio-gravitacional e inercial, mencionados en la sección 2.5. Para el regimen inercio-gravitacional $0.7 <$

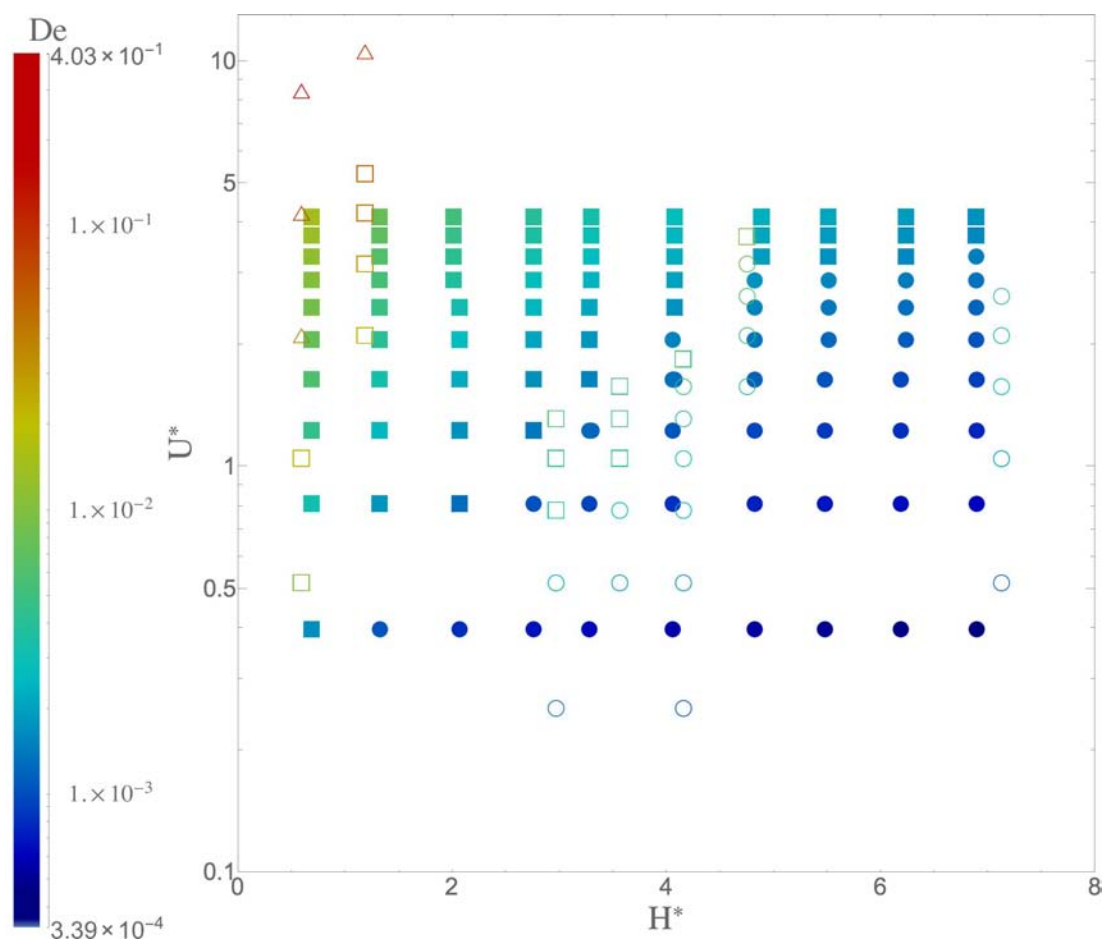


Figura 4.8: Resultados. Los cuadrados son rectas, los círculos bucles y los triángulos perlas; el color es función de De (va de frío a cálido conforme De incrementa) y los símbolos rellenos representan a los experimentos de la serie 1, mientras que los huecos a los de la serie 2. Nótese que los pares (U^*, H^*) de la figura 4.7 forman (aproximadamente) una recta de la esquina inferior derecha a la esquina superior izquierda.

