

Slump - The Most Misunderstood Characteristic of Wet-Mix Shotcrete

By Oscar Duckworth

If asked, could you accurately explain why the choice of slump is so important to a wet-mix shotcrete material's hardened properties?

Many current slump specifications are derived from historical beliefs that may no longer be valid. It is widely accepted that slump is a rough measure of concrete consistency - a general term meaning fluidity or stiffness. Using slump to describe an important characteristic of concrete's plastic properties dates back nearly a century.

In the 1920s, Duff Abrams, a young engineer, proved that a plastic concrete mixture's consistency, from the addition of water, had a strong influence on the development of its strength and other hardened properties.

Initially known as the Abrams Cone test, the slump test was created to correlate a mixture's consistency, to a uniform numerical value. At a time when concrete was simply a mixture of Portland cement, water, and aggregates, it became evident that allowing a higher slump could diminish hardened strength. The slump test and correlating numerical value system was quickly adopted as one of the most commonly specified values of a then modern reinforced concrete industry. "Abrams Law:" *Concrete strength development is inversely proportionate to the water content of the mixture*, was coined. Abrams Law remains a primary design parameter for nearly all concrete produced today.

Historically, project specifications determined the allowable slump that could be used for specific concrete placement operations. Since a higher slump was a potential indicator of lower concrete strengths, specifying a slump range was an important tool to help prevent the placement of low strength concrete. An increase of slump, from using excessive water added during batching, or by workers in the field, was (at the time) a major cause of low-quality concrete.

If asked, could you accurately explain why the choice of slump is so important to a wet-mix shotcrete material's hardened properties?

Beginning with the initial patent by Edward W Scripture Jr for a primitive water-reducing admixture in 1934, US patent 2,081,642 described a thick dispersing liquor derived from waste sulphite pulp, added to concrete so that the material will flow more readily. Unknown to Mr. Scripture his patent for a chemical admixture would forever change how we place concrete.

With continuous admixture advancements, especially water-reducing admixtures, the innovations of the last 90 years have dramatically increased the strength and durability of concrete by eliminating the use of water as the primary means to alter the material's plastic consistency. Modern admixture technology can now provide nearly any slump without changing the mixture's water content (w/cm ratio). Because of this, today's admixtures have greatly diminished the choice of slump as having a meaningful relationship to a mixture's strength development.

Nowhere in the concrete industry is the choice of slump more critical than with shotcrete. Seemingly minor variations in placement slump can affect shotcrete's hardened properties in very major ways. The nozzleman's control of slump is one of the most important concrete mixture characteristics (if not the most important) that can influence the in-place quality. The importance of slump control may not be well understood by those not intimately familiar with the shotcrete process. The need for precise control of slump is no longer due to water content's correlation to strength development, rather it is due to the slump's critical, but largely unseen role of flowability and consolidation.

SHOTCRETE IS A UNIQUE PLACEMENT METHOD FOR CONCRETE

Shotcrete differs substantially from other concrete placement methods in how the material is consolidated. Since proper consolidation is critical to the strength and durability of any reinforced concrete element, consolidation is an essential component of placement. Generally, conventional concrete is placed in a process requiring two individual steps. First, concrete material is placed into a form utilizing generally accepted methods to prevent excessive segreg-

El revenimiento - La Característica Más Incomprendida Del concreto lanzado vía Húmeda

By Oscar Duckworth

Si se le pregunta, ¿podría explicar con precisión por qué la elección del revenimiento es tan importante para las propiedades endurecidas del concreto lanzado vía húmeda?

Muchas de las especificaciones actuales del revenimiento se derivan de creencias históricas que pueden no ser válidas en la actualidad. Es ampliamente aceptado que el revenimiento es una medida burda de la consistencia del concreto - un término general que significa fluidez o rigidez. El uso del revenimiento para describir una característica importante de las propiedades plásticas del concreto, data de casi un siglo.