$H^* < 1.4$ y en caso que el estiramiento del hilo viscoso sea considerable $B \gg 1$, donde $B = \frac{gH^2}{\nu U}$ (condición que se cumple para los experimentos realizados)

$$R \sim \left(\frac{H^5 g}{\nu^2} \right)^{1/2} \quad (4.2)$$

$$\Omega \sim \left(\frac{g}{H} \right)^{1/2} \quad (4.3)$$

lo que lleva a

$$\Omega R \sim \left(\frac{gH^2}{\nu} \right) \quad (4.4)$$

Ya que la expresión es una proporcionalidad, se propone

$$\Omega R = \beta \left(\frac{gH^2}{\nu} \right) \quad (4.5)$$

donde β es una constante de proporcionalidad.

Para satisfacer la condición crítica

$$\frac{U_p}{\beta \left(\frac{gH^2}{\nu} \right)} > 1 \quad (4.6)$$

la expresión se puede reescribir en función de los grupos adimensionales U^*yH^* de forma similar a como se hizo con De en la sección 3.2.1, de tal forma que

$$\beta_1 \frac{U^*\Pi}{(H^*)^2} > 1 \quad (4.7)$$

donde $\Pi = \frac{U}{(g\nu)^{1/3}}$ es un grupo adimensional constante para una serie de experimentos con la misma pintura y tasa de flujo.

Para la transición entre bucles y rectas se puede generar una expresión del parámetro U^* como función de H^* de la siguiente forma

$$U^* = \beta_1 \frac{(H^*)^2}{\Pi} \quad (4.8)$$

Se realizó un ajuste numérico con los puntos experimentales que se encontraban en el punto crítico de transición entre bucles y rectas. Se encontró que

$$\beta_1 = 22.2 \times 10^{-3} \quad (4.9)$$

Para el regimen inercial, donde $H^* > 1.8$, se pueden encontrar expresiones similares, sin embargo se debe considerar que dentro de este regimen tanto R como Ω son función del parámetro H^* . Para todo el regimen

$$R \sim \left(\frac{\nu a^4}{Q} \right)^{1/3} \quad (4.10)$$

$$\Omega \sim \left(\frac{Q^4}{\nu a^{10}} \right)^{1/3} \quad (4.11)$$

4. ANÁLISIS DE LA TÉCNICA

donde a es el diámetro del filamento en el bucle. Para $H^* < 2$ y $B \gg 1$

$$a \sim \left(\frac{\nu Q}{gH^2} \right)^{1/2} \quad (4.12)$$

lo que lleva a

$$R \sim \nu \left(\frac{Q}{g^2 H^4} \right)^{1/3} \quad (4.13)$$

$$\Omega \sim \left(\frac{g^5 H^{10}}{\nu^6 Q} \right)^{1/3} \quad (4.14)$$

Por lo tanto,

$$\Omega R \sim \left(\frac{gH^2}{\nu} \right) \quad (4.15)$$

que es igual que para el caso inercio-gravitacional con $B \gg 1$. Se puede llegar a la misma expresión,

$$U^* = \beta_1 \frac{(H^*)^2}{\Pi} \quad (4.16)$$

Ahora, para $H^* > 10$ y $B \gg 1$

$$a \sim \left(\frac{Q^2}{gH} \right)^{1/4} \quad (4.17)$$

lo que lleva a

$$\Omega \sim \left(\frac{(gH)^{5/2}}{\nu Q} \right)^{1/3} \quad (4.18)$$

$$R \sim \left(\frac{\nu Q}{gH} \right)^{1/3} \quad (4.19)$$

Por lo tanto,

$$\Omega R \sim (gH)^{1/2} \quad (4.20)$$

Para satisfacer la condición crítica

$$\beta_2 \frac{U_{piso}}{(gH)^{1/2}} > 1 \quad (4.21)$$

que se puede plantear de forma adimensional

$$\beta_2 \frac{U^* \Pi}{\sqrt{H^*}} > 1 \quad (4.22)$$

para la transición entre bucles y rectas se puede generar una expresión del parámetro U^* como función de H^*