En el 1920s, Duff Abrams, un joven ingeniero, demostró que la consistencia de una mezcla de concreto plástico, por la adición de agua, tenía una fuerte influencia en el desarrollo de su resistencia y otras propiedades endurecidas. Inicialmente conocida como la prueba del cono de Abrams, la prueba de revenimiento se creó para correlacionar la consistencia de una mezcla con un valor numérico uniforme. En un momento en que el concreto era simplemente una mezcla de cemento Portland, agua y agregados, se hizo evidente que permitir un mayor revenimiento podría disminuir la resistencia final. La prueba de revenimiento y el sistema de valor numérico correlacionado se adoptó rápidamente como uno de los valores más comúnmente especificados en la industria de concreto armado moderno. "Ley Abrams" El desarrollo de la resistencia del concreto es inversamente proporcional al contenido de agua de la mezcla. La ley de Abrams sigue siendo un parámetro de diseño principal para casi todo el concreto producido hoy en día.

Históricamente, las especificaciones del proyecto determinaron el revenimiento permisible que podría usarse para operaciones específicas de colocación de concreto. Dado que un revenimiento mayor era un indicador potencial de resistencias más bajas del concreto, especificar un rango de revenimiento era una herramienta importante para ayudar a prevenir la colocación de concreto de baja resistencia. Un aumento del revenimiento, debido al uso excesivo de agua agregada durante

Si se le pregunta, ¿podría explicar con precisión por qué la elección del revenimiento es tan importante para las propiedades endurecidas del concreto lanzado vía húmeda?

el mezclado, o por los trabajadores en el campo, era (en ese momento) una causa importante de concreto de baja calidad. Comenzando con la patente inicial de Edward W Scripture Jr. para un aditivo reductor de agua primitivo en 1934, la patente estadounidense 2.081.642 describió un espeso licor de dispersión derivado del residuo de la pulpa de sulfito, agregado al concreto para que el material fluya más fácilmente. Desconocido para el Sr. Scripture Jr. su patente para un aditivo químico cambiaría para siempre cómo colocamos el concreto.

Con los continuos avances en los aditivos, especialmente en los reductores de agua, las innovaciones de los últimos 90 años han aumentado drásticamente la resistencia y durabilidad del concreto al eliminar el uso del agua como medio principal para alterar la consistencia plástica del material. Con la moderna tecnología de los aditivos hoy en día se puede diseñar casi cualquier revenimiento sin cambiar el contenido de agua de la mezcla (relación a/mc). Debido a esto, las mezclas de hoy en día han disminuido en gran medida la elección del revenimiento como una relación significativa del desarrollo de la resistencia de una mezcla.

En ninguna parte de la industria del concreto es la elección del revenimiento más crítica que con el concreto lanzado. Variaciones aparentemente menores en el revenimiento pueden afectar las propiedades endurecidas del concreto lanzado de manera muy importantes. El control del revenimiento por parte del lanzador es una de las características más importantes de la mezcla de concreto (si no la más importante) que puede influir en la calidad de la colocación. La importancia del control del revenimiento puede no ser bien entendida por aquellos que no están íntimamente familiarizados con el proceso de lanzado. La necesidad de un control preciso del revenimiento ya no se debe a la correlación del contenido de agua con el desarrollo de la resistencia, sino que se debe al papel crítico, pero en gran medida invisible, de los efectos en la fluidez y la consolidación.

EL CONCRETO LANZADO ES UN MÉTODO ÚNICO DE COLOCACIÓN DE CONCRETO

La colocación de concreto lanzado difiere sustancialmente la forma en que se consolida el material comparado con otros métodos de colocación de concreto. Dado que la consolidación adecuada es crítica para la resistencia y durabilidad de cualquier elemento de concreto armado, la consolidación es un componente esencial de la colocación. Generalmente, el

| CONTRACTOR'S CORNER

tion. Following placement, consolidation, using mechanical vibration or other means is an essential second step.

Mechanical vibration, utilizing the correct pace, equipment, and methodology, is a necessary and well proven method to achieve acceptable consolidation during conventional placement. Shotcrete, however, does not utilize the second step of consolidation through vibration. Shotcrete must be placed and properly consolidated within a nearly instantaneous single high velocity placement step. Because of this, the proper choice of a mixture's consistency is a powerful factor in consolidation success. Unfortunately, few realize the importance of material consistency in this process. The importance of understanding the critical correlation between material consistency to shotcrete consolidation might be compared to the importance of understanding "Abrams Law" to the early days of reinforced concrete.

To understand the immense role shotcrete slump plays in this process, it is important to understand what occurs at the exact moment of placement. To see this, we must look deeply into the nozzle stream, an area that only the nozzleman might ever actually see. It is within this violent agitation zone, where high velocity materials collide with an un-moving receiving surface, where the importance of consistency becomes apparent. A slow-motion analysis of shotcrete placement exposes distinct functions that are ultimately responsible for shotcrete consolidation success. Concrete enters the nozzle as a homogeneous mixture, but becomes both diffused and rapidly accelerated by power-



Fig. 1: Modern nozzle designs diffuse and accelerate the incoming mixture into thousands of individual particles moving within a high velocity nozzle stream.

ful opposing forces within the nozzle body. The mixture's components will not exit the nozzle as a concrete mixture, but more akin to a shotgun blast pattern of thousands of individuals, unconsolidated paste and aggregate particles moving within a focused, high velocity stream. (Fig. 1).

Upon impact, each particle will behave differently. Some of the larger particles may strike the receiving surface and

ricochet or rebound away rather than stick to the surface. However, the mixture's most cohesive component, the paste, tends to stick and remain in place. As a paste layer begins to thicken at the receiving surface, incoming particles begin to collide with other particles trapped within the puddle. Strong agitations, especially those caused by the collisions of the larger, heavier aggregates, cause vigorous high frequency oscillations within the impact zone's developing puddle. These temporary, impact-derived oscillations have the same effect on consolidation within the puddle as the oscillations caused by mechanical vibration.

With shotcrete, temporary viscous flow, caused by impact-derived oscillations will be responsible for the consolidation of all materials directly exposed to the high velocity nozzle stream and the consolidation of materials within the shadow areas not directly exposed to the material stream. Unfortunately, if a mixture's paste is excessively stiff, critically important viscous flow within the impact zone's puddle is greatly diminished. Impact-derived viscous flow may properly consolidate areas directly exposed to the strong nozzle stream, but the puddle may lack adequate flow to completely consolidate materials in the shadow areas. With no second consolidation step, un-filled shadow areas will remain as voids. (Fig. 2)



Fig. 2: This core specimen's major flaw is evidence of inadequate flow during placement.

To a degree, nozzle orientation, and higher velocity can increase impact-derived oscillations and viscous flow within the shadow areas somewhat but will not be sufficient to overcome an excessively stiff paste that lacks flowability. It is important to understand that the placement of excessively stiff mixtures must be avoided due to its strong negative affect on full encapsulation of embedded reinforcing and consolidation quality. A skilled nozzleman must "see" the material flow readily into shadow areas and watch for important visual cues to help maintain the material's proper

concreto convencional se coloca en un proceso que requiere dos pasos principales. En primer lugar, el concreto se coloca en una cimbra utilizando métodos generalmente aceptados para prevenir la segregación excesiva. El segundo paso esencial es la consolidación, generalmente con el uso de vibradores mecánicos u otros medios.

La vibración mecánica, utilizando el ritmo, el equipo y la metodología correctos, es un método necesario y bien probado para lograr una consolidación aceptable durante la colocación convencional. En el lanzado, sin embargo, no utiliza el segundo paso de consolidación a través de la vibración. El concreto lanzado debe colocarse y consolidarse correctamente en un solo paso, colocándolo a alta velocidad casi instantáneamente. Debido a esto, la elección adecuada de la consistencia de una mezcla es un factor poderoso en el éxito de la consolidación. Desafortunadamente, pocos se dan cuenta de la importancia de la consistencia material en este proceso. La importancia de comprender la correlación crítica entre la consistencia material y la consolidación podría compararse con la importancia de entender la Ley Abrams a los primeros días del concreto armado.



Fig. 1: Los diseños modernos de boquillas difuminan y aceleran la mezcla en miles de partículas individuales que se mueven alta velocidad en forma de una corriente saliendo de la boquilla.

Para entender el inmenso papel que desempeña el revestimiento en este proceso, es importante entender lo que ocurre en el momento exacto de la colocación. Para ver esto, debemos mirar profundamente en la corriente de la boquilla, un área que sólo el lanzador podría realmente ver. Es dentro de esta zona de agitación violenta, donde los materiales a alta velocidad chocan con una superficie receptora que no se mueve, donde la importancia de la consistencia se hace evidente. Un análisis a cámara lenta de la colocación del concreto lanzado expone funciones distintas que son en última instancia responsables del éxito de la consolidación del lanzado. El concreto entra en la boquilla como una mezcla homogénea, pero se disgrega y acelera rápidamente por fuerzas opuestas dentro del cuerpo de la boquilla. Los componentes de la mezcla no saltarán de la boquilla como una mezcla de concreto, sino más parecidos a un disparo de escopeta lanzado de miles de partículas individuales, no consolidadas de pasta y agregados que se mueven dentro de un flujo a alta velocidad (Fig. 1).