$$U^* = \beta_2 \frac{\sqrt{H^*}}{\Pi} \quad (4.23)$$

$$\beta_2 = 0.223 \quad (4.24)$$

4.2.2. Transición de rectas a perlas

En [19], Prandeeep, et al. realizan una serie de experimentos donde se forman perlas en un hilo de fluido cuando los efectos viscoelásticos son considerables. Para sus experimentos un hilo viscoelástico forma perlas a partir de un punto crítico función de De y Oh . Ya que el valor de Oh en los experimentos realizados ($18 < Oh < 47$) difiere mucho del valor utilizado por Prandeeep, et al. ($0.1 < Oh < 2$), sus experimentos no son equiparables a los realizados para este trabajo. Sin embargo, ambos experimentos consideran la importancia de fenómenos viscoelásticos en hilos de fluidos, por lo que se puede proponer una condición crítica similar en función del parámetro De

$$De > De_{critico} \quad (4.25)$$

donde $De_{critico}$ es una constante. De satisfacerse la condición crítica, se formarán perlas en el hilo de fluido que quedarán en el registro sobre el papel. De no satisfacerse, el registro será una línea recta. Para proponer una transición como función de U^* y H^* se puede reescribir De :

$$De = U_p \frac{U}{U} \frac{1}{H} \frac{g^{1/3} \nu^{2/3}}{g^{1/3} \nu^{2/3}} \lambda \quad (4.26)$$

$$De = \frac{U_p}{U} \left(\frac{Hg^{1/3}}{\nu^{2/3}} \right)^{-1} \frac{\lambda U g^{1/3}}{\nu^{2/3}} \quad (4.27)$$

$$De = \frac{U^*}{H^*} \Pi_2 \quad (4.28)$$

donde $\Pi_2 = \frac{\lambda U g^{1/3}}{\nu^{2/3}}$ es un grupo adimensional constante para una serie de experimentos con la misma pintura y tasa de flujo.

Por lo tanto, para la transición se debe cumplir

$$\frac{U^*}{H^*} \Pi_2 > De_{critico} \quad (4.29)$$

En el punto crítico

$$U^* = \beta_3 \frac{H^*}{\Pi_2} \quad (4.30)$$

donde $\beta_3 = De_{critico}$ es una constante de proporcionalidad.

$$\beta_3 = 51.9 \times 10^{-3} \quad (4.31)$$

Esta tendencia se encuentra en la figura 4.9, junto con las otras dos tendencias de condiciones críticas.

4.3. Los patrones en las pinturas de Pollock

Los tres grupos de parámetros encontrados durante la reproducción experimental se pueden encontrar en las pinturas de Pollock. La aparición de los distintos patrones puede ayudar a inferir las condiciones con las que se creó un trazo.

Los bucles son poco frecuentes en las pinturas de Pollock, sin embargo es de utilidad identificarlos dentro de las pinturas. Los bucles pueden pasar desapercibidos en las pinturas de Pollock, ya que si la pintura utilizada es poco viscosa entonces la tendencia a crear bucles aumenta, porque la frecuencia de giro del hilo es mayor; el giro puede ser muy rápido y los bucles se pueden encimar unos encima de los otros y parecer una gruesa línea recta, si comienzan a ser notorios los bucles entonces la velocidad con la que se desplazaba la mano debió haber aumentado(4.10). Los bucles creados con pinturas muy viscosas también pueden revelar los cambios de velocidad mientras pintaba Pollock. Suponiendo que la altura desde la que cae un hilo es constante, si se mueve por encima del valor crítico de U^* el hilo cae y forma un patrón recto, sin

embargo es común ver bucles al final de los patrones rectos, lo que se puede traducir como una disminución en la velocidad U^* (figura 4.11).

Los patrones en las pinturas de Pollock se componen en gran medida de patrones rectos, particularmente en sus pinturas monocromáticas. En la figura 4.12 los patrones observados son rectos en su mayoría, por supuesto no eran depositados en una trayectoria rectilínea. Pero la trayectoria tomada es el único motivo de las curvas en este cuadro.

En las múltiples capas de pintura que depositaba Pollock resulta difícil identificar los patrones de perlas. Sin embargo, Pollock podía sin duda estirar los hilos de pintura lo suficiente para superar la velocidad crítica entre rectas y perlas. En un cuadro congelado (figura 4.13) de la película creada por Hans Namuth en la que grabó a Pollock pintando sobre vidrio se puede percibir un patrón similar a los patrones de perlas.