En el impacto, cada partícula se comportará de forma diferente. Algunas de las partículas más grandes pueden golpear la superficie receptora y rebotar en lugar de pegarse a la superficie. Sin embargo, el componente más cohesivo de la mezcla, la pasta, tiende a pegarse y permanecer en su lugar. A medida que una capa de pasta comienza a espesarse en la superficie receptora, las partículas entrantes comienzan a colisionar con otras partículas atrapadas dentro del mortero. Las agitaciones fuertes, especialmente las causadas por las colisiones de los agregados más grandes y pesados, causan oscilaciones vigorosas de alta frecuencia dentro del mortero en la zona de impacto. Estas oscilaciones temporales derivadas del impacto tienen el mismo efecto en la consolidación dentro del mortero que las oscilaciones causadas por la vibración mecánica. Con el concreto lanzado, el flujo viscoso temporal, causado por oscilaciones derivadas del impacto, será responsable de la consolidación de todos los materiales directamente expuestos al flujo de boquilla a alta velocidad y la consolidación de



Fig. 2: El principal defecto de este núcleo es evidencia de un flujo inadecuado durante la colocación.

materiales dentro de las áreas de sombra que no estén directamente expuestas al flujo de material. Desafortunadamente, si la pasta de una mezcla es excesivamente rígida, el flujo viscoso críticamente importante dentro del mortero de la zona de impacto se reduce grandemente. El flujo viscoso derivado del impacto puede consolidar correctamente las áreas expuestas directamente al flujo directo de boquilla, pero el mortero puede carecer del flujo adecuado para consolidar completamente los materiales en las áreas no impactadas por el (áreas de sombras). Sin un segundo paso de consolidación, las zonas de sombra sin llenar permanecerán como vacíos (Fig. 2).

En cierto grado, la orientación de la boquilla y una velocidad mayor pueden aumentar las oscilaciones derivadas del impacto y el flujo viscoso dentro de las zonas de sombra, pero no serán suficientes para colocar una pasta excesivamente rígida que carece de fluidez. Es importante comprender que la colocación de mezclas excesivamente rígidas debe evitarse debido a su efecto negativo en la calidad de la consolidación y el recubrimiento del refuerzo. Un lanzador experto debe "ver" el flujo del material fácilmente en las áreas de sombra y observar las señales visuales importantes para ayudar a mantener la consistencia apropiada del material a medida que ocurre

CONTRACTOR'S CORNER

consistency as placement occurs. Within any given reinforcement configuration, there is a suitable consistency where proper shotcrete placement techniques can achieve acceptable consolidation. For example, more congested elements require a higher slump to achieve proper consolidation (Fig. 3a and 3b). Visual cues, continuously monitored by a skilled nozzleman, rather than a strength-based slump value from a prescriptive specification is the correct way to determine the ideal placement consistency for a given reinforcement configuration.



Fig. 3a & 3b: Different reinforcement configurations require different material consistencies.



Fig. 4: Void beneath reinforcement in saw cut specimen occurred from downward movement.

VISUAL CUES NOZZLEMEN NEED TO KNOW

During placement, a nozzleman must rely on certain visual cues to help maintain an ideal consistency. As impact energy agitates the developing puddle, experienced nozzlemen study the point of impact. If the slump is too high, temporary viscous flow from agitation will cause the puddle to move excessively. The puddle will flow outward and downward excessively, creating a noticeable sag. This visual indicator is plainly visible to

the nozzleman. Any attempt to continue, results in more downward flow. Since reinforcements are firmly tied, downward movement of the puddle (sags or sloughs) leads to the potential creation of voids developing beneath horizontally oriented reinforcement bars (Fig. 4). Once created, lacking secondary consolidation, these voids become permanent structural deficiencies within the work. Fortunately, nozzlemen rarely attempt to place excessively fluid mixtures since they lack the cohesive properties required to remain in place or stack on a vertical surface. If the nozzleman attempts to shoot a slump that is too high, placement is either