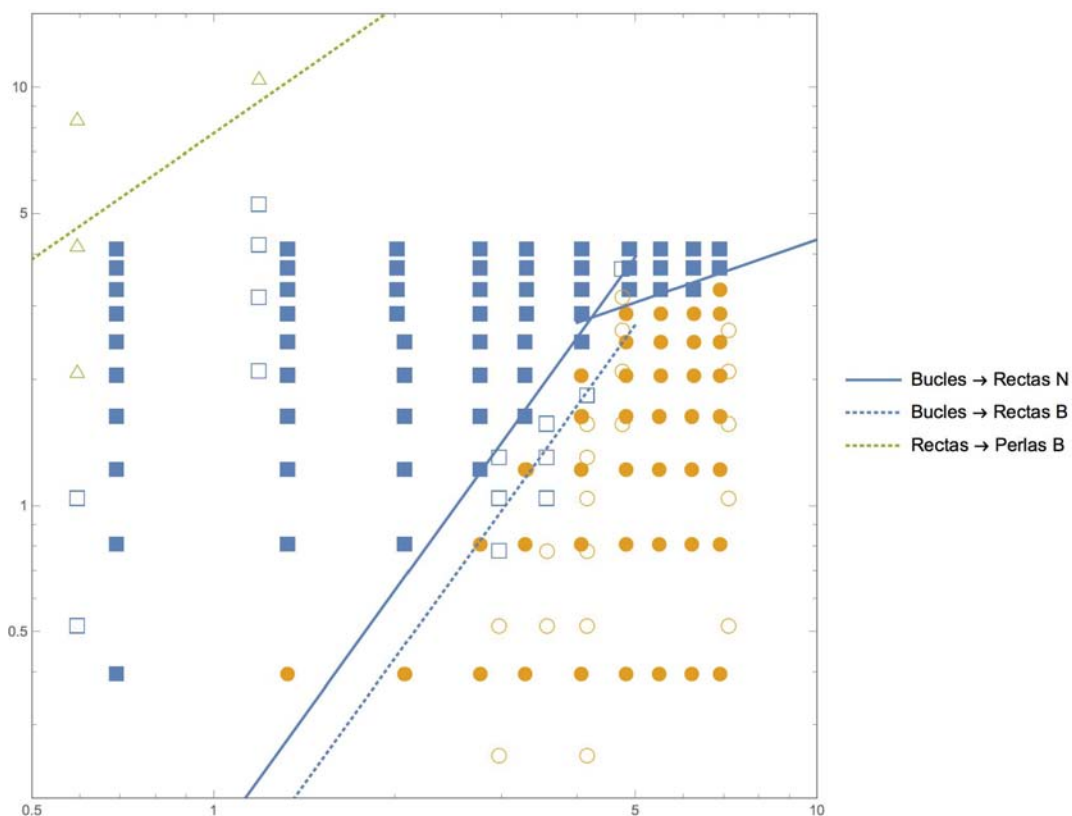


Figura 4.9: Condiciones críticas. En la imagen se muestran resultados de los experimentos y las tendencias de transición entre los tres distintos tipos de patrones; para las dos distintas pinturas utilizadas. Los símbolos rellenos y líneas continuas representan experimentos y ajuste de curva para la transición de la serie 1, mientras que los símbolos contorneados y líneas discontinuas representan la serie 2. Los cuadrados representan rectas, los círculos bucles y los triángulos perlas. Las líneas azules son la tendencia de las pinturas para realizar la transición de bucles a rectas (para distintos regímenes) y la verde la transición entre rectas y perlas.



Figura 4.10: Detalle de *One: Number 31* (1950, MoMA). Detalle con líneas formadas por bucles traslapados (líneas blancas). El patrón se identifica por la forma dentada en las líneas.



Figura 4.11: Detalle de *Number 1A* (1948, MoMA). Detalle con líneas formadas por bucles de pintura muy viscosa.

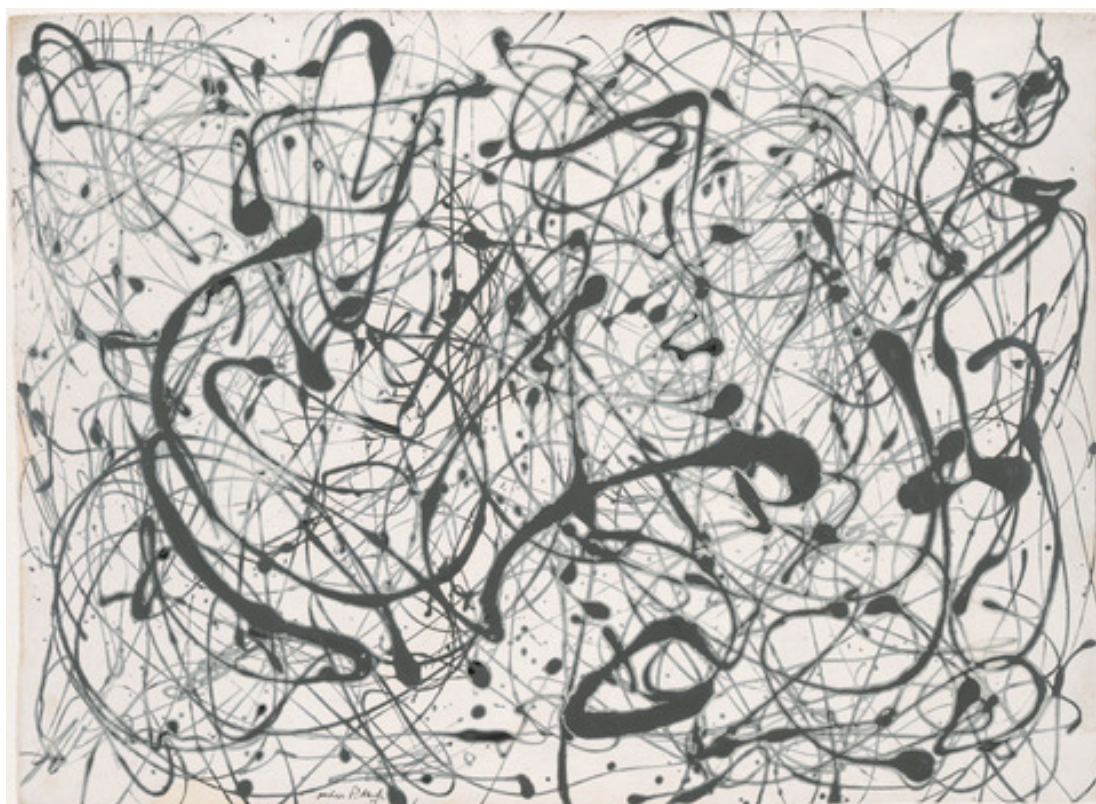


Figura 4.12: *Number 14: Gray* (1948, galería de la universidad de Yale). El cuadro se compone de patrones rectos.



Figura 4.13: Cuadro congelado de la película de Hans Namuth (1951), se pueden apreciar patrones que podrían catalogarse como *perlas*, en las zonas marcadas.

Conclusiones

En este trabajo, se reprodujeron experimentalmente tres grupos de patrones representativos de la técnica que Pollock utilizaba en sus pinturas. Aunque los patrones explorados no pueden representar una pintura de Pollock por completo, las líneas rectas obtenidas en la reproducción sí son el patrón más utilizado por el artista. Pollock, podía cambiar el patrón depositado en su lienzo si cambiaba el valor de la altura desde la que dejaba caer un hilo viscoso H , la velocidad del hilo al salir de su instrumento U y la velocidad con la que desplazaba la mano $U_m = U_p$. El parámetro más difícil de controlar podría haber sido la velocidad U , sin embargo en la sección 3.3 se discute que aun con sus instrumentos rudimentarios pudo haber controlado todos los parámetros físicos. También cabe resaltar la importancia que tomaron las propiedades de sus pinturas al momento de pintar. Sobre las propiedades, Pollock tenía control a través de adelgazantes que utilizaba para controlar, el parámetro más afectado por esta práctica es la viscosidad. Los cambios en la viscosidad tienen un gran impacto en los parámetros (se profundiza al respecto más adelante). Para poder englobar los parámetros se crearon grupos adimensionales que relacionan parámetros y propiedades de la pintura.