very inefficient, or simply not possible due to the inherent higher flowability of the material. It is the author's observation that shotcrete nozzlemen rarely attempt to place materials with too high of slump for the reasons stated above. Rather, some nozzlemen, especially those less experienced, tend to place materials that are too stiff. There is a natural tendency for less experienced nozzlemen to select a lower slump to help facilitate stacking the materials. Unfortunately, they may be entirely ignoring obvious visual cues within the puddle indicating that proper consolidation may not be occurring due to an improper choice of slump. It is important to understand that the primary goal of an experienced nozzleman is not to stack material to its final height in as few lifts as possible. Rather, it is to place and properly consolidate the materials simultaneously.

RED FLAG VISUAL CUES THAT EVERYONE SHOULD KNOW

Fortunately, using materials at both the right and wrong consistency will always display clear visual cues. If the mixture is too stiff, several easy to identify visual cues immediately become plainly visible not only to the nozzleman, but anyone who can see the placement in progress. To achieve acceptable compaction and consolidation, the mixture must readily flow around all embedded reinforce-

la colocación. Dentro de cualquier configuración de refuerzo dada, hay una consistencia adecuada donde las técnicas de colocación de concreto adecuadas pueden lograr una consolidación aceptable. Por ejemplo, los elementos más congestionados requieren un mayor revenimiento para lograr una consolidación adecuada (Fig. 3a y 3b). Las señales visuales, monitoreadas continuamente por un lanzador experto, en lugar de un valor de revenimiento basado en la resistencia de una especificación prescriptiva, es la forma correcta de determinar la consistencia de colocación ideal para una configuración de refuerzo dada.



Fig. 3 & 3a: Las diferentes configuraciones de refuerzo requieren diferentes consistencias de la mezcla.



Fig. 4: El vacío debajo del refuerzo en el espécimen cortado con sierra se produjo a partir del movimiento hacia abajo.

SEÑALES VISUALES QUE EL LANZADOR NECESITA SABER

Durante la colocación, un lanzador debe observar ciertas señales visuales para ayudar a mantener una consistencia ideal. A medida que la energía de impacto agita el mortero durante la colocación, los lanzadores expertos analizan el punto de impacto. Si el revenimiento es demasiado alto, el flujo viscoso temporal de la agitación hará que el mortero se mueva excesivamente. El mortero fluirá excesivamente hacia fuera y hacia abajo, creando un escurrimento. Este indicador

visual es claramente visible para el lanzador. Cualquier intento de continuar, resultará en un mayor escurrimento. Dado que el acero de refuerzo está firmemente amarrado, el movimiento hacia abajo del mortero (escurrimientos o desprendimientos) conduce a la creación potencial de vacíos que se desarrollan debajo de las barras de refuerzo colocadas horizontalmente (Fig. 4). Una vez creados estos vacíos, y sin una consolidación secundaria, estos vacíos se convierten en deficiencias estructurales permanentes dentro del trabajo. Afortunadamente, los lanzadores rara vez intentan colocar mezclas excesivamente fluidas, ya que carecen de las propiedades cohesivas necesarias para permanecer en su lugar o apilarse en una superficie vertical. Si el lanzador intenta colocar un revenimiento demasiado alto, la colocación es o muy ineficiente, o simplemente no es posible debido a la mayor fluidez inherente del material. La observación del autor es que los lanzadores rara vez intentan colocar materiales con un revenimiento demasiado alto por las razones mencionadas anteriormente.

Más bien, algunos lanzadores, especialmente los menos experimentados, tienden a colocar materiales que son demasiado rígidos. Existe una tendencia natural para los lanzadores menos experimentados a seleccionar un revenimiento más bajo para ayudar a facilitar el apilamiento de los materiales. Desafortunadamente, pueden estar ignorando completamente las señales visuales obvias dentro del mortero indicando que la consolidación apropiada puede no estar ocurriendo debido a una elección incorrecta del revenimiento. Es importante entender que el objetivo principal de un lanzador experimentado es no apilar material a su altura final en tan pocos ascensores como sea posible. Más bien, es colocar y consolidar adecuadamente los materiales simultáneamente.

BANDERA ROJA INDICADORES VISUALES QUE TODO EL MUNDO DEBE CONOCER

Afortunadamente, el uso de materiales con una consistencia correcta e incorrecta siempre mostrará indicaciones visuales claras. Si la mezcla es demasiado rígida, varias señales visuales fáciles de identificar inmediatamente se vuelven claramente visibles no sólo para el lanzador, sino cualquiera que

CONTRACTOR'S CORNER

ment. A clear visual cue that the mixture lacks flow is material sticking, or building up on the front of reinforcement within the nozzle stream. Bars should remain clean, with deformations clearly visible until they have become fully encased. If buildup occurs, nozzlemen must immediately stop and make the necessary adjustments to the mixture's consistency. Buildup developing on the face of reinforcements is an obvious visual cue that a mixture is too stiff (Fig. 5).

Other plainly visible cues of excessively stiff material are also evident to those who know what to look for. The receiving surface within shadow areas must fill through viscous flow within the impact zone's puddle. During placement, nozzlemen should train their eyes to study the shadow areas. Watch for complete filling



Fig. 5. Visual evidence of buildup on the reinforcement was ignored by the nozzleman. Note the massive voids that have formed behind the bars.



Fig. 6a. Tracking occurring within the shadow area is easy to see. Tracking behind reinforcements is visual evidence that the mixture is far too stiff.



Fig. 6b. Further evidence of tracking visible from the formed side.

of shadow areas as material is applied. If a visible valley or void line forms (identified as "tracking" by the author) directly behind reinforcements within the shadow area, this is clear evidence that the mixture's paste is too stiff and is not completely flowing into the shadow areas. The nozzleman must stop and adjust the mixture's consistency before continuing (Fig. 6a and 6b).

The easiest visual cue to proper consistency should be considered as the nozzleman and other workers most basic visual cue that the mixture's consistency is, or is not within the correct range. This easy to identify visible indicator within the freshly applied shotcrete surface will reveal proof of exactly what occurs as high velocity materials collide within the developing puddle. Generally, large and small aggregates make up 70-80% of a shotcrete mixture's volume. The paste is a far smaller fraction of the total volume. Though less abundant, the paste is the mixture's most cohesive element, and adheres readily upon impact. Since actions within the nozzle cause the mixture's aggregate particles to become diffused from the paste, at the moment of impact, the consistency of the paste will have the most influence on the activities of aggregates as they strike the puddle. When the consistency of the paste is correct, the freshly applied shotcrete surface will appear primarily as a glossy or shiny paste layer. Although aggregates are far more plentiful than the paste, very few will be visible on the puddle's surface.

Why would this be the case? A paste with the proper consistency will be sufficiently fluid to allow the fast-moving aggregates to enter and deeply embed within the paste layer leaving a glossy paste surface (Fig. 7). If the paste's consistency lacks fluidity, only the fastest moving aggregates may enter the puddle. Aggregates moving at a slower velocity will only slightly embed or stick to the puddle's surface. Worse,

pueda ver la colocación en progreso. Para lograr una compactación y consolidación aceptables, la mezcla debe fluir fácilmente alrededor de todo el refuerzo colocado. Una clara señal visual de que la mezcla carece de flujo es la adherencia del material o la acumulación en la parte delantera del refuerzo dentro del chorro de la boquilla. Las barras deben permanecer limpias, con deformaciones claramente visibles hasta que hayan quedado completamente cubiertas por el concreto. Si se produce acumulación, los lanzadores deben detenerse inmediatamente y realizar los ajustes necesarios a la consistencia de la mezcla. La acumulación de concreto en la cara del refuerzo es una señal visual obvia de que una mezcla es demasiado rígida (Fig. 5).

Otras señales claramente visibles de material excesivamente rígido son también evidentes para aquellos que saben qué



Fig. 5: La evidencia visual de la acumulación de concreto en el refuerzo fue ignorada por el lanzador. Nótese los enormes vacíos que se han formado detrás del acero.



Fig. 6a: El valle que ocurre dentro del área de sombra es fácil de ver. El valle detrás del refuerzo es evidencia visual de que la mezcla es demasiado rígida.