Los patrones creados se dividieron como bucles, rectas y perlas. El grupo en el que cae un patrón creado depende del valor de los parámetros adimensionales H^* y U^* , como se puede apreciar en la figura 4.8. Las zonas para cada grupo de patrones se encuentran claramente delimitadas por condiciones críticas como funciones dependientes de H^* y U^* . Para una altura se crean bucles hasta que la velocidad de giro del hilo es menor que la velocidad con la que se desplaza el hilo, posteriormente un hilo comienza a crear perlas a partir de un valor crítico del número adimensional De (que se puede reescribir en términos de H^* y U^*). Para establecer de forma apropiada las condiciones críticas se realizó un ajuste de curva y se determinó el valor de U^* como función de H^* a partir del cuál se realizan las dos transiciones, las curvas obtenidas a partir del ajuste se encuentran en la figura 4.9, es claro que las fronteras entre patrones y las curvas de ajuste concuerdan bien, para ambas series experimentales. En este punto es importante mencionar que los parámetros Π , Oh y Re se encontraban dentro del mismo orden de magnitud para ambas series experimentales, para que un fenómeno pueda compararse con este trabajo se espera que dichos parámetros también se encuentren en los esos

5. CONCLUSIONES

ordenes de magnitud.

Como ya se mencionó un cambio en las propiedades de la pintura puede generar un cambio considerable en el comportamiento del flujo. Los artistas regularmente adelgazan sus pinturas con diversas sustancias, la adición afecta a todas las propiedades, pero principalmente a la viscosidad. Un análisis de las condiciones de transición entre bucles y rectas (sección 4.2.1) refleja que un cambio en la viscosidad también genera un cambio en la velocidad crítica a partir de la cual se realiza la transición. Una viscosidad menor aumenta la frecuencia de rotación del hilo y por lo tanto se necesita una velocidad U_p mayor para cambiar de patrón, una alternativa para crear patrones rectos es reducir la altura H . Si se observa una película de Pollock mientras trabajaba (como la película hecha por Hans Namuth), se puede ver que tendía a realizar rápidos movimientos y acercarse mucho a sus superficies.

Existen aspectos que el trabajo realizado no consideró. Entre ellos los movimientos de Pollock no eran estables ni rectilíneos, por lo que seguramente existe una parte dinámica importante que no se ha considerado. También existen muchos tipos más de patrones que se pueden observar en pinturas del artista, entre ellas se encuentran gotas creadas por pintura (no iguales a las perlas de las que se habla en esta tesis). La creación de gotas se puede adjudicar a inestabilidades capilares, si se recuerda nuestros experimentos se realizaron con Oh dentro de un orden de magnitud de 10^1 , un adelgazamiento excesivo de la pintura reduce el valor del número de Ohnesorge y las fuerzas capilares o de tensión superficial se vuelven relevantes. Ambos aspectos planean estudiarse a futuro.

El trabajo realizado tuvo por objetivo realizar una aproximación distinta a la técnica de pintura. Durante el trabajo se definen condiciones y rangos de valores para crear trazos con hilos viscosos de forma muy similar a como lo hacía Pollock. El estudio de técnicas desde esta perspectiva abre un nicho de oportunidad para la investigación, no son comunes estos enfoques. El trabajo permite una mejor comprensión del proceso mediante el cual Pollock creaba sus pinturas, trabajos similares pueden realizarse para entender los procedimientos de otros artistas. Comprender el proceso también permite que artistas nuevos utilicen recursos plásticos nuevos, o que exploren los rangos de valores para los parámetros que salen de lo común, por ejemplo los bucles que Pollock rara vez utilizó pueden ser aprovechados para la creación de obras nuevas.

Como pensamiento final, el estudio de las técnicas artísticas no le quita el factor humano a la creación artística, por el contrario lo hace más relevante. En el laboratorio se encuentran cámaras de alta velocidad, motores, computadoras, jeringas y un sin fin de instrumentos para analizar la técnica y crear tres grupos de patrones. Un artista contaba con latas de pintura, palitos entre otros instrumentos rudimentarios para crear sus obras monumentales y tan sólo con esos instrumentos fue capaz de crear muchos más grupos de patrones. Los artistas aprenden empíricamente como controlar sus pinturas, como adelgazarlas, como combinar técnicas y también mecánica de fluidos. Como decía Pollock, no hay accidente.