Fig. 6b: Evidencia adicional de valles visible desde el lado cimbrado.

buscar. La superficie receptora dentro de las áreas de sombra debe llenarse a través del flujo viscoso dentro del mortero de la zona de impacto. Durante la colocación, los lanzadores deben entrenar sus ojos para estudiar las áreas de sombra. Observe el relleno completo de las áreas de sombra a medida que se aplica el material. Si se forma un valle visible o una línea vacía (identificada como "camino" por el autor) directamente detrás del refuerzo dentro del área de sombra, esto es evidencia clara de que la pasta de la mezcla es demasiado rígida y no está fluyendo completamente en las áreas de sombra. El lanzador debe detenerse y ajustar la consistencia de la mezcla antes de continuar (Fig. 6a y 6b).

La señal visual más fácil para la consistencia adecuada debe considerarse como la señal visual más básica del lanzador y otros trabajadores de que la consistencia de la mezcla está, o no, dentro del rango correcto. Este indicador visible fácil de identificar dentro de la superficie de concreto recién aplicada revelará la prueba exacta de lo que ocurre cuando los materiales a alta velocidad chocan dentro del mortero en desarrollo. En general, los agregados grandes y pequeños constituyen entre el 70 y el 80% del volumen de una mezcla de concreto lanzado. La pasta es una fracción mucho menor del volumen total. Aunque menos abundante, la pasta es el elemento más cohesivo de la mezcla y se adhiere fácilmente al impacto. Puesto que las acciones dentro de la boquilla hacen que las partículas de los agregados de la mezcla se separen de la pasta, en el momento del impacto, la consistencia de la pasta tendrá la mayor influencia en las actividades de los agregados cuando golpeen el mortero. Cuando la consistencia de la pasta es correcta, la superficie de concreto lanzado recién aplicada aparecerá principalmente como una capa de pasta brillante. Aunque los agregados son mucho más abundantes que la pasta, muy pocos serán visibles en la superficie del mortero.

¿Por qué sería así? Una pasta con la consistencia adecuada será lo suficientemente fluida como para permitir que los agregados moviéndose rápidamente entren e incrusten profun-



Fig. 7. The ideal slump allows incoming aggregates to deeply embed within the puddle rather than remaining on the surface.

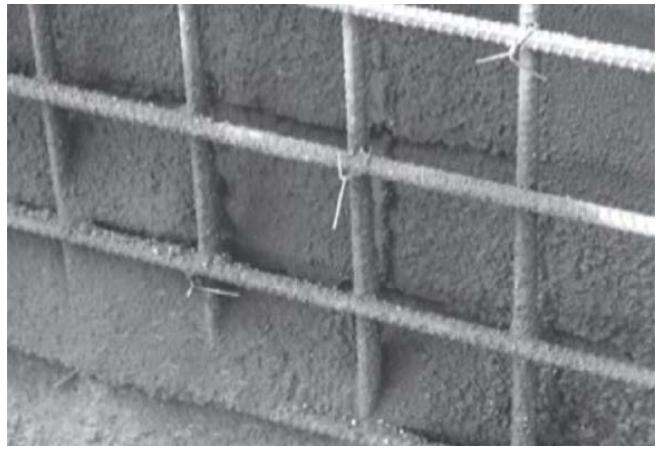


Fig. 8. Freshly applied materials with a dull, rocky, or sandy surface is evidence of a mixture that is too stiff.



Fig. 9. Freshly applied materials with few visible aggregates at the surface is the visual indicator of a well-chosen slump.

NOZZLEMAN CHECKLIST:

- Important visual cues help the Nozzleman select the correct placement consistency.
- Remember, YOU are in charge of the proper selection of slump.
- Study the impact area's puddle during placement.
- Visually validate that materials are flowing into shadow areas.
- Monitor the area behind the reinforcements for signs of tracking.
- Stop and immediately increase the slump if materials build upon the face of reinforcements.
- Work within a slump range that results in a glossy paste surface (not dull, sandy, or rocky) on the puddle.
- A glossy paste surface is evidence that the paste is both sufficiently fluid to allow the aggregate particles to embed, and flows into the shadow areas.

many incoming aggregates will bounce off the stiff surface, causing excessive rebound. Using a mixture that is too stiff will always result in a surface that appears rocky or sandy rather than glossy.

During application, a dull, sandy, or rocky surface is evidence that the mixture lacks fluidity, and may not reliably flow into shadow areas. A freshly applied shotcrete surface lacking a glossy or shiny paste layer is a powerful visual indicator that temporary viscous flow, caused by impact-derived oscillations is not occurring. Nozzlemen must stop immediately and increase the slump or attaining acceptable consolidation will not be possible (Fig. 8).

Currently, many contract documents still specify a maximum slump or slump range.

However, we are starting to see specifications recognize slump's diminished role in strength development and have relaxed or eliminated slump ranges for shotcrete placement. Be aware that some shotcrete specifications citing a slump range as a strength indicator still exist. It is important to remember that proper shotcrete consistency can only be properly chosen through understanding and identifying the important visual cues of the correct slump.



*ACI Certified Nozzleman **Oscar Duckworth** is an ASA and American Concrete Institute (ACI) member with over 25,000 hours of nozzle time. He has worked as a nozzleman on over 2500 projects. Duckworth is currently an ACI Examiner for the wet- and dry-mix processes. He was a former member of ASA's Board and is Chair of ASA's Education & Safety Committee. He continues to work as a shotcrete consultant and certified nozzleman.*



Fig. 7: el revenimiento ideal permite que los agregados entrantes se incrusten profundamente dentro del mortero en lugar de permanecer en la superficie.



Fig. 9: Los materiales recién aplicados con pocos agregados visibles en la superficie son el indicador visual de un revenimiento bien elegido.

LISTA DE VERIFICACIÓN DEL LANZADOR:

- Las indicaciones visuales importantes ayudan a Lanzador a seleccionar la consistencia de colocación correcta.
- Recuerde que está a cargo de la selección adecuada del revenimiento.
- Estudie el mortero del área de impacto durante la colocación.
- Validar visualmente que los materiales están fluyendo hacia áreas de sombra.
- Controle el área detrás del refuerzo en busca de señales caminos o valles
- Detenga y aumente inmediatamente el revenimiento si los materiales se acumulan sobre la superficie del refuerzo.
- Trabaje dentro de un rango de revenimiento que dé como resultado una superficie de pasta brillante (no opaca, arenosa o rocosa) en el mortero.
- Una superficie de pasta brillante es evidencia de que la pasta es lo suficientemente fluida como para permitir que las partículas agregadas se incrusten y fluja hacia las áreas de sombra.



Fig. 8: Los materiales recién aplicados con una superficie opaca, rocosa o arenosa son evidencia de una mezcla que es demasiado rígida.

damente dentro de la capa de pasta dejando una superficie de pasta brillante (Fig. 7). Si la consistencia de la pasta carece de fluidez, sólo los agregados que se mueven más rápido pueden entrar en el mortero. Los agregados que se mueven a una velocidad más lenta sólo se incrustarán ligeramente o se pegarán a la superficie del mortero. Peor aún, muchos agregados entrantes saltarán de la superficie rígida, causando un rebote excesivo. El uso de una mezcla demasiado rígida siempre dará como resultado una superficie opaca rocosa o arenosa en lugar de brillante.

Durante la aplicación, una superficie opaca, arenosa o rocosa es evidencia de que la mezcla carece de fluidez, y puede no fluir confiablemente en áreas de sombra. Una superficie de concreto lanzado recién aplicada que carece de una capa de pasta brillante es un indicador visual potente de que no se produce un flujo viscoso temporal, causado por oscilaciones derivadas del impacto. El lanzador debe detenerse inmediatamente y aumentar el revenimiento o no será posible alcanzar una consolidación aceptable (Fig. 8).

Actualmente, muchos documentos de contrato todavía especifican un rango máximo de revenimiento. Sin embargo, estamos empezando a ver las especificaciones reconocer el papel disminuido del revenimiento en el desarrollo de la resistencia y han relajado o eliminado los rangos del revenimiento para la colocación de concreto lanzado. Tenga en cuenta que todavía existen algunas especificaciones que citan un rango de caída como indicador de resistencia. Es importante recordar que la consistencia apropiada del concreto lanzado sólo puede ser escogida apropiadamente a través de la comprensión e identificación de las señales visuales importantes del revenimiento correcto.



Certificado por CI Nozzleman Oscar Duckworth es miembro del Instituto de Concreto (ACI) ASA y Americancon más de 25.000 horas de tiempo de boquilla. Ha trabajado como noble en más de 2500 proyectos. Duckworth es actualmente un examinador ACI para los procesos de mezcla húmeda y seca. Es miembro de la Junta Directiva de ASA y Presidente del Comité de Educación de ASA. Continúa trabajando como consultor de escopeta y como nozzleman certificado.