Bibliografía

- [1] Ellen G. Landeu. *Jackson Pollock*. Harry N. Abrams, 2005. [1](#), [36](#)
- [2] Jürgen Harten. *Siqueiros/Pollock, Pollock/Siqueiros*. Dumont, 1995. [4](#)
- [3] Elsa Arroyo, Anny Aviram, Miguel A. Fernández, Renato González, América Juárez, Chris McGlinchey, and sandra Zetina. *Baja Viscosidad: El Nacimiento del Fascismo y Otras Soluciones*. Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, 2013. [4](#), [13](#), [36](#)
- [4] James Elkins. *What painting is: how to think about oil painting, using the language of alchemy*. Routledge, 1999. [13](#), [22](#)
- [5] Neil M. Ribe, Mehdi Habibi, and Daniel Bonn. Liquid rope coiling. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 44, 2012. [13](#), [27](#), [28](#), [40](#)
- [6] S. Chiu-Webster and J.R. Lister. The fall of a viscous thread onto a moving surface: a ‘fluid-mechanical sewing machine’. *J. Fluid Mech.*, 569:89–111, 2006. [13](#), [30](#), [31](#), [40](#), [50](#), [55](#)
- [7] J. Eggers and E. Villermaux. Physics of liquid jets. *Rep. Prog. Phys.*, 71, 2008. [13](#), [27](#)
- [8] Ferdinand Beer and et al. *Vector Mechanics for Engineers. Statics and dynamics*. Mc. Graw Hill, 9th edition, 2010. [15](#)
- [9] Han-Chin Wu. *Continuum Mechanics and Plasticity*. Number 3 in Modern mechanics and mathematics. Chapman and Hall, 2004. [16](#), [17](#)
- [10] E. J. Hearn. *Mechanics of Materials 1: An introduction to the mechanics of elastic and plastic deformation of solids and structural components*. Butterworth-Heinemann, 3rd edition, 1997. [16](#)
- [11] Robert W. Fox and et al. *Introduction to Fluid Mechanics*. John Wiley and Sons, Inc, 6th edition, 2004. [17](#), [18](#), [19](#), [26](#), [27](#)

BIBLIOGRAFÍA

- [12] H.A. Barnes, J.F. Hutton, and K. Walters F.R.S. *An Introduction to Rheology*. Elsevier, 1989. [17](#), [19](#), [21](#), [22](#), [23](#), [24](#)
- [13] Frank M. White. *Fluid Mechanics*. Mc. Graw Hill, 4th edition, 1999. [17](#), [19](#)
- [14] Stephen Wolfram. *A New Kind of Science*. Wolfram research, 2002. [19](#)
- [15] W.R. Schowalter. *Mechanics of Non Newtonian Fluids*. Pergamon, 1978. [19](#)
- [16] R.P. Chhabra and J.F. Richardson. *Non-newtonian Flow and Applied Rheology*. Butterworth-Heinemann, 2nd edition, 2008. [22](#)
- [17] Nhan Phan-Thien. *Understanding Viscoelasticity*. Springer, 2013. [23](#)
- [18] Stephen J. Kline. *Similitude and Approximation Theory*. Springer-Verlag, 1986. [26](#)
- [19] Pradeep P. Bhat, Santosh Appathurai, Michael T. Harris, Matteo Pasquali, Gareth H. McKinley, and Osman A. Basaran. Formation of beads-on-a-string structures during break-up of viscoelastic filaments. *Nature Phys.*, 6, 2010. [27](#), [30](#), [31](#), [33](#), [40](#), [59](#)
- [20] Christian Clasen, Jens Eggers, Marco A. Fontelos, Jie Li, and Gareth H. McKinley. The beads-on-string structure of viscoelastic threads. *J. Fluid Mech.*, 556, 2003. [30](#)
- [21] Andrzej Herczynski, Claude Cernuschi, and L. Mahavedan. Painting with drops, jets and sheets. *Phys. Today*, 64, June 2011. [35](#)
- [22] Michael Osterhold and Kornelia Armbruster. Correlation between surface tension and physical paint properties. *Prog. Org. Coat.*, 33, 1998. [39](#)
- [23] L. Landau and B. Levich. Dragging of a liquid by a moving plate. *Acta Physico-chim.*, 7, 1942. [42](#)